

نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در سطح شبکه‌ی آبیاری و زهکشی قزوین

بهنام آبابایی^{۱*}، تیمور سهرابی^۲، فرهاد میرزایی^۳

تاریخ دریافت: 1390/9/10 تاریخ پذیرش: 1391/10/10

چکیده

متخصصین اقلیم‌شناسی برای بسیاری از مناطق دنیا، کاهش بارندگی و افزایش دما را پیش‌بینی کرده‌اند. بنابراین، شناخت تغییرات اقلیم منطقه‌ای لازمه‌ی دستیابی به کشاورزی پایدار می‌باشد. در این مطالعه، تغییرات میانگین و انحراف معیار میانگین‌های ماهانه‌ی متغیرهای کمینه و بیشینه‌ی دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشیدی و بارندگی در 5 ایستگاه در محدوده‌ی شبکه‌ی آبیاری و زهکشی قزوین برای دوره‌ی 2040-2069 نسبت به دوره‌ی مبدا (1999-1980) مطالعه شدند. به منظور تعیین دامنه‌ی این تغییرات، از 5 گروه نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم استفاده شد. در گروه اول، کلیه‌ی نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در کنار یکدیگر مورد بررسی قرار گرفتند. چهار گروه دیگر هر یک شامل یک خانواده از نمایشنامه‌هایی تغییر اقلیم SRES بودند، که شامل نمایشنامه‌های A1B، A2، B1 و A2 می‌باشند. با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)، مقادیر تغییرات هر یک از متغیرها تحت نمایشنامه‌های مختلف و برای هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی تعیین شدند. نتایج نشان از افزایش متوسط کمینه‌ی دما به میزان 1/61 درجه، افزایش میانگین بیشینه‌ی دما به میزان 1/93 درجه، کاهش متوسط رطوبت نسبی به میزان 2/، کاهش متوسط سرعت باد به میزان 1/ و کاهش متوسط بارندگی به میزان 2/ داشتند. تغییر قابل توجهی در متوسط تابش خورشیدی مورد انتظار نیست، ضمن این‌که روند منظم و مشخصی در دگرگونی این متغیرها در ماه‌های مختلف سال قابل تشخیص نبود. همچنین، مشاهده گردید که انحراف معیار میانگین‌های ماهانه‌ی کلیه‌ی متغیرها بطور متوسط دچار افزایش خواهد گردید، و این افزایش برای دو متغیر بیشینه‌ی دما و بارندگی بیشتر از سایر متغیرها برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: نمایشنامه‌های تغییر اقلیم، روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)، شبکه‌ی آبیاری و زهکشی قزوین.

¹ دانش‌آموخته‌ی مقطع دکتری، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

² استاد گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

³ استادیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: Behnam.ab@gmail.com

مقدمه

یافته است، درحالی‌که در جنوب شرقی آسیا، استرالیا و مناطق ساحل و حوضه‌ی اقیانوس آرام مقدار بارش کاهش پیدا کرده است، همچنین، تقریباً در تمامی مناطق جهان تغییرات بارش افزایش یافته است (دور، 2005). بسیاری از مطالعات انجام شده نشان از کاهش مقدار تابش خورشیدی واصله به سطح زمین دارند (چامیدز و همکاران، 1999؛ استانهیل، 1998؛ استانهیل و کوهن، 2001؛ لایپرت، 2002؛ لایپرت و کوکلا، 1997). این مسأله احتمالاً از اثر همزمان افزایش پوشش ابر و افزایش غلظت ذرات آلاینده اتمسفر ناشی می‌شود (استانهیل و کوهن، 2001) که به صورت مثبت یا منفی سوخت و ساز نوری و تنفس گیاهان مؤثر است. این تأثیر بین دو نیمکره متفاوت خواهد بود، زیرا تابش مستقیم کمتری (به دلیل پوشش ابر بیشتر) به نیمکره‌ی شمالی می‌رسد (فیلاندر و همکاران، 1996). علاوه بر کاهش مقدار تابش خورشیدی در دهه‌های گذشته، افزایش درصد پراکنش نور خورشید نیز بر اثرات این کاهش می‌افزاید (فارکوهار و رودریک، 2003). از عناصر مهمی که معمولاً در مطالعات اثر تغییر اقلیم در نظر گرفته نمی‌شوند، نیاز تبخیری (ET_o)، کمبود فشار بخار (VPD) و باد می‌باشند که در صورت لحاظ کردن آنها، شاید فرضیاتی که در رابطه با پاسخ سامانه‌های گیاهی به تغییر اقلیم وجود دارند نقض شوند. به‌عنوان مثال، ET_o یک متغیر پیچیده است که بسته به نوع تغییر در واحدهای آن، دچار کاهش یا افزایش می‌شود. با این حال، در مجموع، اطلاعات کمی در مورد این متغیرها وجود دارد که دخیل کردن آنها در مطالعات تغییر اقلیم را مشکل می‌سازد. علاوه بر آن، شاهد افزایش پی‌اپی غلظت ازن در برخی نقاط جهان هستیم، که می‌تواند اثر مخربی بر عملکرد گیاهان داشته باشد (اورت و همکاران، 1999).

پیش‌بینی آینده

افزایش سریعتر غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر یکی از جنبه‌های قطعی تغییر اقلیم در دهه‌های پیش روی بوده و، آن چنان که از گزارش‌های اخیر می‌توان دریافت، تجمع دی‌اکسیدکربن در اتمسفر نسبت به آنچه انتظار می‌رفت سریعتر بوده است، و مقدار آن در حدود 2 ppm/year خواهد بود (IPCC، 2007). غلظت

اقلیم جهانی در حال تغییر بوده، و تغییرات بیشتر، فارغ از تلاشها به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اجتناب ناپذیر است (IPCC، 2007). کشاورزی نیاز خواهد داشت تا به منظور تضمین بقا و پایداری خود، در کنار سایر چالشها، نسبت به این تغییرات نیز هماهنگ گردد. به دلیل پیچیدگی سامانه‌های کشاورزی، و نیز طبیعت پیچیده‌ی تغییر اقلیم¹، به منظور شناختن و درک تأثیر پدیده‌ی تغییر اقلیم بر کشاورزی، و به منظور ارزیابی تدبیرهای درازمدت سازگاری با آن، معمولاً از شبیه‌های گیاهی استفاده می‌شود. این شبیه‌ها، یافته‌های ما را از فیزیولوژی گیاهی، که از سالها مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی حاصل شده‌اند در کنار یکدیگر قرار می‌دهند.

روند واقعی تغییر اقلیم در سطح جهان

در طول سده‌ی گذشته، اقلیم به میزان قابل توجهی دچار تغییر شده است. غلظت دی‌اکسیدکربن نیوار از 280 ppm در دوران قبل از صنعتی شدن، به 379 ppm در سال 2005 افزایش پیدا کرده است (IPCC، 2007). دمای کره‌ی زمین نیز در طول صد سال گذشته 0/74 درجه‌ی سانتیگراد افزایش یافته است (IPCC، 2007)؛ گفتنی است که افزایش کمینه‌ی دما بیشتر از افزایش بیشینه‌ی دما بوده است (ایسترلینگ و همکاران، 1997). تغییرات اندازه‌ی بارندگی در مناطق مختلف کشاورزی، متفاوت بوده است؛ به عنوان مثال، کاهش 20 درصدی آن در مناطق غربی استرالیا در طول دهه‌های گذشته (اسمیث، 2004؛ کای و کوان، 2006) و افزایش 100 تا 200 میلیمتری بارش در سده‌ی گذشته در منطقه‌ی پامپاس² آرژانتین (ویلیزیو و همکاران، 1995) گزارش شده است. هرچند شواهدی در دستند که نشان می‌دهند تغییر مقادیر بارش از فعالیت‌های انسان ناشی شده است (کای و کوان، 2006)، با این حال شواهد مزبور در مقایسه با شواهد مرتبط با افزایش دما از قدرت کمتری برخوردارند (نیکولز و کولینز، 2006). بطور کلی، در ارزیابی نیمکره‌ی شمالی، مقدار بارش افزایش

¹ climate change (CC)

² Pampas

(ایسترلینگ و همکاران، 1997). به‌رغم این، کاهش پیش‌بینی شده‌ی مقادیر بارش و پوشش ابر، خطر ناشی از وقوع یخبندان را در برخی مناطق جهان افزایش می‌دهد. علاوه بر آن، افزایش تواتر دماهای بسیار بالا ممکن است اثر مخرب شدیدی را در گیاهان ایجاد کند، و این تأثیر از اثر افزایش ناچیز متوسط درجه‌ی حرارت سالانه بیشتر است (ون‌هرواردن و همکاران، 1998؛ استون و نیکولاس، 1996؛ اسپیرتز و همکاران، 2006). جدول 1 تغییرات اصلی اقلیم، روند مشاهده شده‌ی اخیر، و روند پیش‌بینی شده‌ی آنها به همراه اثر محتمل آنها را بر تولیدات کشاورزی نشان می‌دهد.

دی‌اکسیدکربن اتمسفر هم از جهت رشد و تولید گیاهان و هم از جهت خواص تابشی اتمسفر و اقلیم از اهمیت زیادی برخوردار است، بنابراین، تغییر غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر اثر قابل توجهی بر تولیدات کشاورزی خواهد داشت. برخی دیگر از جنبه‌های تغییر اقلیم، مانند افزایش تعداد و شدت خشکسالی‌ها (به‌عنوان مثال: هینسی و همکاران، 2008)، افزایش دما، کاهش تابش خورشیدی و افزایش غلظت ازن (IPCC, 2007) نیز بر سامانه‌های کشاورزی مؤثرند. بیشینه و کمینه دما با شدت متفاوتی در حال افزایشند، و این شدت در مورد کمینه دما بیشتر است (ایسترلینگ و همکاران، 1997؛ ووز، 2005؛ نیکولز، 1997) که باعث کاهش دامنه‌ی تغییرات درجه‌ی حرارت در طول روز می‌شود

جدول 1 خلاصه‌ای از وضعیت تغییر اقلیم و اثر آن بر محصولات کشاورزی (IPCC, 2007).

| متغیر اقلیمی | روند واقعی | روند آتی | اثر کلی بر رشد محصولات |
|--------------------------|---|---|---|
| دی‌اکسیدکربن | 1.4 ppm/year (379 ppm در سال 2006). | 1.9 ppm/year (450 ppm در سال 2050). | افزایش شدت سوخت و ساز نوری، تولید زیست‌توده و بازدهی تعرق ¹ کاهش تعرق افزایش دمای تاج گیاه کاهش غلظت مواد مغذی در گیاه |
| بیشینه‌ی دما | از 1906 تا 2005، 0.56 درجه. | 0.02 درجه در سال (1.7 4.3 درجه تا سال 2050). | افزایش تنش حرارتی |
| میانگین دما | از 1906 تا 2005، 0.74 درجه. | 0.02 درجه در سال (1.7 4.3 درجه تا سال 2050). | افزایش شدت سوخت و ساز نوری و رشد گیاه |
| کمینه‌ی دما | از 1906 تا 2005، 0.92 درجه. | 0.02 درجه در سال (1.7 4.3 درجه تا سال 2050). | کاهش خطر یخبندان |
| بارندگی | 0.11 mm/year | متغیر در سطح کره‌ی زمین. بطور کلی، افزایش در عرض‌های بالایی و کاهش در عرض‌های پایینی. | اثر مثبت یا منفی، بسته به جهت و مقدار تغییرات و تغییر سایر عوامل |
| تابش خورشیدی | کاهش تابش خورشیدی و افزایش جزء پخشیده شده‌ی نور (1365 W/m ² در سال 2005). | کاهش تابش خورشیدی و افزایش جزء پخشیده‌ی نور. | امکان افزایش سوخت و ساز نوری به دلیل افزایش جزء پخشیده‌ی نور وجود دارد امکان کاهش سوخت و ساز نوری به دلیل کاهش تابش خورشیدی وجود دارد اثر خالص آن، بستگی به مقدار و جهت هر دو نوع تغییر، شرایط محیطی و ویژگیهای گیاه دارد |
| ازن در لایه‌ی تروپوسفر | 0.5 تا 2.5 درصد در سال (50 ppb در سال 2000). | 0.5 تا 2.5 درصد در سال (100 60 ppb در سال 2050). | افزایش صدمه به برگها. کاهش میزان رشد و تولید محصول |
| ازن در لایه‌ی استراتوسفر | 0.6 درصد در سال (265 DU در سال 2000). | 0.1 تا 0.2 درصد در سال (286 275 DU در سال 2050). | کاهش توسعه‌ی برگها کاهش تجمع زیست‌توده |

¹ transpiration use efficiency (TUE)

جدول 2 خلاصه‌ای از نمایشنامه‌های SRES در سال 2100 (نسبت به دوره مبنای 1990-1961) (IPCC, 2007).

| نمایشنامه | 1990 (مبنا) | A1 | A2 | B1 | B2 |
|--|-------------|----------|------|-----|------|
| جمعیت (بیلیون نفر) | 5/252 | 7/1 | 15/1 | 7/1 | 10/4 |
| غلظت CO ₂ (ppmv) | 354 | 569-976 | 857 | 538 | 615 |
| تغییر متوسط دمای میانگین کره‌ی زمین (°C) | --- | 4/5 -2/5 | 3/8 | 2 | 2/7 |
| افزایش جهانی سطح آب دریاها (cm) | --- | 37-49 | 42 | 31 | 36 |
| تولید ناخالص جهانی (10 ¹² \$) | 21 | 525-550 | 243 | 328 | 235 |

نمایشنامه‌های تغییر اقلیم

هرگونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین، باعث برهم خوردن تعادل بین اجزاء سامانه‌ی اقلیم کره‌ی زمین می‌گردد. اما این‌که در آینده چه مقدار از این گازها به‌وسیله‌ی جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده، و به تبع آن چه وضعیتی برای سامانه اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست، و تحت نمایشنامه‌های مختلفی ارائه شده است. این نمایشنامه‌ها در دو بخش مجزای نمایشنامه‌های غیراقلیمی و نمایشنامه‌های اقلیمی قابل تفکیکند. یک نمایشنامه‌ی غیر اقلیمی حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است (نمایشنامه‌های انتشار¹). در این نمایشنامه‌ها مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. هر کدام از این نمایشنامه‌ها مربوط به یکی از خانواده‌های A1، B1، A2 و B2 می‌باشد (جدول 2). در خانواده‌ی نمایشنامه‌های گروه A1، یک جهان با رشد گروه اقتصادی، افزایش رشد جمعیت که در اواسط قرن ۲۱ به اوج خود خواهد رسید و از آن به بعد کاهش می‌یابد، و معرفی فناوری‌های جدید و کارا تر در نظر گرفته شده است. این خانواده، شامل 3 زیر شاخه تحت عنوان A1FI (تشدید استفاده از سوخت سنگواره‌ای)، A1B (استفاده از منابع سنگواره‌ای و غیر سنگواره‌ای به‌صورت متعادل) و A1T (استفاده از منابع کارمابه غیرسنگواره‌ای) می‌باشد. موضوع در برگیرنده خانواده‌ی نمایشنامه‌های A2، تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده و رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به

پیشرفت گروه اقتصادی می‌باشد. وضعیت جمعیت در خانواده‌ی نمایشنامه‌های B1 مشابه نمایشنامه‌ی A1 می‌باشد، با این تفاوت که تأکید بیشتر در این نمایشنامه بر استفاده از انرژی‌های پاک، حفظ محیط زیست و برقراری اقتصاد جهانی می‌باشد. در خانواده‌ی نمایشنامه‌های B2، تأکید بر راه‌حل‌های منطقه‌ای برای تقویت مسائل اقتصادی اجتماعی و محیط زیستی می‌باشد. این نمایشنامه یک دنیای ناهمگون با سرعت تغییرات فناوری کمتر، اما با تنوع بیشتر می‌باشد، اما تأکید قوی در این نمایشنامه بر ابتکار عمل جامعه و نوآوری‌های آن برای یافتن راه‌حل‌های منطقه‌ای نسبت به راه‌حل‌های جهانی می‌باشد. براساس میزان تولید نیروی تابشی تا سال ۲۱۰۰، نمایشنامه‌ی A1FI بیشترین و نمایشنامه‌ی B1 کمترین نیرو را تولید می‌کند، و نمایشنامه‌ی A2 در بین آنها قرار می‌گیرد (ناکیچنویج و همکاران، 2000). نمایشنامه‌ی دیگری که مورد مطالعه قرار گرفته است، Commit می‌باشد. در این نمایشنامه‌ی غیر SRES²، غلظت گازهای گلخانه‌ای در سطح غلظت سال 2000 میلادی ثابت فرض می‌شود. هرچند این نمایشنامه‌ها غیرواقعی تلقی می‌شوند، می‌توان آنها را به عنوان مرز پایین تغییرات غیرقابل اجتناب اقلیمی در نظر گرفت (IPCC, 2007).

اطمینان زیادی بر افزایش غلظت گازهای اتمسفر و به تبع آن افزایش میانگین دمای سطحی اتمسفر کره‌ی زمین در دوره‌های آتی، در بین دانشمندان وجود دارد، ولی چگونگی تغییرات متغیرهای اقلیمی در مقیاسهای منطقه‌ای بطور صریح مشخص نمی‌باشد. بنابر این، چون پیش‌بینی وضعیت اقلیم مشکل است، راه جایگزین، مشخص کردن وضعیتهای ممکن آینده بوده که

¹ IPCC emission scenarios

² Non-SRES Scenario: Commit

نمایشنامه‌های اقلیمی " نامیده می‌شوند. اما باید توجه داشت که یک نمایشنامه‌ی اقلیمی، یک پیش‌بینی کننده‌ی آب و هوا نیست (IPCC-TGCI, 1999). در حال حاضر، معتبرترین ابزار جهت تولید نمایشنامه‌های اقلیمی شبیه‌های سه‌بعدی گردش عمومی اتمسفر اقیانوس¹ (AOGCM) یا به اختصار، شبیه‌های (GCM) می‌باشد که بر پایه‌ی قوانین فیزیکی (که بوسیله‌ی روابط ریاضی ارائه می‌شوند) استوار می‌باشند. تاکنون 25 شبیه GCM در سطح دنیا تدوین شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جدول 3، نام و سازمان مرتبط با هر شبیه GCM را نشان می‌دهد.

تغییر اقلیم در ایران

مطالعات تغییر اقلیم در ایران، در مقایسه با سایر نقاط جهان، امری جدیدالظهور است. عمده‌ی مطالعات صورت گرفته در این حوزه، بر اثر تغییر اقلیم بر جریان رودهای کشور، و یا عملکرد محصولات کشاورزی، معطوف بوده است. از جمله‌ی این مطالعات می‌توان به چند مورد زیر اشاره کرد:

آبابایی و همکاران (1389) اثر تغییر اقلیم را بر عملکرد گندم فاریاب تحت شرایط تغییر اقلیم در منطقه‌ی روددشت اصفهان مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، گروه زمانی روزانه فراسنجهای اقلیمی منطقه‌ی روددشت اصفهان تحت نمایشنامه‌های تغییر اقلیم A2 و B1 با استفاده از نتایج شبیه گردش عمومی (GCM) HadCM3 و با به کار بردن شبیه مولد اقلیم LARS-WG برای دوره‌ی 2011 تا 2030 میلادی تولید گردید. نتایج نشان دادند که در منطقه‌ی مورد مطالعه، میانگین بارش سالانه، مجموع بارش سالانه در طول دوره‌ی رشد گیاه و میانگین دمای روزانه تحت هر دو نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم افزایش خواهند یافت. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول گندم فاریاب با استفاده از شبیه SWAP مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل مقدار عملکرد نسبی و مطلق گندم تحت نمایشنامه‌های مختلف اقلیمی نشان داد که متوسط عملکرد نسبی محصول تحت دو نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم A2 و B1 نسبت به

نصیری و همکاران (1385) اثر تغییر اقلیم را بر شاخصهای اقلیم کشاورزی ایران مورد مطالعه قرار دادند. براساس نتایج تحلیل خوشه‌ای، در شرایط اقلیمی فعلی، شهرستانهای تحت بررسی از نظر تشابه شاخصهای اقلیمی کشاورزی در 10 ناحیه قرار گرفتند، در حالی که در شرایط تغییر اقلیم، شهرستانهای تحت بررسی برای سال 2025 در هشت گروه، و برای سال 2050 در هفت ناحیه قرار گرفتند. بنابراین، در شرایط آینده‌ی اقلیمی کشور، تشابه بین مناطق از نظر شاخصهای اقلیمی کشاورزی افزایش یافته، و تنوع اقلیمی کشاورزی کشور کاهش خواهد یافت. عزیزی و همکاران (1387) وجود روند معنی دار تغییر اقلیم را در نیمه‌ی غربی کشور را مورد بررسی قرار دادند. روش تحقیق ایشان مبتنی بر تحلیل آماری چند متغیره و شبیه‌های پیش‌بینی باکس-جنکینز بود. نتایج مطالعه‌ی ایشان نشان می‌دهند که متغیرهای دما، بویژه میانگین کمترین دما، کمینه مطلق و دمای نقطه‌ی شبنم، دارای روند تغییرات معنی دار، ولی با جهت‌های متفاوت می‌باشند؛ به این ترتیب که روند این

¹ -Atmospheric-Ocean General Circulation Model

متغیرها در اصفهان، بوشهر، تهران و تبریز افزایشی، و در ارومیه، خرم آباد و همدان کاهش‌ی بوده است

جدول 3. اسامی و سازمان یا مؤسسه‌ی مرتبط با هریک از شبیه‌های گردش عمومی (GCM).

| نام شبیه در بانک اطلاعات CMIP3 | کشور | سازمان یا مؤسسه | ردیف |
|--------------------------------|-----------------|--|------|
| BCC-CM1 | China | Beijing Climate Center | 1 |
| BCCR-BCM2.0 | Norway | Bjerknes Centre for Climate Research | 2 |
| CCSM3 | USA | National Center for Atmospheric Research | 3 |
| CGCM3.1(T47) | Canada | Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis | 4 |
| CGCM3.1(T63) | Canada | Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis | 5 |
| CNRM-CM3 | France | Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques | 6 |
| CSIRO-Mk3.0 | Australia | CSIRO Atmospheric Research | 7 |
| CSIRO-Mk3.5 | Australia | CSIRO Atmospheric Research | 8 |
| ECHAM5/MPI-OM | Germany | Max Planck Institute for Meteorology | 9 |
| ECHO-G | Germany / Korea | Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group. | 10 |
| FGOALS-g1.0 | China | LASG / Institute of Atmospheric Physics | 11 |
| GFDL-CM2.0 | USA | US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory | 12 |
| GFDL-CM2.1 | USA | US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory | 13 |
| GISS-AOM | USA | NASA / Goddard Institute for Space Studies | 14 |
| GISS-EH | USA | NASA / Goddard Institute for Space Studies | 15 |
| GISS-ER | USA | NASA / Goddard Institute for Space Studies | 16 |
| INGV-SXG | Italy | Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | 17 |
| INM-CM3.0 | Russia | Institute for Numerical Mathematics | 18 |
| IPSL-CM4 | France | Institut Pierre Simon Laplace | 19 |
| MIROC3.2(hires) | Japan | Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC) | 20 |
| MIROC3.2(medres) | Japan | Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC) | 21 |
| MRI-CGCM2.3.2 | Japan | Meteorological Research Institute | 22 |
| PCM | USA | National Center for Atmospheric Research | 23 |
| UKMO-HadCM3 | UK | Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office | 24 |
| UKMO-HadGEM1 | UK | Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office | 25 |

ایشان نشان داد که در بیشتر ماه‌های سال، روند تغییرات، افزایشی خواهد بود. همچنین، دریافتند که روند افزایشی درجه‌ی حرارت، برای کمترین دما بارزتر است. در نهایت، نتیجه گرفتند که تغییرات دما در دشت مشهد، مشهود بوده و می‌توان از این تغییرات به عنوان نمایه‌ای از تغییر اقلیم منطقه نام برد. جهانبخش و ترابی (1383) تغییرات دما و بارش را در سطح ایران با مطالعه درمورد اطلاعات 5 ایستگاه بابلسر، قزوین، اصفهان، زابل و بندر لنگه، به عنوان ایستگاه‌های معرف مناطق مختلف اقلیمی کشور، مورد

ایشان همچنین نتیجه گرفته‌اند که مجاورت با شهرهای بزرگ و موقعیت نسبی جغرافیایی در جهت روند تغییرات مؤثر بوده است. همچنین، براساس نتایج ایشان، داده‌های رطوبت و بارش غالباً از روند تغییرات معنی‌داری برخوردار نیستند. ابراهیمی و همکاران (1384) میانگین افزایش دمای کره‌ی زمین تا سال 2030 میلادی را بین 0/7 تا 2 درجه‌ی سانتیگراد گزارش کرده‌اند. در این مطالعه، از روش‌های وایزی بین دمای هوا و زمان وقوع، روش من-کندال و روش لتن‌مایر استفاده گردید. مطالعه‌ی

تغییرات را مورد بررسی قرار دادند. شرایط اقلیمی سال 2050 میلادی (1430 خورشیدی) برپایه‌ی نمایشنامه‌ی مجمع بین دول تغییر اقلیم (IPCC) برای سال هدف (غلظت معادل 520 ppm) با کاربرد دو شبیه‌گردش عمومی GISS و GFDL پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که میانگین افزایش درجه‌ی حرارت سالانه در مناطق مختلف کشور، به‌رغم اختلاف بین دو شبیه‌گردش عمومی، در محدوده‌ی 3/5 تا 4/4 درجه‌ی سانتیگراد قرار داشته و شدت افزایش دما از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور افزایش می‌یابد. این الگوی گرم شدن باعث خواهد شد تا فراوانی درجه‌ی حرارت‌های بالاتر از 30 درجه‌ی سانتیگراد در مرحله‌ی گلدهی و گرده‌افشانی گندم در اغلب مناطق تولید گندم در کشور در مقایسه با شرایط فعلی بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. ایشان همچنین اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر را بر عملکرد گندم مثبت ارزیابی کردند، اما شبیه‌سازی ایشان نشان داد که در صورت افزایش درجه‌ی حرارت به میزان 3 درجه یا بیشتر، حتی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر، عملکرد گندم کاهش خواهد یافت. پیش‌بینی عملکرد برای سال 2050 میلادی نیز نشان داد که در شرایط اقلیمی سال هدف، عملکرد گندم آبی در مناطق مختلف تولید، در محدوده‌ی 14 تا 21 درصد کاهش خواهد یافت. براساس نتایج این مطالعه، با افزایش آستانه‌ی مقاومت گندم به دمای زیاد در زمان گلدهی به میزان 2 تا 4 درجه‌ی سانتیگراد، از کاهش عملکرد گندم در شرایط اقلیمی سال هدف (2050) بطور قابل ملاحظه‌ای کاسته خواهد شد. کوچکی و همکاران (1386) در مطالعه‌ی خود اثر تغییر اقلیم را بر شاخصه‌های هواشناسی ایران مورد بررسی قرار دادند. به این منظور شبیه‌گردش عمومی UKMO برای سالهای 2025 و 2050 میلادی به‌کار گرفته شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که میانگین افزایش دمای فصل بهار برای سالهای 2025 و 2050 در کل ایستگاههای مطالعه شده به ترتیب 3/1 و 3/9، برای ماههای فصل تابستان به ترتیب 3/8 و 4/7، برای فصل پاییز 2/3 و 3/0 و برای فصل زمستان 2/0 و 2/4 درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد. براساس نتایج به‌دست آمده، شدت کاهش بارندگی در

بررسی قرار دادند. نتایج این بررسیها نشان دادند که تغییرات اقلیمی در مناطق مورد مطالعه در طول دوره‌ی آماری فوق یکسان نمی‌باشند، بطوری که مقادیر کمینه‌ی دما در مناطق شمالی (سواحل دریای خزر) و نواحی کوهستانی ایران دارای تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای بوده، ولی در مناطق دیگر کشور تغییرات زیادی ندارد. از طرف دیگر، مقادیر بیشینه‌ی دما در کلیه مناطق، به جز نواحی جنوبی کشور، دارای تغییرات زیادی است. مجموع بارندگی ماهانه، به جز در مناطق حاشیه‌ای کویرهای مرکزی، تغییرات آماری معنی‌داری ندارند. در مورد ایستگاه قزوین، که در این مطالعه جزء مناطق دارای آب و هوای مدیترانه‌ای نسبتاً سرد و کوهستانی طبقه بندی شده است، تغییرات کمینه‌ی دما نسبت به سالهای قبل (مقادیر متوسط دوره‌ی آماری 1981 تا 1995 نسبت به دوره‌ی 1966 تا 1980) غیر معنی‌دار، تغییرات بیشترین دما معنی‌دار، و تغییرات مجموع بارش ماهانه غیر معنی‌دار تشخیص داده شده است. این مطالعه، اثرات تغییر اقلیم، در سالهای آینده ناشی از گرم شدن زمین مورد نظر قرار نداده است. کوچکی و همکاران (1380) اثر دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن را بر رشد و تولید ارقام گندم به کمک یک شبیه‌سازی عمومی شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه (SIMTAG) در شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی و با شرایط فعلی مقایسه کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تغییر اقلیم از طریق افزایش درجه‌ی حرارت، باعث 26 روز کاهش در طول دوره‌ی رشد گندم در شرایط اقلیمی مشهد خواهد شد. میانگین تولید زیست‌توده¹ حدود 6 درصد افزایش یافت، حال آن‌که عملکرد گندم تا 30 درصد افزایش را نشان داد. پیش‌بینی شبیه‌ی نشان داد که تغییر اقلیم باعث افزایش قابل ملاحظه‌ی عملکرد در شرایط اقلیمی سال 1400 خواهد شد. به‌رغم افزایش درجه‌ی حرارت تا سال 1400، آب مصرفی گندم در طول فصل رشد کاهش خواهد یافت، که با توجه به افزایش عملکرد، نشان از بهبود کارایی مصرف آب دارد. کوچکی و نصیری محلاتی (1387) اثر تغییر اقلیم و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر را بر عملکرد گندم در سطح کشور و راهکارهای سازگاری با این

¹ biomass

معلوم گردید که تغییرات موجود از نوع روند و در دو جهت مثبت و منفی بوده، و به این ترتیب که از دمای بیشینه تمام ایستگاهها (به جز بابلسر) کاسته، و بر دمای کمینه‌ی آنها افزوده شده است. فقط دمای کمینه‌ی گرگان از روند منفی پیروی می‌کند. تغییرات گروههای بارندگی مستقل از بقیه‌ی عناصر عمل کرده و اندازه‌ی تغییر در گرگان شدیدتر از سایر ایستگاهها و از نوع روند منفی تشخیص داده شد. روند تغییر رطوبت ماهانه از نوع مثبت (به جز بابلسر) بوده، و هر گونه تغییر در دما (افزایشی یا کاهش)، منجر به روند افزایشی در رطوبت گردید. بیشترین اندازه‌ی افزایش دمای کمینه در فصل بهار و تابستان، و کمترین آن در فصل زمستان رخ داده است. دمای کمینه فصل پاییز هیچگونه تغییر مهمی را نشان نداد. در گروه‌های مربوط به بارش مشخص گردید که بارندگی زمستان و بهار ایستگاه گرگان دارای روند مثبت و منفی است، در حالی که بارندگی انزلی (تابستان) دارای روند منفی، و بقیه ایستگاهها تغییرات بارزی را در بارندگی نشان ندادند. در گروههای ابرناکی فصول، هیچ اثری از روند مشاهده نشد. زمان شروع بیشتر تغییرات ناگهانی و از نوع روند می‌باشد. همچنین زمان تغییر عناصر در ایستگاهها متفاوت، و نشان‌دهنده عدم هماهنگی پدیده‌ی تغییر در ایستگاههای مورد مطالعه بود. مساح بوانی و مرید (1384) اثر تغییر اقلیم بر جریان زاینده رود اصفهان مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، آثار ناشی از تغییر اقلیم دما، بارندگی و رواناب در این حوضه تحت دو نمایشنامه‌ی اقلیمی، و برای دو دوره‌ی سی ساله‌ی 2039-2010 و 2099-2070 میلادی، مورد تحلیل قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه، از شبیه‌گردش عمومی HadCM3، شامل مقادیر بارندگی و دما (میانگین، بیشینه و کمینه) ماهانه در دوره‌های آتی، تحت دو نمایشنامه‌ی A2 و B2 از نمایشنامه‌های تولید گازهای گلخانه‌ای SRES تأمین گردید. نتایج مطالعه‌ی ایشان در مجموع نشان از کاهش بارندگی و افزایش دما در هر دو دوره و بخصوص در دوره‌ی دوم داشته است، بطوری که طی این دوره‌ها، اندازه‌ی کاهش بارندگی به ترتیب 10 و 16 درصد، و میزان افزایش دما به ترتیب 4/6 و 3/2 درجه‌ی سانتیگراد برای دو نمایشنامه‌ی A2 و B2 پیش‌بینی گردید.

مناطق خشک و نیمه خشک کشور بارزتر از مناطق مرطوب بوده و کاهش بارندگی در پاییز و زمستان بیشتر از بهار و تابستان خواهد بود. براساس پیش‌بینی‌های به‌دست آمده، متوسط کاهش بارندگی پاییزه برای تمام ایستگاههای تحت بررسی در سالهای 2025 و 2050 میلادی به ترتیب 8 و 11 درصد و برای ماههای فصل تابستان تقریباً ناچیز می‌باشد. از طرف دیگر، شرایط اقلیمی پیش‌بینی شده با کاربرد شبیه‌گردش عمومی نشان‌دهنده‌ی طولانیتر شدن فصل خشکی در سالهای 2025 و 2050 در تمامی ایستگاههای تحت بررسی می‌باشد. نتایج این مطالعه تأییدی بر خشکتر شدن مناطق خشک در شرایط تغییر اقلیم است. سلطانی و قلی‌پور (1385) اثر تغییر اقلیم را بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود مورد شبیه‌سازی و بررسی قرار دادند. تحت شرایط دیم و آبی مراغه (شمال غربی ایران)، نتایج شبیه‌سازی اقلیم آینده براساس شبیه‌های GISS و GFDL برای زمانی که غلظت دی‌اکسیدکربن دو برابر می‌شود، نشان داد که در طی فصل رشد نخود، میانگین دما در منطقه‌ی مورد بررسی، به ترتیب 3/5 تا 4/5 درجه‌ی سانتیگراد افزایش می‌یابد، و بارندگی به ترتیب 2 تا 4 درصد و 15 تا 4 درصد تغییر پیدا می‌کند. شبیه‌سازی رشد نخود با استفاده از شبیه‌ی CICER نشان داد که با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر، و تغییرات اقلیمی ناشی از آن، دوره‌ی رشد گیاه بر اثر افزایش دما، 10 تا 13 درصد کاهش می‌یابد؛ عملکرد دانه در شرایط دیم 28 تا 45 درصد، و در شرایط فاریاب، 4 تا 15 درصد، تغییر می‌کند؛ مصرف آب تا 15 درصد کاهش می‌یابد؛ کازایی مصرف آب در شرایط دیم 39 تا 42 درصد و در شرایط آبی 13 تا 22 درصد افزایش پیدا می‌کند. عزیزی و روشنی (1387) تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر را با کاربرد روش من‌کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از تحلیل ایشان نشان دادند که زمان شروع بیشتر تغییرات ناگهانی، و از هر دو نوع روند و نوسان بوده است. در اکثر ایستگاهها، دمای کمینه روند مثبت و دمای بیشینه روند منفی را نشان داده است؛ بدین ترتیب، از دامنه نوسان دما در طول دوره کاسته شده است. در بررسی گروههای دمای بیشینه و کمینه در این مطالعه

تولید نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در مقیاس کوچک

بسیاری از مطالعات بررسی اثرات تغییر اقلیم به اطلاعاتی نیاز دارند که مقیاس مکانی آنها کوچکتر از مقیاس مکانی اطلاعات حاصل از شبیه‌های GCM یا RCM¹ می‌باشد. شبیه‌های گردش عمومی (GCM) دارای وضوح مکانی چند صد کیلومتری و شبیه‌های منطقه‌ای (RCM) نیز دارای وضوح مکانی چند ده کیلومتری می‌باشند. با این حال، بسیاری از مطالعات مرتبط با اثرات تغییر اقلیم به داده‌های هم‌ارز مشاهدات نقطه‌ای نیازمندند، و نسبت به تغییرات کوچک مقیاس اقلیم، دارای حساسیت زیادی می‌باشند. این مسأله بویژه برای مناطقی با پستی و بلندی پیچیده، مناطق ساحلی یا جزایر دریایی، و مناطقی با پوشش غیرهمگن واضحتر است. روش بسیار ساده‌ی به دست آوردن نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در مقیاس کوچکتر (که در اصطلاح، کوچک مقیاس کردن یا ریزمقیاس کردن² نامیده می‌شود)، استفاده از مقادیر بزرگ مقیاس حاصل از شبیه‌های GCM، و اعمال تغییرات افکنده شده‌ی آنها بر یک اقلیم مشاهده شده‌ی پایه می‌باشد (روش عامل تغییر³). این روش بویژه در جایی که نتایج شبیه‌های RCM وجود نداشته باشد، یا برای مطالعات ارزیابی حساسیت و در ارزیابی‌های گروه چندین نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم یا شبیه GCM مناسب است. اطلاعات کوچک مقیاس شده‌ی تغییر اقلیم برای استفاده در مطالعه‌ی اثرات تغییر اقلیم را می‌توان با کاربرد روشهای آماری کوچک مقیاس کردن نیز به دست آورد، که این روشها از پیچیدگیهای بیشتری برخوردارند، و تاکنون بیشتر معطوف بر استفاده از یک شبیه GCM بوده‌اند. روشهای آماری کوچک مقیاس کردن (SD)⁴ بر این اساس بنا شده‌اند که اقلیم محلی تابعی از دو عامل است: وضعیت اقلیم بزرگ مقیاس، و ویژگی‌های گیوتاشناسی منطقه. در ابتدا شبیه‌های آماری بین متغیرهای اقلیم بزرگ مقیاس (پیش‌بینی‌ها) و متغیرهای اقلیمی کوچک مقیاس محلی یا منطقه‌ای (پیش‌بینی‌کننده‌ها) تعیین می‌شوند. سپس، نتایج بزرگ

مقیاس شبیه‌های GCM به عنوان ورودی این شبیه‌ها استفاده شده و ویژگی‌های اقلیم منطقه‌ای یا محلی تخمین زده می‌شوند. یکی از مزایای عمده‌ی این روش نیاز به محاسبات کم آن است. مزیت دیگر این روش، این است که توانایی به کار گرفتن آن برای تولید اطلاعات مربوط به هر پایگاه ویژه است که این مسأله بویژه در بسیاری از مطالعات تغییر اقلیم از اهمیت زیادی برخوردار است. ضعف عمده‌ی این روش قابل تأیید نبودن فرض اساسی آنها، یعنی این فرض، که روابط آماری ایجاد شده برای اقلیم کنونی در شرایط تغییر اقلیم نیز برقرار می‌باشند؛ گر چه این ضعف در مورد شبیه‌های پویا نیز وجود دارد.

به منظور برطرف کردن عدم پیوستگی در تغییرات بین متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده در پایگاه‌های نزدیک به هم، که در دو سلول متفاوت محاسباتی قرار می‌گیرند، از روش درون‌یابی سلولهای مجاور منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود (مساح بوانی، 1384؛ بارو و همکاران، 1996). مسأله‌ی مهم در این روش، تعداد سلولهای مورد نیاز در اطراف سلول اصلی برای محاسبات درون‌یابی می‌باشد. وان استروچ و همکاران (1993) نشان دادند که برای محاسبات درون‌یابی به اطلاعات کمترین 4 سلول در اطراف سلول هدف نیاز است. مساح بوانی (1384) در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی خطر تغییر اقلیم و اثر آن بر منابع آب حوضه‌ی زاینده رود، به مقایسه‌ی روشهای زمین‌آماری کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)⁵ پرداخت. ایشان دریافتند که استفاده از ترکیب سلولهای مختلف با روش IDW تأثیر چندانی را بر عملکرد کوچک مقیاس کردن ندارد، و با توجه به مراحل طولانی محاسبه در روش کریجینگ در مقایسه با روش IDW، این روش به عنوان روش میان‌یابی انتخاب گردید. از طرفی، نتایج حاصل از دو روش فوق در یک سطح ارزیابی گردیدند. در این مطالعه، از اطلاعات 2، 8 و 24 سلول مجاور استفاده گردید و در نهایت، روش IDW با 8 سلول مجاور به عنوان روش نهایی برگزیده شد.

مواد و روشها

محدوده‌ی مطالعاتی

¹ Regional Circulation Models

² downscaling

³ -change factor

⁴ statistical downscaling methods

⁵ - inverse distance weighting

نشان‌دهنده‌ی نمایشنامه‌ی قرن بیستم (مینا) شبیه‌سازی شده با کاربرد همان شبیه GCM می‌باشد. این روش، مشابه روش عامل تغییر می‌باشد (به‌عنوان مثال: آرزل، a, b؛ 2003؛ آرزل و رینارد، 1996؛ دیازنیتو و ویلبی، 2004؛ پیلینگ و جونز، 1999). در روش عامل تغییر، ابتدا دوره‌ی مینا برای منطقه یا ایستگاه مورد نظر تعیین می‌شود (مثل دوره‌ی 90 1961 و یا دوره‌ای که اطلاعات مشاهداتی دما و بارندگی وجود دارد). سپس، تغییر متغیر مورد نظر در نزدیکترین گره‌ی شبیه GCM به ایستگاه یا منطقه‌ی مورد نظر محاسبه می‌شود (اختلاف بین میانگین دمای شبیه GCM در دوره‌ی مینا و دوره‌ی آینده‌ی مورد نظر، مثل دوره‌ی 2050). در نهایت، این مقدار به مقادیر روزانه‌ی دوره‌ی مینا اضافه می‌شود. تفاوت روش مورد استفاده در این مطالعه با روش عامل تغییر در این است که در روش فعلی، علاوه بر تغییر میانگین، تغییرات انحراف معیار میانگینهای ماهانه نیز مورد نظر قرار می‌گیرند.

میان یابی

به منظور برطرف ساختن عدم پیوستگی در اطلاعات ایستگاههای مجاور، از روش IDW استفاده گردید. در این روش، پس از محاسبه‌ی تغییرات هر متغیر در هر یک از نمایشنامه‌ها نسبت به نمایشنامه‌ی مینا، فاصله‌ی اقلیدسی کلیه‌ی نقاط نسبت به نقطه‌ی هدف محاسبه گردیده و این نقاط برحسب فاصله مرتب می‌شوند (از کم به زیاد). سپس، K نقطه‌ی که در کمترین فاصله نسبت به نقطه‌ی هدف قرار گرفته‌اند، برای محاسبه‌ی مقدار متغیر مورد نظر در این نقطه مورد استفاده قرار می‌گیرند. وزن هر یک از نقاط مجاور در محاسبه‌ی مقدار متغیر در نقطه‌ی هدف از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$W_j = \frac{1}{\sum_{j=1}^K \frac{1}{(s + H_{ij})^p}} \quad j = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, K$$

در این رابطه، W_j وزن نقطه‌ی j ام، H_{ij} فاصله‌ی نقطه‌ی j ام از نقطه‌ی i (نقطه‌ی هدف)، s یک مقدار بسیار کوچک (در این جا 10^{-40}) برای جلوگیری از تقسیم شدن

ایستگاههای مورد مطالعه در محدوده‌ی شبکه‌ی آبیاری و زهکشی قزوین قرار دارند. این ایستگاهها، شامل ایستگاه سینوپتیک قزوین، ایستگاههای سینوپتیک و هواشناسی تاکستان، ایستگاه هواشناسی نیروگاه شهیدرجایی، ایستگاه هواشناسی مگسال، و ایستگاه هواشناسی سد طالقان می‌باشند. مشخصات این ایستگاهها در اطلاعات شبیه‌های GCM

به منظور تشریح نمایشنامه‌های تغییر اقلیم، اطلاعات ماهانه‌ی شبیه‌های GCM (میانگینهای ماهانه) از بانک اطلاعات PCMDI و برای تمامی نمایشنامه‌های شبیه‌سازی شده، و از جمله 5 نمایشنامه‌ی 20c3m (نمایشنامه‌ی قرن بیستم که به‌عنوان نمایشنامه‌ی مینا در نظر گرفته می‌شود)، A1b, Commit, A2, B1 و استخراج گردیدند. میانگین و انحراف معیار میانگین‌های ماهانه در هر یک از نمایشنامه‌ها، و برای هر یک از دوره‌های مورد نظر، محاسبه گردید. این دوره، برای نمایشنامه‌ی مینا شامل سالهای 1980 تا 1999 میلادی، و برای دیگر نمایشنامه‌ها، شامل سالهای 2040 تا 2069 میلادی می‌باشد. در این مطالعه، دو نوع تغییر مورد مطالعه قرار گرفت: (1) تغییر در میانگین میانگین‌های ماهانه و (2) تغییر در انحراف معیار میانگین‌های ماهانه. تغییرات هر یک از این شاخصها در نمایشنامه‌های تغییر اقلیم، نسبت به نمایشنامه‌ی مینا (نمایشنامه‌ی قرن بیستم) محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی تغییر در میانگین میانگین‌های ماهانه‌ی متغیر دما از تغییرات مطلق (رابطه‌ی 1) و برای دیگر متغیرها (بارندگی، رطوبت نسبی، باد و تابش خورشیدی)، از تغییرات نسبی (رابطه‌ی 2) استفاده گردید. برای محاسبه‌ی تغییر در انحراف معیار میانگین‌های ماهانه‌ی کلیه‌ی متغیرها نسبت به دوره‌ی مینا نیز از رابطه‌ی 2 استفاده شد:

$$\Delta T = T_{GCM, S} - T_{GCM, B} \quad (1)$$

$$\Delta V = V_{GCM, S} / V_{GCM, B} \quad (2)$$

در این روابط، T میانگین متغیرهای دما (کمینه، بیشینه و میانگین دما) و V میانگین سایر متغیرها (غیر از دما) ویا انحراف معیار کلیه‌ی متغیرها را نشان می‌دهد. زیرنویس S نشان دهنده‌ی نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه GCM و زیرنویس B

تخمینی برای نقطه‌ی هدف کمتر می‌گردد. در نهایت، مقدار متغیر مورد نظر در نقطه‌ی هدف از میانگین وزنی نقاط مجاور محاسبه می‌شود.

زیرنویس S نشان دهنده‌ی نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه GCM و زیرنویس B نشان دهنده‌ی نمایشنامه‌ی قرن بیستم (مبنا) شبیه‌سازی شده با کاربرد همان شبیه GCM می‌باشد. این روش، مشابه روش عامل تغییر² می‌باشد (به‌عنوان مثال: آرنل، 2003 a,b؛ آرنل و رینارد، 1996؛ دیازنیتو و ویلیبی، 2004؛ پیلینگ و جونز، 1999). در روش عامل تغییر، ابتدا دوره‌ی مبنا برای منطقه یا ایستگاه مورد نظر تعیین می‌شود (مثل دوره‌ی 90 1961 و یا دوره‌ای که اطلاعات مشاهداتی دما و بارندگی وجود دارد). سپس، تغییر متغیر مورد نظر در نزدیکترین گره‌ی شبیه GCM به ایستگاه یا منطقه‌ی مورد نظر محاسبه می‌شود (اختلاف بین میانگین دمای شبیه GCM در دوره‌ی مبنا و دوره‌ی آینده‌ی مورد نظر، مثل دوره‌ی 2050). در نهایت، این مقدار به مقادیر روزانه‌ی دوره‌ی مبنا اضافه می‌شود. تفاوت روش مورد استفاده در این مطالعه با روش عامل تغییر در این است که در روش فعلی، علاوه بر تغییر میانگین، تغییرات انحراف معیار میانگینهای ماهانه نیز مورد نظر قرار می‌گیرند.

میان یابی

به منظور برطرف ساختن عدم پیوستگی در اطلاعات ایستگاههای مجاور، از روش IDW استفاده گردید. در این روش، پس از محاسبه‌ی تغییرات هر متغیر در هر یک از نمایشنامه‌ها نسبت به نمایشنامه‌ی مبنا، فاصله‌ی اقلیدسی کلیدی نقاط نسبت به نقطه‌ی هدف محاسبه گردیده و این نقاط برحسب فاصله مرتب می‌شوند (از کم به زیاد). سپس، K نقطه‌ی که در کمترین فاصله نسبت به نقطه‌های هدف قرار گرفته‌اند، برای محاسبه‌ی مقدار متغیر مورد نظر در این نقطه مورد استفاده قرار می‌گیرند. وزن هریک از نقاط مجاور در محاسبه‌ی مقدار متغیر در نقطه‌ی هدف از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

بر صفر، و P نمای وزن دهی می‌باشد که مقدار آن معمولاً بین 1 تا 5 انتخاب می‌شود (مساح بوانی، 1384). هرچه مقدار P بیشتر باشد، میزان تأثیر نقاط دورتر بر مقدار جدول 4 نشان داده شده‌اند. ایستگاههای سینوپتیک و هواشناسی تاکستان، به‌عنوان یک ایستگاه در مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند.

اطلاعات شبیه‌های GCM

به منظور تشریح نمایشنامه‌های تغییر اقلیم، اطلاعات ماهانه‌ی شبیه‌های GCM (میانگینهای ماهانه) از بانک اطلاعات PCMDI و برای تمامی نمایشنامه‌های شبیه‌سازی شده، و از جمله 5 نمایشنامه‌ی 20c3m (نمایشنامه‌ی قرن بیستم که به‌عنوان نمایشنامه‌ی مبنا در نظر گرفته می‌شود)، A1b، Commit، A2 و B1 استخراج گردیدند. میانگین و انحراف معیار میانگینهای ماهانه در هریک از نمایشنامه‌ها، و برای هریک از دوره‌های مورد نظر، محاسبه گردید. این دوره، برای نمایشنامه‌ی مبنا شامل سالهای 1980 تا 1999 میلادی، و برای دیگر نمایشنامه‌ها، شامل سالهای 2040 تا 2069 میلادی می‌باشد. در این مطالعه، دو نوع تغییر مورد مطالعه قرار گرفت: (1) تغییر در میانگین میانگینهای ماهانه و (2) تغییر در انحراف معیار میانگینهای ماهانه. تغییرات¹ هریک از این شاخصها در نمایشنامه‌های تغییر اقلیم، نسبت به نمایشنامه‌ی مبنا (نمایشنامه‌ی قرن بیستم) محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی تغییر در میانگین میانگینهای ماهانه‌ی متغیر دما از تغییرات مطلق (رابطه‌ی 1) و برای دیگر متغیرها (بارندگی، رطوبت نسبی، باد و تابش خورشیدی)، از تغییرات نسبی (رابطه‌ی 2) استفاده گردید. برای محاسبه‌ی تغییر در انحراف معیار میانگینهای ماهانه‌ی کلیدی متغیرها نسبت به دوره‌ی مبنا نیز از رابطه‌ی 2 استفاده شد:

$$\Delta T = T_{GCM,S} - T_{GCM,B} \quad (3)$$

$$\Delta V = V_{GCM,S} / V_{GCM,B} \quad (4)$$

در این روابط، T میانگین متغیرهای دما (کمینه، بیشینه و میانگین دما) و V میانگین سایر متغیرها (غیر از دما) و با انحراف معیار کلیدی متغیرها را نشان می‌دهد.

² change factor

¹-Anomalies

بر صفر، و P نمای وزن‌دهی می‌باشد که مقدار آن معمولاً بین 1 تا 5 انتخاب می‌شود (مساح بوانی، 1384). هرچه مقدار P بیشتر باشد، میزان تأثیر نقاط دورتر بر مقدار تخمینی برای نقطه‌ی هدف کمتر می‌گردد. در نهایت، مقدار متغیر مورد نظر در نقطه‌ی هدف از میانگین وزنی نقاط مجاور محاسبه می‌شود.

$$W_j = \frac{1}{\sum_{j=1}^K \frac{1}{(s + H_{ij})^p}} \quad j = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, K$$

در این رابطه، W_j وزن نقطه‌ی j ام، H_{ij} فاصله‌ی نقطه‌ی j ام از نقطه‌ی i (نقطه‌ی هدف)، s یک مقدار بسیار کوچک (در این جا 10^{-40}) برای جلوگیری از تقسیم شدن

جدول 4. مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی.

| نام ایستگاه | نوع ایستگاه | مختصات | ارتفاع (متر) | دوره‌ی آماری | درصد اطلاعات مفقوده بارندگی | درصد اطلاعات مفقوده یکی از متغیرهای دیگر |
|-------------------|-------------|-------------------|--------------|--------------|-----------------------------|--|
| قزوین | سینوپتیک | 50 03 E و 36 15 N | 1279 | 2008 1959 | --- | 0/3% |
| تاکستان | هواشناسی | 49 39 E و 36 03 N | 1325 | 2003 1961 | 25% | 82% |
| تاکستان | سینوپتیک | 49 42 E و 36 03 N | 1283 | 2008 2004 | --- | --- |
| نیروگاه شهیدرجایی | هواشناسی | 50 15 E و 36 11 N | 1285 | 2007 1984 | 7% | 36% |
| مگسال | هواشناسی | 50 07 E و 36 08 N | 1265 | 1999 1976 | 32% | 85% |
| سد طالقان | هواشناسی | 50 39 E و 36 11 N | 1215 | 2011 2006 | 14% | --- |

انتخاب می‌شوند. این کار، برای هریک از ماههای سال بطور جداگانه انجام گرفت.

تشریح نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در سطح منطقه‌ی مطالعاتی

پس از تعیین مقادیر بهینه‌ی K و P در روش میان‌یابی IDW، تغییرات میانگین و انحراف معیار میانگینهای ماهانه برای هریک از ایستگاههای مورد مطالعه با توجه به مختصات این ایستگاهها محاسبه گردید. این تغییرات عبارت بودند از تغییرات در میانگین و انحراف معیار میانگینهای ماهانه‌ی متغیرهای کمینه و بیشینه دما، میانگین دما، بارندگی، باد، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی. نمایشنامه‌های تغییر اقلیم به پنج دسته تقسیم شدند: دسته‌ی اول، شامل کلیه‌ی نمایشنامه‌های تغییر اقلیم می‌باشد (All). دسته‌ی دوم تا پنجم هر کدام تنها یک نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم را شامل می‌شوند (A1B, Commit, A2 و B1). در هر دسته، مقدار

به منظور تعیین مقدار بهینه‌ی K و P ، از یک الگوریتم تکراری استفاده شد. این الگوریتم، از روش صحت‌سنجی متقاطع¹ استفاده می‌کند. پس از محاسبه‌ی تغییرات هریک از شاخصها نسبت به دوره‌ی مبنا، برای هریک از سلولهای شبیه‌های GCM، و در هریک از نمایشنامه‌های تغییر اقلیم، مقدار K از 4 تا 16 (با فواصل 4 تایی)، و مقدار P بین 0/5 تا 4 (با فواصل 0/5) تغییر داده می‌شود. در هر تکرار، ابتدا یک نقطه از مجموعه‌ی نقاط حذف شده و مقدار این نقطه با استفاده از روش IDW محاسبه می‌شود. این کار برای کلیه‌ی نقاط انجام گرفته و در نهایت، مقادیر محاسبه شده با کاربرد روش IDW (با مقدار K و P انتخاب شده)، با مقادیر واقعی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در نهایت، مقادیر K و P که به کمترین خطا منجر می‌شوند به‌عنوان مقادیر بهینه

¹ - cross-validation

متغیر را مورد مقایسه قرار می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، تغییرات میانگین بیشینه دما نسبت به کمینه‌ی دما بیشتر است و این مسأله باعث افزایش دامنه‌ی تغییرات دما در طول روز خواهد شد. این نتیجه‌گیری، نتایج مطالعه‌ی جهانبخش و ترابی (1383) را مورد تأیید قرار می‌دهد. هرچند چنین روندی با روند تاریخی مشاهده شده به‌وسیله‌ی عزیز و روشنی (1387) و یا نتایج مطالعه‌ی ایسترلینگ و همکاران (1997)، ووز (2005) و نیکولز (1997) در تناقض است.

رطوبت نسبی، باد و تابش خورشیدی در مقایسه با دما، تغییرات کمتری خواهند داشت، به‌نحوی که متوسط تغییرات میانگین میانگینهای ماهانه‌ی این سه متغیر در ایستگاه قزوین به ترتیب برابر با 2٪، 1٪ و صفر خواهد بود. بیشترین کاهش میانگین متغیرهای رطوبت نسبی، باد و تابش خورشیدی به ترتیب مربوط به ماههای ژوئیه (3٪)، فوریه (8٪) و ژانویه، فوریه و دسامبر (1٪) و بیشترین افزایش مربوط به ماههای ژانویه و فوریه (1٪)، ژوئن (6٪) و مارس، آوریل و مه (1٪) می‌باشد. متغیر تابش خورشیدی عملاً تغییرات محسوسی نخواهد داشت. این مسأله، به‌رغم افزایش درجه‌ی حرارت، قابل توجه بوده و نشان از اثر گازهای گلخانه‌ای در بالا رفتن دما می‌باشد. تغییرات میانگین میانگینهای ماهانه‌ی متغیر رطوبت نسبی در بیشتر ماههای سال، و با احتمال 50٪ بسیار ناچیز برآورد گردیده‌اند. این تغییرات، بطور متوسط در حد 2٪، کمینه 4٪ (ژوئیه) و بیشینه 1٪ (ژانویه و فوریه) خواهد بود. کاهش میانگین این متغیر در ارتباط مستقیم با کاهش متوسط بارندگی (در ماههای مارس تا اوت) می‌باشد. میانگین بارندگی نیز تغییرات نسبتاً قابل توجهی را نشان می‌دهد. از اکتبر تا فوریه، که جزو ماههای مرطوب سال می‌باشند، متوسط افزایش بارندگی 4٪ برآورد گردیده است، در حالی که میانگین متوسط بارش در ماههای مارس تا اوت بطور متوسط در حدود 9٪ خواهد بود. کاهش بارش به‌وسیله‌ی واقلی و اسماعیلی (1387) نیز مورد تأیید قرار گرفته است. بیشترین کاهش مربوط به ماه ژوئن (15٪) و کمترین کاهش نسبت به دوره‌ی مینا مربوط به اکتبر (صفر) می‌باشد. توجه به این نکته ضروری

تغییرات براساس احتمال تجمعی (صدک) 25، 50 و 75 درصد محاسبه گردید. از آن‌جاکه برخی متغیرها با کاربرد بعضی از شبیه‌های GCM شبیه‌سازی نشده‌اند، و با برخی شبیه‌های GCM بیش از یک‌بار اجرا¹ گردیده، بنابراین، مجموع نمایشنامه‌های تغییر اقلیم برای متغیرهای مختلف متفاوت است. از آن‌جاکه تنها متغیرهای بارندگی و میانگین دما در ایستگاه طالقان اندازه‌گیری می‌شوند، نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در این ایستگاه تنها به این دو متغیر محدود شدند.

نتایج و بحث

تغییرات میانگین میانگینهای ماهانه

نمایشنامه‌های تغییر میانگین میانگینهای ماهانه‌ی کلیه‌ی متغیرهای مورد مطالعه را برای ایستگاه قزوین نشان می‌دهد. به دلیل حجم زیاد جداول، جدولهای مربوط به نمایشنامه‌های 25 و 75 درصد ارائه نشده‌اند. همچنین، از آن‌جاکه مقادیر نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در ایستگاههای واقع در محدوده‌ی شبکه‌ی آبیاری قزوین بسیار نزدیک به یکدیگرند، تنها به بررسی تغییرات در ایستگاه قزوین و سد طالقان پرداخته می‌شود. شکل 1 نمایشنامه‌های تغییر اقلیم را در ایستگاه قزوین (برای احتمال تجمعی 50٪) و دامنه‌ی عدم قطعیت این تغییرات نمایش می‌دهد.

در ایستگاه قزوین، کمترین افزایش میانگین میانگینهای ماهانه‌ی کمترین دما، مربوط به ژانویه (1/08 درجه) و بیشترین افزایش مربوط به آگوست (2/3 درجه) می‌باشد. متوسط تغییر میانگین میانگینهای ماهانه‌ی کمترین دما در این ایستگاه و برای کلیه‌ی ماههای سال برابر با 1/61 درجه می‌باشد. افزایش دما، محتملترین تغییر در نمایشنامه‌های تغییر اقلیم تلقی شده و در بسیاری مطالعات این پدیده مورد تأیید قرار گرفته است (IPCC, 2007؛ واقلی و اسماعیلی، 1387؛ ابراهیمی و همکاران، 1379). در ارتباط با بیشترین دما نیز ژانویه در دوره‌ی 2040 تا 2069 نسبت به دوره‌ی مینا، شاهد کمترین افزایش (1/51 درجه) و اوت شاهد بیشترین افزایش (2/33 درجه) خواهد بود. شکل 2 تغییرات این دو

¹- run

کمترین افزایش متوسط دما در این ایستگاه (با احتمال 50٪) مربوط به ژانویه (1/23 درجه) و بیشترین افزایش مربوط به ماه اوت (2/42 درجه) خواهد بود. در بین کلیه‌ی ماههای سال، بطور متوسط و با احتمال 50٪ می‌توان انتظار داشت که متوسط دمای روزانه به اندازه‌ی 1/81 درجه افزایش داشته باشد، که این مقدار، 0/2 درجه بیشتر از ایستگاه قزوین است.

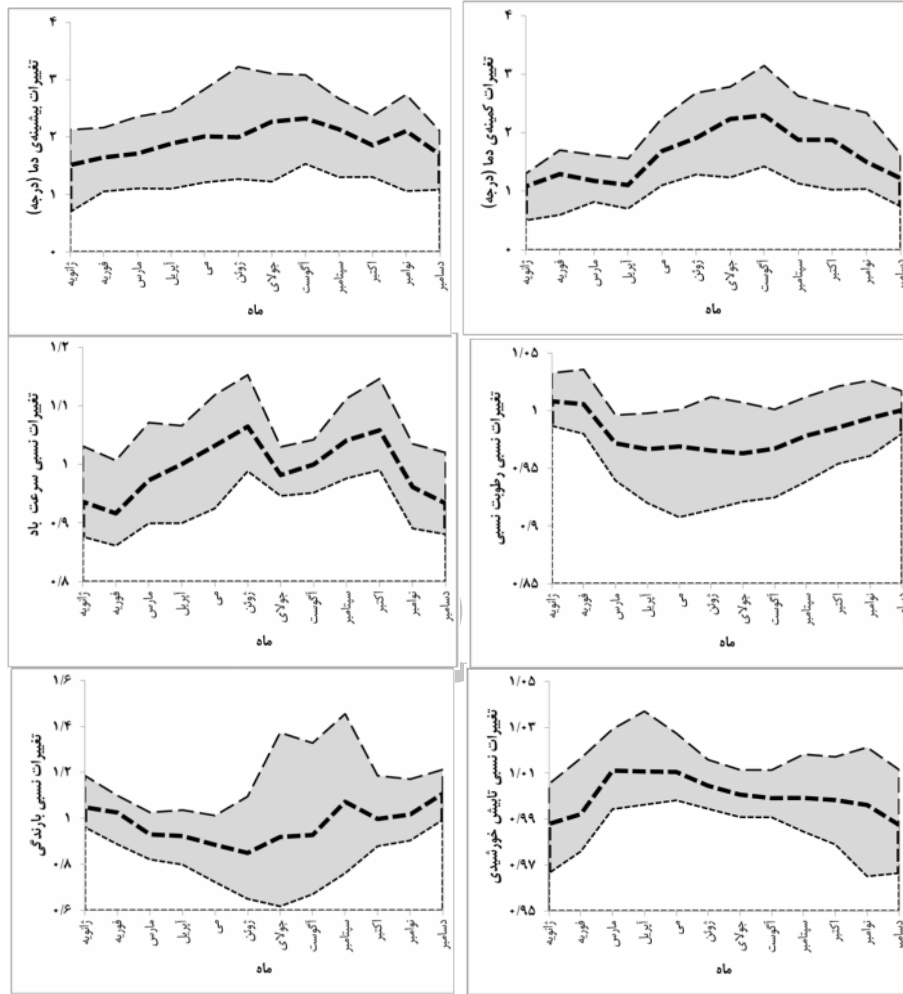
است که در ماههای جولای تا سپتامبر (تابستان)، کمترین بارش در منطقه صورت می‌پذیرد. ایستگاه سد طالقان، به دلیل فاصله‌ی بیشتر در مقایسه با سایر ایستگاهها، تغییرات اقلیمی متفاوتی را تجربه خواهد کرد، هرچند که این تفاوت ناچیز است. با احتمال 50٪ می‌توان انتظار داشت که بطور متوسط، 3٪ از میزان بارش ماهانه‌ی این ایستگاه کاسته شود (

جدول 6. بیشترین کاهش مربوط به ماه ژوئیه (16٪) و کمترین کاهش مربوط به اکتبر (1٪) می‌باشد. بیشترین افزایش بارندگی (در ماههای مرطوب سال) مربوط به دسامبر (11٪) خواهد بود. تغییرات دما در این ایستگاه از روندی مشابه ایستگاه قزوین پیروی می‌کند.

جدول 5. نمایشنامه‌های تغییر میانگین در ایستگاه قزوین با احتمال 50٪.

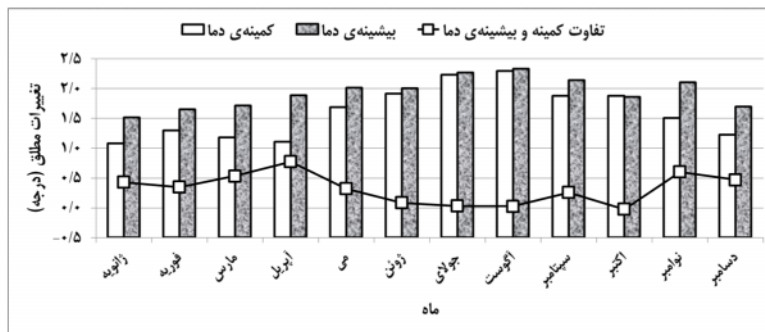
| نمایشنامه | ماه | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | |
|-----------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| All | کمینه دما | ۱/۰۸ | ۱/۳۰ | ۱/۱۸ | ۱/۱۱ | ۱/۶۹ | ۱/۹۱ | ۲/۲۴ | ۲/۳۰ | ۱/۸۸ | ۱/۸۸ | ۱/۵۰ | ۱/۲۲ | |
| | بیشینه دما | ۱/۵۱ | ۱/۶۵ | ۱/۷۱ | ۱/۸۹ | ۲/۰۱ | ۲/۰۰ | ۲/۲۷ | ۲/۳۳ | ۲/۱۴ | ۱/۸۶ | ۲/۱۱ | ۱/۷۰ | |
| | رطوبت نسبی | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۱/۰۰ | |
| | باد | ۰/۹۴ | ۰/۹۲ | ۰/۹۷ | ۱/۰۰ | ۱/۰۳ | ۱/۰۶ | ۱/۰۶ | ۰/۹۸ | ۱/۰۰ | ۱/۰۴ | ۱/۰۶ | ۰/۹۶ | ۰/۹۳ |
| | تابش خورشیدی | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ |
| | بارندگی | ۱/۰۵ | ۱/۰۳ | ۰/۹۳ | ۰/۹۲ | ۰/۸۸ | ۰/۸۵ | ۰/۹۲ | ۰/۹۳ | ۱/۰۷ | ۱/۰۰ | ۱/۰۲ | ۱/۱۱ | ۱/۱۱ |
| Commit | کمینه دما | ۰/۳۸ | ۰/۶۰ | ۰/۳۱ | ۰/۰۶ | ۰/۱۱ | ۰/۸۹ | ۰/۷۹ | ۰/۵۲ | ۰/۱۵ | ۰/۵۶ | ۰/۴۶ | ۰/۰۵ | |
| | بیشینه دما | ۰/۲۷ | ۰/۲۳ | ۱/۰۳ | ۰/۹۲ | ۰/۱۶ | ۰/۸۵ | ۰/۶۳ | ۰/۶۶ | ۰/۲۰ | ۰/۰۳ | ۱/۰۳ | ۰/۰۶ | |
| | رطوبت نسبی | ۱/۰۲ | ۱/۰۲ | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | |
| | باد | ۰/۹۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۹ | ۱/۰۳ | ۱/۰۲ | ۱/۰۰ | ۰/۹۷ | ۱/۰۱ | ۱/۰۴ | ۱/۰۵ | ۰/۹۹ | ۱/۰۲ | |
| | تابش خورشیدی | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۱ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | |
| | بارندگی | ۱/۱۰ | ۱/۰۴ | ۰/۹۷ | ۱/۰۲ | ۰/۹۲ | ۱/۰۲ | ۱/۰۴ | ۰/۹۴ | ۱/۱۶ | ۱/۰۶ | ۰/۹۹ | ۱/۰۹ | |
| A1B | کمینه دما | ۱/۱۸ | ۱/۶۰ | ۱/۴۲ | ۱/۵۵ | ۲/۱۸ | ۲/۶۲ | ۲/۹۰ | ۳/۱۵ | ۲/۰۳ | ۲/۳۲ | ۲/۱۳ | ۱/۵۰ | |
| | بیشینه دما | ۱/۷۳ | ۲/۱۲ | ۲/۰۶ | ۲/۴۲ | ۲/۸۳ | ۲/۳۴ | ۲/۷۸ | ۳/۰۸ | ۲/۳۲ | ۲/۳۴ | ۲/۳۷ | ۲/۰۲ | |
| | رطوبت نسبی | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۹ | ۱/۰۰ | |
| | باد | ۰/۹۴ | ۰/۹۰ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۱/۰۵ | ۱/۱۱ | ۰/۹۹ | ۱/۰۲ | ۱/۰۵ | ۱/۰۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۲ | |
| | تابش خورشیدی | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۱/۰۱ | ۱/۰۲ | ۱/۰۲ | ۱/۰۱ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ | |
| | بارندگی | ۱/۰۴ | ۰/۹۸ | ۰/۹۲ | ۰/۸۷ | ۰/۷۸ | ۰/۷۷ | ۰/۷۵ | ۰/۸۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۱/۰۲ | ۱/۱۲ | |
| A2 | کمینه دما | ۱/۱۷ | ۱/۵۹ | ۱/۱۶ | ۱/۱۱ | ۲/۰۷ | ۲/۴۷ | ۲/۵۷ | ۲/۸۵ | ۲/۱۳ | ۲/۱۳ | ۲/۱۲ | ۱/۶۲ | |
| | بیشینه دما | ۱/۶۶ | ۱/۶۵ | ۱/۷۸ | ۱/۶۹ | ۲/۰۰ | ۲/۱۰ | ۲/۶۰ | ۲/۶۶ | ۲/۲۱ | ۲/۰۶ | ۲/۱۶ | ۱/۸۲ | |
| | رطوبت نسبی | ۱/۰۲ | ۱/۰۰ | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۱/۰۱ | |
| | باد | ۰/۸۹ | ۰/۹۲ | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ | ۱/۰۹ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۱/۰۲ | ۱/۰۴ | ۰/۹۸ | ۰/۹۳ | |
| | تابش خورشیدی | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۷ | |
| | بارندگی | ۱/۰۴ | ۱/۰۳ | ۰/۹۱ | ۰/۹۰ | ۰/۹۱ | ۰/۷۹ | ۰/۹۸ | ۰/۹۶ | ۱/۰۹ | ۱/۰۵ | ۱/۰۵ | ۱/۱۲ | |
| B1 | کمینه دما | ۱/۰۸ | ۱/۲۵ | ۱/۰۹ | ۱/۱۵ | ۱/۵۲ | ۱/۹۱ | ۲/۲۱ | ۲/۰۷ | ۲/۱۵ | ۱/۸۶ | ۱/۴۵ | ۱/۱۸ | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| ۱/۵۷ | ۲/۱۰ | ۱/۹۲ | ۲/۲۳ | ۲/۱۰ | ۲/۰۶ | ۱/۶۷ | ۲/۰۱ | ۱/۸۹ | ۱/۴۹ | ۱/۷۴ | ۱/۵۸ | بیشینه دما |
| -۰/۹۹ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | -۰/۹۸ | -۰/۹۸ | -۰/۹۷ | -۰/۹۸ | -۰/۹۷ | -۰/۹۷ | -۰/۹۸ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | رطوبت نسبی |
| -۰/۹۳ | -۰/۹۴ | ۱/۰۵ | ۱/۰۴ | -۰/۹۸ | -۰/۹۸ | ۱/۰۶ | ۱/۰۱ | -۰/۹۸ | -۰/۹۶ | -۰/۹۲ | -۰/۹۵ | باد |
| -۰/۹۹ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | -۰/۹۹ | -۰/۹۹ | تابش خورشیدی |
| ۱/۱۰ | ۱/۰۳ | -۰/۹۸ | ۱/۱۷ | -۰/۹۵ | -۰/۹۲ | -۰/۹۳ | -۰/۹۰ | -۰/۹۴ | -۰/۹۴ | ۱/۰۴ | ۱/۰۵ | بارندگی |



شکل 1. نمایشنامه‌های تغییر میانگین در ایستگاه قزوین.

(خط منقطع بالا نمایشنامه‌ی 75٪ و خط پایین نمایشنامه‌ی 25٪ را نشان می‌دهند. نمایشنامه‌ی 50٪ با خط ضخیمتر نمایش داده شده است).



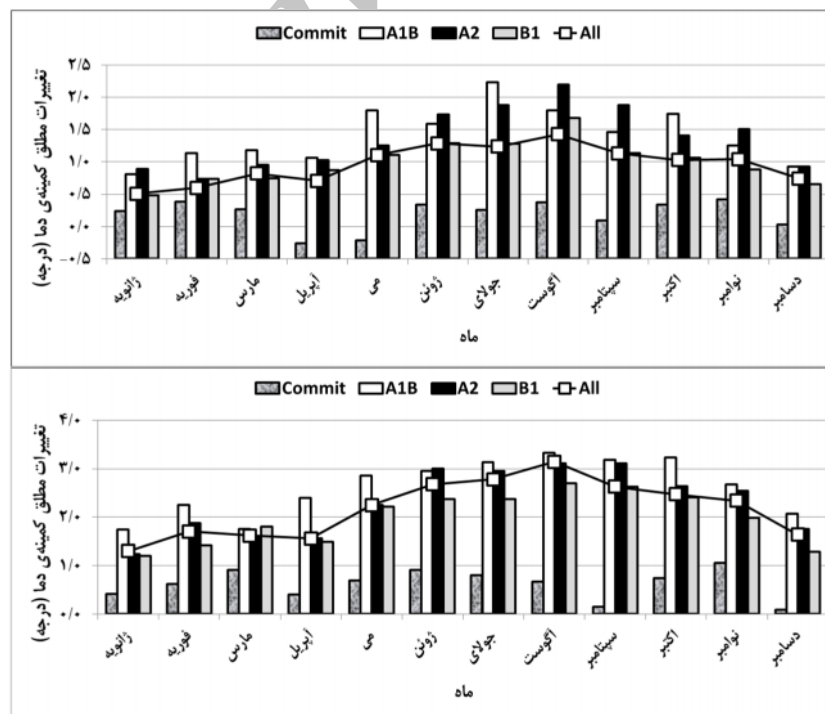
شکل 2. تغییرات میانگین میانگینهای ماهانه‌ی دو متغیر کمینه و بیشینه‌ی دما (احتمال 50٪) و اختلاف این تغییرات.

جدول 6. نمایشنامه‌های تغییر میانگین در ایستگاه سد طالقان با احتمال 50٪.

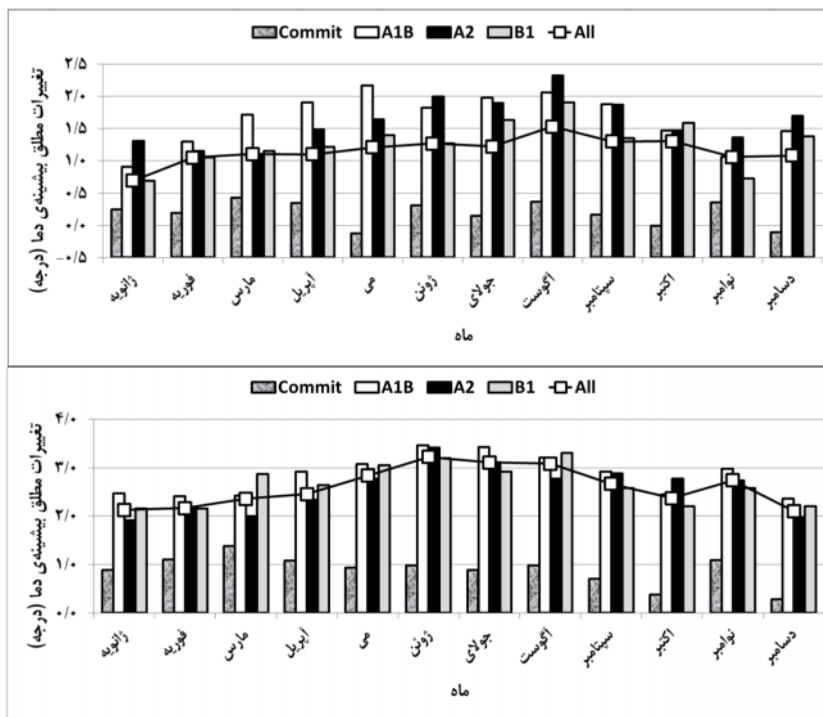
| نمایشنامه | ماه | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ |
|-----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| All | متوسط دما | ۱/۲۳ | ۱/۳۱ | ۱/۵۳ | ۱/۷۰ | ۲/۰۴ | ۲/۱۷ | ۲/۲۸ | ۲/۴۲ | ۲/۲۰ | ۱/۹۱ | ۱/۷۲ | ۱/۲۴ |
| | بارندگی | ۱/۰۵ | ۱/۰۳ | ۰/۹۴ | ۰/۹۳ | ۰/۸۸ | ۰/۸۴ | ۰/۹۱ | ۰/۹۱ | ۰/۹۱ | ۱/۰۷ | ۱/۰۱ | ۱/۱۱ |
| Commit | متوسط دما | ۰/۲۶ | ۰/۴۳ | ۰/۳۷ | ۰/۲۵ | ۰/۷۰ | ۰/۶۷ | ۰/۷۱ | ۰/۷۲ | ۰/۷۴ | ۰/۵۶ | ۰/۴۷ | ۰/۱۲ |
| | بارندگی | ۱/۱۰ | ۱/۰۴ | ۰/۹۸ | ۱/۰۴ | ۰/۹۴ | ۱/۰۵ | ۱/۱۴ | ۰/۹۱ | ۱/۱۶ | ۱/۰۷ | ۱/۰۰ | ۱/۰۹ |
| A1B | متوسط دما | ۱/۵۴ | ۱/۷۳ | ۲/۰۴ | ۲/۳۰ | ۲/۶۲ | ۲/۶۵ | ۲/۸۹ | ۲/۸۸ | ۲/۵۴ | ۲/۳۷ | ۲/۱۵ | ۱/۶۰ |
| | بارندگی | ۱/۰۶ | ۱/۰۰ | ۰/۹۳ | ۰/۸۷ | ۰/۷۸ | ۰/۷۶ | ۰/۷۸ | ۰/۸۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۵ | ۱/۰۰ | ۱/۱۲ |
| A2 | متوسط دما | ۱/۴۹ | ۱/۶۵ | ۱/۸۰ | ۲/۱۱ | ۲/۳۵ | ۲/۵۶ | ۲/۸۴ | ۲/۸۱ | ۲/۵۶ | ۲/۳۰ | ۲/۱۰ | ۱/۶۸ |
| | بارندگی | ۱/۰۵ | ۱/۰۶ | ۰/۹۱ | ۰/۹۰ | ۰/۹۳ | ۰/۷۹ | ۰/۹۴ | ۰/۹۷ | ۱/۰۹ | ۱/۰۷ | ۱/۰۶ | ۱/۱۴ |
| B1 | متوسط دما | ۱/۱۰ | ۱/۲۳ | ۱/۳۸ | ۱/۵۳ | ۱/۸۱ | ۲/۱۳ | ۲/۰۴ | ۲/۱۱ | ۲/۰۲ | ۱/۸۰ | ۱/۵۰ | ۱/۰۹ |
| | بارندگی | ۱/۰۵ | ۱/۰۳ | ۰/۹۵ | ۰/۹۵ | ۰/۹۲ | ۰/۸۹ | ۰/۸۹ | ۰/۹۳ | ۱/۲۷ | ۰/۹۸ | ۱/۰۳ | ۱/۱۱ |

نمایشنامه‌ی A1B می‌باشد. پس از این نمایشنامه نیز تغییرات مربوط به نمایشنامه‌ی A2 قرار دارند. این وضعیت برای متغیر بیشترین دما نیز تا حدودی صادق است، با این تفاوت که اختلاف اندازه‌های دو نمایشنامه برای متغیر مزبور کمتر از تغییرات کمترین دما می‌باشد.

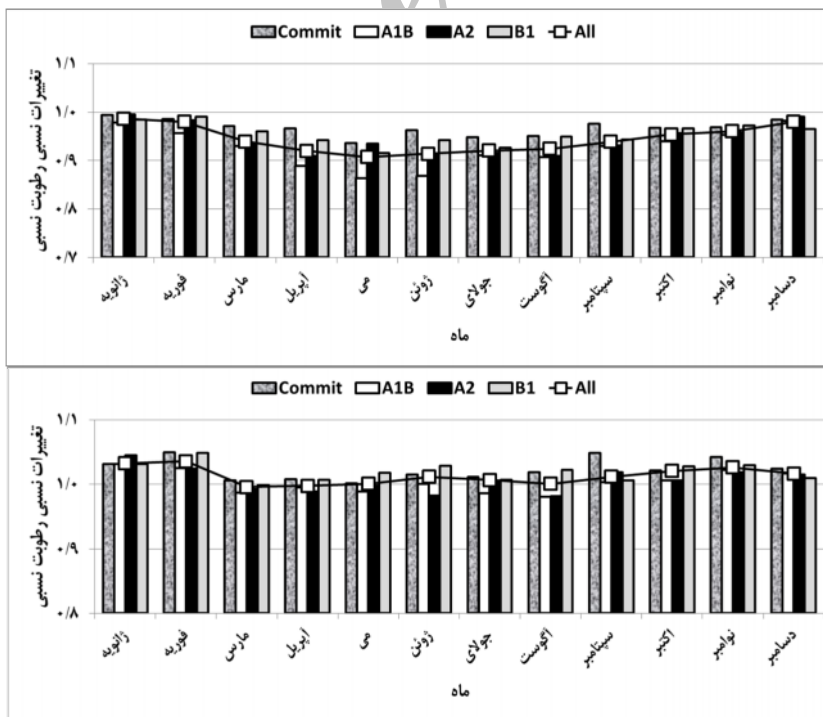
شکل 3 تا شکل 8 نمایشنامه‌های تغییر میانگین میانگینهای ماهانه برای متغیرهای مورد مطالعه را در ایستگاه قزوین، و برای احتمال تجمعی 25 و 75 درصد نمایش می‌دهند. در ارتباط با متغیر کمینه‌ی دما، بیشترین تغییرات در اکثر ماههای سال مربوط به



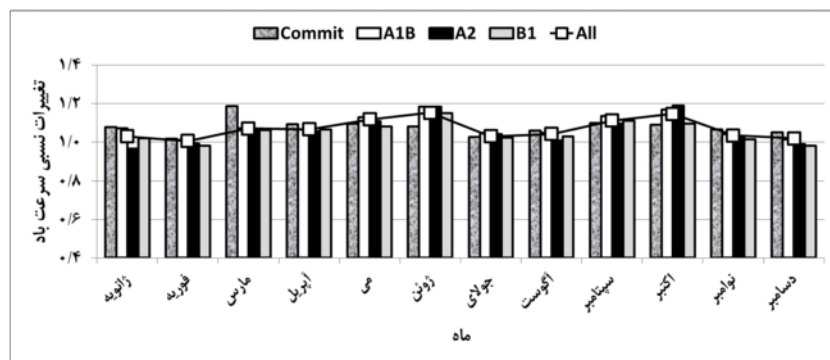
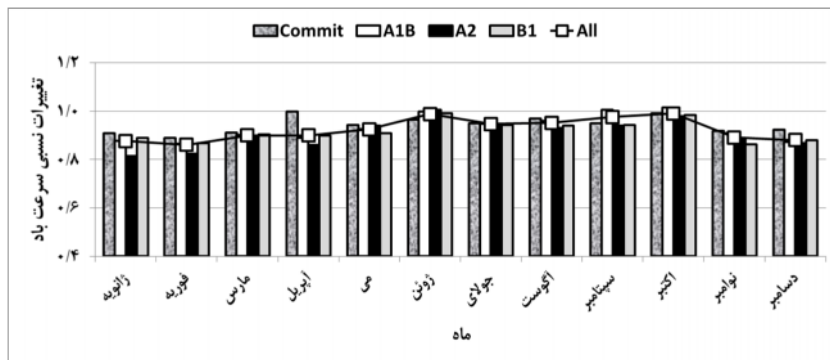
شکل 3. نمایشنامه‌های تغییر میانگین میانگین‌های ماهانه‌ی کمینه‌ی دما: (بالا) احتمال 25٪، (پایین) احتمال 75٪.



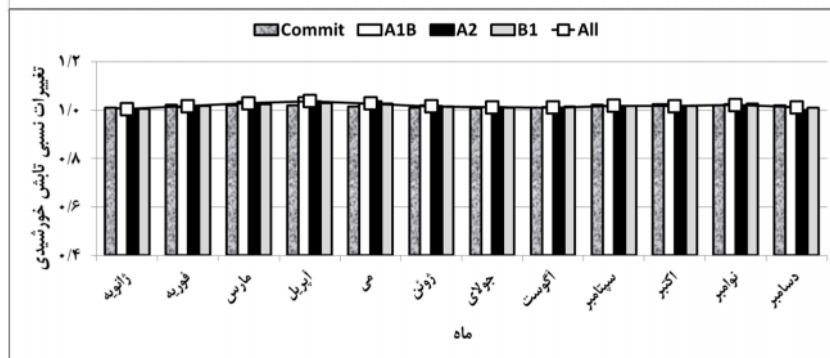
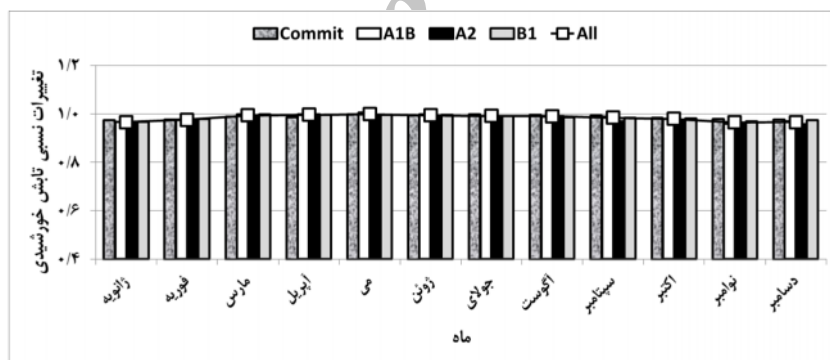
شکل 4. نمایشنامه‌های تغییر میانگین میانگین‌های ماهانه‌ی بیشینه‌ی دما: (بالا) احتمال 25٪، (پایین) احتمال 75٪.



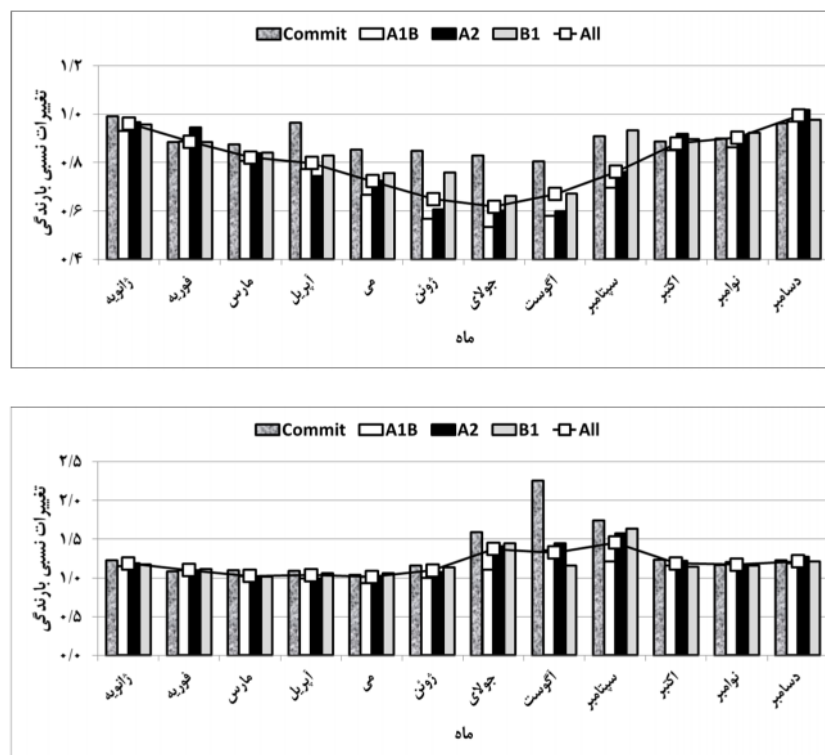
شکل 5. نمایشنامه‌های تغییر میانگین میانگین‌های ماهانه‌ی رطوبت نسبی: (بالا) احتمال 25٪، (پایین) احتمال 75٪.



شکل 6. نمایشنامه‌های تغییر میانگین میانگین‌های ماهانه‌ی سرعت باد: (بالا) احتمال 25٪، (پایین) احتمال 75٪.



شکل 7. نمایشنامه‌های تغییر میانگین میانگین‌های ماهانه‌ی تابش خورشیدی: (بالا) احتمال 25٪، (پایین) احتمال 75٪.



شکل 8. نمایشنامه‌های تغییر میانگین میانگینهای ماهانه‌ی بارندگی: (بالا) احتمال 25٪، (پایین) احتمال 75٪.

ماهها کاهش میانگین دیده می‌شود، در حالی که در احتمال 75٪، بیشترین افزایش (نسبی) میانگین مربوط به ماههای خشک سال (بیش از 100٪) بوده، و به دلیل خشکی ماههای مزبور، این تغییرات اثر چندانی بر مجموع بارندگی سالانه نخواهند داشت. همچنین، در اکثر ماههای سال تغییرات نمایشنامه‌های مختلف نزدیک به یکدیگر است؛ با این حال، می‌توان مشاهده کرد که در احتمال 25٪، کمترین کاهش مربوط به نمایشنامه‌ی Commit، و بیشترین مربوط به نمایشنامه‌ی A1B می‌باشد. در احتمال 75٪ و در ماههای خشک، نمایشنامه‌ی Commit افزایش بارش را پیش‌بینی می‌کند. در ماههای مرطوبتر، تغییرات هر چهار نمایشنامه تقریباً مشابه است.

تغییرات انحراف معیار میانگینهای ماهانه

جدول 7 نمایشنامه‌های تغییر انحراف معیار میانگینهای ماهانه‌ی کلیه‌ی متغیرهای مورد مطالعه را برای ایستگاه قزوین نشان می‌دهد. به دلیل حجم زیاد

در مورد میانگین میانگینهای ماهانه‌ی متغیر رطوبت نسبی، با احتمال 25٪، در تمامی ماههای سال و تحت تمامی نمایشنامه‌ها، شاهد کاهش میانگین خواهیم بود. در حالی که در احتمال 75٪، در اکثر ماههای سال میانگین این متغیر افزایش می‌یابد. برخلاف متغیرهای دما، بیشترین افزایش مربوط به دو نمایشنامه‌ی Commit و B1 می‌باشد، بخشی از افزایش میانگین رطوبت نسبی در احتمال 75٪ را می‌توان به افزایش میانگین بارندگی (در ماههای مرطوب) مرتبط دانست. از نظر کاهش یا افزایش متوسط سرعت باد، روندی مشابه متغیر رطوبت نسبی حاکم است، با این تفاوت که بیشترین افزایش در احتمال 75٪ مربوط به دو نمایشنامه A1B و A2 می‌باشد. تغییرات میانگین میانگینهای ماهانه‌ی تابش خورشیدی در هر دو احتمال 25٪ و 75٪ تا حدود زیادی نزدیک به هم می‌باشند. در احتمال 25٪، در نیمی از سال کاهش بسیار جزئی میانگین این متغیر مشاهده می‌شود. در حالی که در احتمال 75٪، افزایش جزئی میانگین در تمامی ماههای سال مورد انتظار است. در مورد تغییر میانگین بارش، در احتمال 25٪، در تمامی

تابش خورشیدی نیز روندی مشابه را دنبال می‌کند، به نحوی که متوسط تغییرات انحراف معیار این متغیر در کل سال برابر با صفر می‌باشد؛ مه با 6٪ تغییر شاهد بیشترین کاهش و دسامبر با 5٪ افزایش شاهد بیشترین افزایش انحراف معیار متغیر تابش خورشیدی می‌باشد. در ارتباط با متغیر بارندگی، تنها در دو ماه مارس و مه با احتمال 50٪ کاهش بیشترین 5 درصدی انحراف معیار میانگینهای ماهانه پیش‌بینی می‌شود، در حالی که در سایر ماهها، افزایش انحراف معیار مورد انتظار است؛ بیشترین افزایش نیز مربوط به ماه اوت می‌باشد، که البته در منطقه‌ی مطالعاتی جزو خشکترین ماههای سال است؛ بنابراین، تغییر مزبور اثر چندانی بر وضعیت بارش منطقه نخواهد داشت. متوسط تغییر انحراف معیار بارش در ایستگاه قزوین و با احتمال 50٪، در حدود 6٪ برآورد می‌گردد.

در ایستگاه سد طالقان (جدول 8) در تمامی ماههای سال افزایش انحراف معیار میانگینهای ماهانه‌ی متوسط دما مشاهده می‌شود (با احتمال 50٪)؛ بیشترین افزایش مربوط به دسامبر (8٪)، و کمترین افزایش مربوط به ماههای آویل و اوت می‌باشد (4٪). متغیر بارش نیز از وضعیت نسبتاً مشابهی برخوردار است. بیشترین افزایش انحراف معیار این متغیر در اوت (20٪) برآورد گردیده است؛ تنها در ماههای مارس و مه (مشابه ایستگاه قزوین)، شاهد کاهش حداکثر 5٪ در انحراف معیار میانگینهای ماهانه‌ی گروه بارش خواهیم بود.

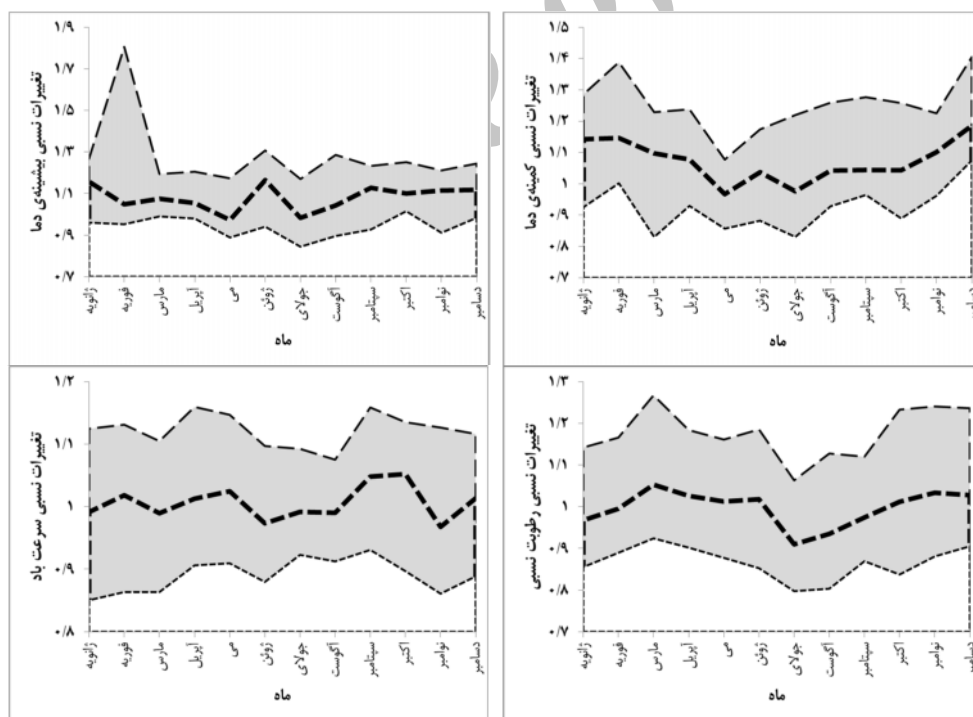
جدول، جدولهای مربوط به نمایشنامه‌های 25 و 75 درصد ارائه نشده‌اند. مشابه بخش بررسی تغییرات میانگینها، در این بخش نیز به تحلیل تغییر انحراف معیار میانگینهای ماهانه در ایستگاههای قزوین و سد طالقان پرداخته می‌شود. شکل 9 نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در ایستگاه قزوین (برای احتمال جمععی 50٪)، و دامنه‌ی عدم قطعیت این تغییرات را نمایش می‌دهد.

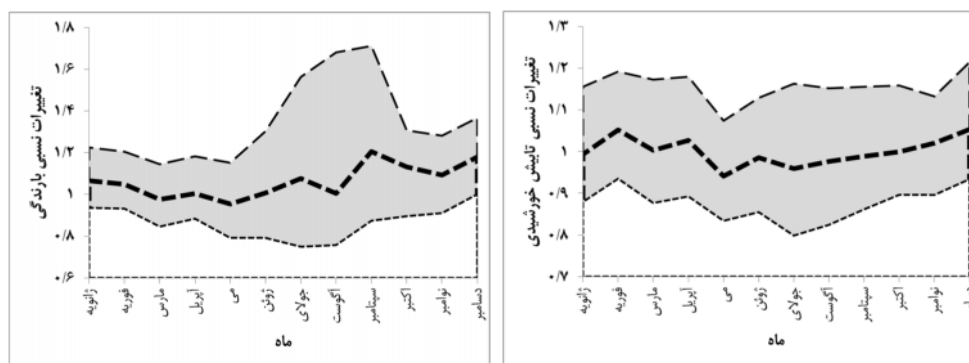
در ارتباط با کمینه و بیشینه‌ی دما، در اکثر ماهها، بویژه در ماههای مرطوب سال، انحراف معیار میانگینهای ماهانه دچار افزایش شده‌اند. بیشترین افزایش انحراف معیار کمینه‌ی دما مربوط به دسامبر (19٪)، و بیشترین افزایش انحراف معیار بیشینه‌ی دما مربوط به ژوئن (16٪) می‌باشد. تنها در دو ماه از سال (مه و ژوئیه)، کاهش انحراف معیار این دو متغیر مورد انتظار است (به میزان کمتر از 3٪). انحراف معیار ماهانه‌ی رطوبت نسبی (با احتمال 50٪) تغییرات کمی را تجربه خواهد کرد. به نحوی که متوسط تغییرات این متغیر در تمامی ماههای سال نزدیک به صفر است؛ با این حال، بیشترین افزایش انحراف معیار رطوبت نسبی در مارس (5٪) و بیشترین کاهش آن در جولای (9٪) مشاهده می‌شود. تغییرات انحراف معیار میانگینهای ماهانه‌ی سرعت باد نیز همانند متغیر رطوبت نسبی چندان زیاد نیست. متوسط این تغییرات در حد 1٪ بوده، بیشترین کاهش در ژوئن (3٪) و بیشترین افزایش در اکتبر (5٪) برآورد گردیده است.

جدول 7. نمایشنامه‌های تغییر انحراف معیار در ایستگاه قزوین با احتمال 50٪.

| نمایشنامه | ماه | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ |
|-----------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| All | کمینه‌ی دما | ۱/۱۴ | ۱/۱۵ | ۱/۱۰ | ۱/۰۸ | ۰/۹۷ | ۱/۰۴ | ۰/۹۸ | ۱/۰۴ | ۱/۰۴ | ۱/۰۴ | ۱/۱۰ | ۱/۱۹ |
| | بیشینه‌ی دما | ۱/۱۶ | ۱/۰۵ | ۱/۰۷ | ۱/۰۵ | ۰/۹۷ | ۱/۱۶ | ۰/۹۸ | ۱/۰۴ | ۱/۱۳ | ۱/۱۰ | ۱/۱۱ | ۱/۱۲ |
| | رطوبت نسبی | ۰/۹۷ | ۱/۰۰ | ۱/۰۵ | ۱/۰۳ | ۱/۰۱ | ۱/۰۲ | ۰/۹۱ | ۰/۹۳ | ۰/۹۷ | ۱/۰۱ | ۱/۰۳ | ۱/۰۳ |
| | باد | ۰/۹۹ | ۱/۰۲ | ۰/۹۹ | ۱/۰۱ | ۰/۹۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۰/۹۹ | ۱/۰۵ | ۱/۰۵ | ۰/۹۷ | ۱/۰۱ |
| | تابش خورشیدی | ۰/۹۹ | ۱/۰۵ | ۱/۰۰ | ۱/۰۳ | ۰/۹۴ | ۰/۹۹ | ۰/۹۶ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۱/۰۰ | ۱/۰۲ | ۱/۰۵ |
| | بارندگی | ۱/۰۷ | ۱/۰۵ | ۰/۹۸ | ۱/۰۰ | ۰/۹۵ | ۱/۰۱ | ۱/۰۸ | ۱/۰۱ | ۱/۲۱ | ۱/۱۳ | ۱/۰۹ | ۱/۱۸ |
| Commit | کمینه‌ی دما | ۱/۱۴ | ۱/۲۳ | ۱/۱۰ | ۱/۱۰ | ۱/۰۷ | ۱/۱۹ | ۱/۱۴ | ۱/۰۳ | ۱/۰۲ | ۱/۴۱ | ۱/۰۱ | ۱/۲۵ |
| | بیشینه‌ی دما | ۱/۱۶ | ۱/۴۰ | ۱/۰۷ | ۱/۰۷ | ۰/۹۷ | ۱/۳۵ | ۱/۱۲ | ۱/۲۳ | ۱/۱۳ | ۱/۱۷ | ۱/۰۰ | ۱/۱۷ |
| | رطوبت نسبی | ۰/۹۶ | ۰/۹۷ | ۱/۰۷ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ | ۱/۰۱ | ۰/۹۷ | ۰/۹۶ | ۰/۹۸ | ۱/۰۳ | ۱/۰۵ | ۱/۰۳ |
| | باد | ۰/۹۹ | ۱/۰۳ | ۰/۹۹ | ۱/۰۶ | ۰/۹۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۷ | ۱/۰۰ | ۱/۰۹ | ۰/۹۹ | ۱/۰۰ | ۱/۰۵ |
| | تابش خورشیدی | ۰/۹۴ | ۱/۰۶ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۹ | ۱/۰۹ | ۱/۰۱ | ۱/۰۱ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۱/۰۴ |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-----|
| ۱/۱۳ | ۱/۰۲ | ۱/۱۳ | ۱/۲۱ | ۱/۱۱ | ۱/۱۶ | ۱/۰۸ | -۰/۹۶ | -۰/۹۹ | -۰/۹۹ | ۱/۰۱ | ۱/۱۱ | بارندگی | A1B |
| ۱/۱۷ | ۱/۱۴ | -۰/۹۷ | ۱/۰۶ | ۱/۲۲ | -۰/۸۷ | ۱/۰۴ | -۰/۹۷ | ۱/۰۰ | -۰/۹۹ | ۱/۱۴ | ۱/۰۲ | کمینه‌ی دما | |
| ۱/۰۴ | ۱/۱۶ | ۱/۱۷ | ۱/۰۷ | ۱/۱۳ | -۰/۹۳ | ۱/۱۳ | ۱/۰۹ | ۱/۰۱ | ۱/۱۳ | ۱/۱۲ | ۱/۰۵ | بیشینه‌ی دما | |
| ۱/۰۰ | ۱/۰۴ | ۱/۰۰ | -۰/۹۴ | -۰/۸۹ | -۰/۸۹ | -۰/۹۷ | ۱/۰۰ | -۰/۹۷ | ۱/۰۶ | ۱/۰۲ | -۰/۹۹ | رطوبت نسبی | |
| -۰/۹۸ | ۱/۰۰ | ۱/۰۶ | ۱/۰۴ | ۱/۰۲ | ۱/۰۰ | -۰/۹۶ | ۱/۰۴ | ۱/۰۱ | -۰/۹۸ | -۰/۹۸ | ۱/۰۱ | باد | |
| ۱/۰۵ | ۱/۰۳ | ۱/۰۲ | -۰/۹۷ | -۰/۹۱ | -۰/۹۳ | -۰/۹۱ | -۰/۹۳ | ۱/۰۴ | ۱/۰۳ | ۱/۰۵ | -۰/۹۶ | تابش خورشیدی | |
| ۱/۱۵ | ۱/۱۵ | ۱/۱۳ | ۱/۰۹ | -۰/۸۸ | -۰/۹۶ | -۰/۹۶ | -۰/۹۱ | -۰/۹۸ | -۰/۹۹ | ۱/۰۷ | ۱/۰۶ | بارندگی | A2 |
| ۱/۱۹ | ۱/۱۳ | ۱/۱۱ | ۱/۰۴ | ۱/۱۰ | -۰/۹۲ | -۰/۹۳ | -۰/۹۷ | ۱/۱۱ | ۱/۱۵ | ۱/۱۹ | ۱/۲۸ | کمینه‌ی دما | |
| ۱/۰۴ | ۱/۰۷ | ۱/۱۰ | ۱/۰۹ | -۰/۹۹ | -۰/۹۸ | ۱/۱۷ | -۰/۹۴ | ۱/۰۹ | ۱/۲۶ | -۰/۹۸ | ۱/۱۷ | بیشینه‌ی دما | |
| ۱/۱۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۴ | ۱/۰۱ | -۰/۹۶ | -۰/۸۹ | ۱/۰۳ | ۱/۰۱ | ۱/۰۴ | ۱/۰۷ | ۱/۰۳ | -۰/۹۷ | رطوبت نسبی | |
| ۱/۰۱ | -۰/۹۵ | ۱/۰۵ | ۱/۰۵ | -۰/۹۷ | ۱/۰۲ | -۰/۹۹ | ۱/۰۷ | -۰/۹۷ | -۰/۹۳ | ۱/۰۴ | -۰/۹۹ | باد | |
| ۱/۰۹ | ۱/۰۰ | ۱/۰۲ | -۰/۹۳ | -۰/۹۹ | -۰/۹۶ | ۱/۰۰ | -۰/۹۲ | ۱/۰۳ | -۰/۹۵ | ۱/۰۲ | ۱/۰۱ | تابش خورشیدی | |
| ۱/۲۹ | ۱/۱۰ | ۱/۱۴ | ۱/۲۶ | ۱/۴۳ | ۱/۱۱ | -۰/۹۱ | -۰/۹۹ | ۱/۰۱ | -۰/۹۷ | ۱/۰۴ | ۱/۰۸ | بارندگی | B1 |
| ۱/۲۶ | ۱/۱۲ | ۱/۰۴ | ۱/۰۲ | -۰/۹۳ | ۱/۱۲ | ۱/۰۷ | -۰/۹۶ | ۱/۰۳ | ۱/۱۱ | ۱/۱۱ | ۱/۱۰ | کمینه‌ی دما | |
| ۱/۲۴ | ۱/۱۱ | ۱/۱۰ | ۱/۱۳ | -۰/۹۵ | ۱/۱۲ | ۱/۲۰ | -۰/۹۷ | ۱/۰۵ | ۱/۰۷ | ۱/۰۱ | ۱/۱۸ | بیشینه‌ی دما | |
| -۰/۹۹ | ۱/۰۶ | -۰/۹۹ | ۱/۰۳ | -۰/۹۴ | -۰/۹۶ | ۱/۰۵ | ۱/۰۳ | ۱/۰۵ | ۱/۰۱ | -۰/۹۶ | -۰/۹۶ | رطوبت نسبی | |
| ۱/۰۳ | -۰/۹۵ | ۱/۰۶ | ۱/۰۵ | -۰/۹۸ | -۰/۹۴ | ۱/۰۰ | -۰/۹۶ | ۱/۰۳ | ۱/۰۱ | ۱/۰۳ | -۰/۹۶ | باد | |
| ۱/۰۸ | ۱/۰۵ | ۱/۰۴ | ۱/۰۴ | -۰/۹۹ | -۰/۹۷ | -۰/۹۹ | -۰/۹۷ | ۱/۰۳ | ۱/۰۵ | ۱/۰۷ | ۱/۰۳ | تابش خورشیدی | |
| ۱/۲۰ | ۱/۱۲ | ۱/۱۵ | ۱/۲۲ | -۰/۹۹ | ۱/۱۵ | ۱/۰۳ | -۰/۹۹ | ۱/۰۴ | ۱/۰۲ | ۱/۱۰ | ۱/۰۶ | بارندگی | |





شکل 9. نمایشنامه‌های تغییر انحراف معیار در ایستگاه قزوین.

(خط منقطع بالا نمایشنامه‌ی 75٪ و خط پایین نمایشنامه‌ی 25٪ را نشان می‌دهد. نمایشنامه‌ی 50٪ با خط ضخیمتر نمایش داده شده است).

جدول 8. نمایشنامه‌های تغییر انحراف معیار در ایستگاه سد طالقان با احتمال 50٪.

| نمایشنامه | ماه | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| All | میانگین دما | 1/02 | 1/06 | 1/02 | 1/04 | 1/05 | 1/03 | 1/00 | 1/03 | 1/04 | 1/07 | 1/07 | 1/08 |
| | بارندگی | 1/07 | 1/06 | 0/97 | 1/00 | 0/95 | 1/00 | 1/04 | 1/00 | 1/20 | 1/12 | 1/08 | 1/18 |
| Commit | میانگین دما | 1/06 | 1/08 | 0/97 | 0/98 | 1/02 | 1/00 | 1/04 | 0/99 | 1/01 | 1/03 | 1/09 | 1/09 |
| | بارندگی | 1/09 | 1/01 | 0/97 | 1/02 | 0/95 | 1/10 | 1/17 | 1/14 | 1/20 | 1/17 | 1/03 | 1/13 |
| A1B | میانگین دما | 1/04 | 1/07 | 1/02 | 1/07 | 1/10 | 1/04 | 1/02 | 1/06 | 1/04 | 1/10 | 1/07 | 1/08 |
| | بارندگی | 1/05 | 1/07 | 0/97 | 0/98 | 0/93 | 0/97 | 0/94 | 0/90 | 1/10 | 1/05 | 1/14 | 1/15 |
| A2 | میانگین دما | 1/03 | 1/04 | 1/03 | 1/05 | 1/07 | 1/03 | 0/99 | 1/14 | 1/07 | 1/17 | 1/10 | 1/10 |
| | بارندگی | 1/11 | 1/09 | 0/97 | 1/00 | 1/03 | 0/88 | 1/09 | 1/42 | 1/20 | 1/15 | 1/10 | 1/28 |
| B1 | میانگین دما | 0/98 | 1/01 | 1/04 | 1/02 | 0/99 | 1/04 | 0/99 | 0/98 | 1/06 | 1/04 | 1/03 | 1/08 |
| | بارندگی | 1/06 | 1/07 | 1/04 | 1/03 | 0/94 | 1/07 | 1/10 | 0/99 | 1/30 | 1/12 | 1/09 | 1/18 |

شهیدر جایی) روند تغییرات کاملاً مشابه بوده، و لذا تنها به تحلیل نمایشنامه‌های تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک قزوین پرداخته شد.

نتایج نشان می‌دهند که در ارتباط با میانگین میانگینهای ماهانه (با احتمال 50٪)، کمترین و بیشترین دما در کلیه‌ی ماههای سال افزایش کمترین یک درجه‌ای را تجربه خواهند کرد. برعکس، غیر از دو ماه ابتدای سال میلادی، در بقیه‌ی ماههای سال شاهد کاهش میانگین متغیر رطوبت نسبی خواهیم بود. همچنین، کاهش میانگین متغیر سرعت باد نیز در بیشتر ماههای سال مورد انتظار است. تابش خورشیدی تغییرات بسیار جزئی را تجربه خواهد کرد. در حالی که میانگین بارش بطور متوسط 2٪ و بیشترین 15٪ (در ژوئن) دچار کاهش خواهد شد.

در ارتباط با تغییرات انحراف معیار میانگینهای ماهانه، دو متغیر کمینه و بیشینه‌ی دما در بیشتر ماههای سال (بویژه در ماههای مرطوب) شاهد افزایش انحراف

جمع‌بندی

در این مطالعه، ابتدا نمایشنامه‌های تغییر اقلیم (نمایشنامه‌های A2، A1B، Commit و B1) در هر سلول از شبیه‌های GCM برای دوره‌ی 2040-2069 نسبت به دوره‌ی مبنای (دوره‌ی 1980-1999) در نمایشنامه‌ی قرن بیستم، 20c3m) محاسبه گردید. سپس، با استفاده از یک الگوریتم تکراری، مقادیر بهینه‌ی فراسنجهای روش IDW برای میان‌یابی نمایشنامه‌های تغییر میانگین و انحراف معیار ماهانه‌ی همه‌ی متغیرها برای تمامی ماههای سال، و کلیه‌ی نمایشنامه‌ها تعیین گردید. در مرحله‌ی بعد، نمایشنامه‌های تغییر اقلیم مربوط به هریک از ایستگاهها و مقادیر تغییرات هر متغیر تحت احتمال 50٪ به‌عنوان اندازه‌های شاخص هر نمایشنامه، و مقادیر تغییرات تحت احتمالات 25٪ و 75٪ به‌عنوان دامنه‌ی عدم قطعیت این تغییرات، تعیین گردیدند. در ایستگاههای مجاور (قزوین، تاکستان، مگسال و نیروگاه

7. کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، شریفی، ح.، زند، ا.، و کمالی، غ. 1380. شبیه سازی رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در شرایط مشهد. بیابان، 6(2): 117-128.
8. کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، و کمالی، غ. 1386. مطالعه شاخص های هواشناسی ایران در شرایط تغییر اقلیم. پژوهشهای زراعی ایران، 5(1): 133-142.
9. کوچکی، ع.، و نصیری محلاتی، م. 1387. تاثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO2 بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهشهای زراعی ایران، 6(1): 139-153.
10. مساح بوانی، ع.، و مرید، س. 1384. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 9(4): 17-27.
11. نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، کمالی، غ. و مرعشی، ح. 1385. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص های اقلیمی کشاورزی ایران. علوم و صنایع کشاورزی، 20(7): 71-82.
12. علیزاده، ا.، و کمالی، غ. 1381. اثرات تغییر اقلیم بر افزایش مصرف آب کشاورزی در دشت مشهد. تحقیقات جغرافیایی، 17(3-2): 189-201.
13. واثقی، ا.، و اسماعیلی، ع. 1387. بررسی اثر اقتصادی تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی ایران: روش ریکادین (مطالعه موردی: گندم). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 45: 685-694.
14. Arnell, N.W. 2003a. Effects of climate change on river flows and groundwater recharge using the UKCIP02 scenarios. Report to UK Water Industry Research Limited. University of Southampton.
15. Arnell, N. W. 2003b. Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future stream flows in Britain. Hydrol. 270: 19-213.
16. Arnell, N.W., Reynard, N. S. 1996. The effects of climate change due to global warming on river flows in Great
- معيار ماهانه خواهند بود؛ این افزایش برای متغیر بیشترین دما تا حدودی بیشتر از کمترین دما می باشد. در مورد متغیر رطوبت نسبی، روند نسبتاً مشابهی (با مقادیر کمتر) قابل تشخیص است. تغییرات انحراف معیار متغیر سرعت باد چندان قابل توجه نبوده، و بیشترین به 5٪ محدود می گردد. تابش خورشیدی و بارندگی (بویژه در ماههای مرطوبتر) دارای روند مشابه سرعت باد می باشند. در بیشتر ماههای سال، انحراف معیار میانگینهای ماهانه ی بارندگی افزایش پیدا خواهند کرد.
- نتایج این مطالعه نشان می دهند که دامنه ی عدم قطعیت در نتایج شبیه های GCM تا چه میزان گسترده بوده، و عدم توجه به این مسأله می تواند نتایج مطالعات ارزیابی اثر تغییر اقلیم را بر منابع آب و عملکرد محصولات کشاورزی تحت تأثیر قرار دهد.
- ### منابع
- آبایی، ب.، سهرابی، ت.، میرزایی، ف.، وردی نژاد، و. ر.، و کریمی، ب. 1389. اثر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه ی موردی: منطقه ی روددشت اصفهان). دانش کشاورزی، در دست چاپ.
 - ابراهیمی، ح.، علیزاده، ا.، و جوانمرد، س. 1384. بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه. تحقیقات جغرافیایی، 10(1): 5-18.
 - جهانبخش، س.، ترابی، س. 1383. بررسی و پیش بینی تغییرات دما و بارش در ایران. فصلنامه ی تحقیقات جغرافیایی، 74: 1-22.
 - سلطانی، ا.، و قلی پور، م. 1385. شبیه سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، 13(2): 69-79.
 - عزیزی، ق.، شمسی پور، ع.، و یاراحمدی، د. 1387. بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل های آماری چند متغیره. پژوهشهای جغرافیای طبیعی (پژوهش های جغرافیایی)، 66: 19-35.
 - عزیزی، ق.، و روشنی، م. 1387. مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من -کنال. پژوهشهای جغرافیایی، 40(65): 13-28.

24. Farquhar, G.D., and Roderick, M.L. 2003. Atmospheric science: Pinatubo, diffuse light, and the carbon cycle. *Science* 299: 1997–1998.
25. Hennessy, K., Fawcett, R. D., Kirono, Mpelasoka, F., Jones, D., Bathols, B.J., Whetton, P., Stafford, M.S., Howden, M. Mitchell, C. and Plummer, N. 2008. An assessment of the impact of climate change on the nature and frequency of exceptional climatic events. CSIRO, Bureau of Meteorology, Canberra, Australia, 33 pp.
26. IPCC, 1999. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (TGICA). 66 pp.
27. IPCC, 2007. *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, New York. 976 pp.
28. Liepert, B.G., 2002. Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990. *Geophys. Res. Lett.* 29(10): 1421-1433.
29. Liepert, B.G., and G.J. Kukla. 1997. Decline in solar radiation with increased horizontal variability in Germany between 1964–1990. *J. Clim.* 10: 2391–2401.
30. Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, W.H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, and Z. Dadi. 2000. *Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Britain. *Journal of Hydrology*. 183: 397-424.
17. Barrow, E., Hulme, M. and Semenov, M. 1996. Effect of using different methods in the construction of climate change scenarios: examples from Europe. *Climate Research* 7: 195-211.
18. Cai, W.J. and Cowan, T. 2006. SAM and regional rainfall in IPCC AR4 models: Can anthropogenic forcing account for southwest Western Australian winter rainfall reduction? *Geophys. Res. Lett.* 33(24): 28-37.
19. Chameides, W.L., Yu, H., Liu, S.C, Bergin, M., Zhou, X., Mearns, L., Wang, G., Kiang, C.S., Saylor, R.D., Luo, C., Huang, Y. A. and Steiner, F. Georgi. 1999. Case study of the effects of atmospheric and regional haze on agriculture: An opportunity to enhance crop yields in China through emission controls? *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 96: 13626–13633.
20. Diaz-Nieto, J., and Wilby, R.L. 2004. The impact of climate change on low flows in the River Thames UK: A comparison of statistical downscaling and change factor. *Climatic Change*. in press.
21. Dore, M.H.I. 2005. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? *Environ. Int.* 31: 1167-1181.
22. Easterling, D.R., Horton, B., Jones, P.D., Peterson, T.C., Karl, T.R., Parker, D.E., Salinger, M.J., Razuvayev, V., Plummer, N., Jamason, P. and Folland, C.K. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* 277: 364–367.
23. Ewert, F., van Oijen, M. and Porter, J.R. 1999. Simulation of growth and development processes of spring wheat in response to CO₂ and ozone for different sites and years in Europe using mechanistic crop simulation models. *Eur. J. Agron.* 10: 231–247.

- response of dryland wheat to nitrogen fertiliser. III. The influence of water deficit and heat shock. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 1095-1110.
41. Viglizzo, E.F., Z.E. Roberto, M.C. Filippin, and A.J. Pordomingo. 1995. Climate variability and agroecological change in the central Pampas of Argentina. *Agric. Ecosyst. Environ.* 55, 7-16.
42. Von Storch, H., Zorita, E. and Cubasch, U. 1993. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in winter time. *Journal of Climate.* 6: 1161-1171.
43. Vose, R.S. 2005. Reference station networks for monitoring climatic change in the conterminous United States. *J. Clim.* 18: 5390-5395.
- Press, Cambridge, UK and New York, USA. 599 pp.
31. Nicholls, N., 1997. Increased Australian wheat yield due to recent climate trends. *Nature* 387: 484-485.
32. Nicholls, N., and D. Collins. 2006. Observed climate change in Australia over the past century. *Energy Env.* 17: 1-12.
33. Philander, S.G.H., D. Gu, D. Halpern, G. Lambert, N.C. Lau, T. Li, and R.C. Pacanowski. 1996. Why the ITCZ is mostly north of the equator. *J. Clim.* 9: 2958-2972.
34. Pilling, C.G., and J.A.A. Jones, 1999. High resolution climate change scenarios: implications for British runoff. *Hydrological Processes.* 13: 2877-2895.
35. Smith, I., 2004. An assessment of recent trends in Australian rainfall. *Aust. Meteorol. Mag.* 53: 163-173.
36. Spiertz, J.H.J., R.J. Hamer, H. Xu, C. Primo-Martin, C. Don, and P.E.L. Van Der Putten. 2006. Heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.): Effects on grain growth and quality traits. *Eur. J. Agron.* 25: 89-95.
37. Stanhill, G., 1998. Long term trends in, and spatial variation of, solar irradiances in Ireland. *Int. J. Climatol.* 18: 1015-1030.
38. Stanhill, G., and Cohen, S. 2001. Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agric. For. Meteorol.* 107: 255-278.
39. Stone, P.J., and Nicolas, M.E. 1996. Comparison of sudden heat stress with gradual exposure to high temperature during grain filling in two wheat varieties differing in heat tolerance. *Aust. J. Plant Physiol.* 22: 935-944.
40. Van Herwaarden, A.F., Richards, R.A., Farquhar, G.D. and Angus, J.F. 1998. 'Haying-off', the negative grain yield