

## شبیه سازی آثار دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از « مدل آزمایشگاه پویایی سیالات ژئوفیزیکی » (GFDL)<sup>(۱)</sup>

دکتر علی محمد خورشید دوست \*

مهندس یوسف قویدل رحیمی \*\*

### چکیده

مدل‌های گردش عمومی مدل‌های ریاضی (شبیه سازهای رایانه‌ای) خصوصیات و فرایندهای جوی- اقیانوسی هستند که هدف آنها توصیف سیستم اقلیمی کره زمین (سیستم اقلیمی کره زمین حاصل و پیوندی از ارتباطات جو، اقیانوس ها، پهنه‌های یخی یا کریوسفر (یخ کره)، ارگانسیم‌های حیاتی (بیوسفر)، خاک‌ها، رسوبات و سنگ‌ها) است. توسعه مدل‌های مذکور به سال ۱۹۶۰ میلادی بر می‌گردد. مدل‌های گردش عمومی در حال تبدیل شدن به ابزار اصلی بررسی تغییرات اقلیمی کره زمین هستند. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ماهانه حاصل از محاسبه ضرایب مربوط به دما و بارش نقاط شبکه در مختصات ایستگاه تبریز و داده‌های متوسط ماهانه دما و بارش ایستگاه هواشناسی تبریز، اثرات دو برابر شدن میزان  $CO_2$  جو بر دما و بارش شبیه سازی شده بررسی شده است. مدل‌های هایتروگراف و آمبروترمیک ترسیمی برای تبریز مبین تغییرات ماهانه عناصر اقلیمی دما و بارش در شرایط دو برابر شدن  $CO_2$  جو هستند. نتایج حاصل از شبیه سازی عناصر دما و بارش به روش « مدل گردش عمومی GFDL » مبین افزایش دمای تبریز در کلیه مقاطع ماهانه و فصلی و کاهش بارش در فصل زمستان (ماه مارس) و افزایش آن در فصل بهار (ماه‌های آوریل و می) هستند. مدل‌های آمبروترمیک و اقلیم نگاشت- هایتروگراف فعلی و شبیه سازی شده تبریز از مدل GFDL در شرایط دو برابر شدن  $CO_2$  جو، تغییرات دما و بارش را مورد تأیید قرار داد. با توجه به مدل‌های آمبروترمیک و هایتروگراف ترسیمی برای وضعیت اقلیم فعلی و اقلیم شبیه سازی شده از مدل GFDL تغییر اقلیم تبریز در شرایط دو برابر شدن  $CO_2$  به صورت کاهش مدت و شدت دوره سرد و کاهش روزهای همراه با یخبندان، کاهش بارش بهاره و زمستانی، تغییر شکل بارش زمستانی از برف به باران، طولانی شدن دوره رشد گیاهان، افزایش دما و به تبع آن خشکی، خود را نشان خواهد داد.

### کلید واژه‌ها

شبیه سازی اقلیمی، تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی GFDL، آثار دو برابر شدن دی اکسید کربن، تبریز

تاریخ دریافت: ۸/۷/۸۴

تاریخ پذیرش: ۵/۲/۸۴

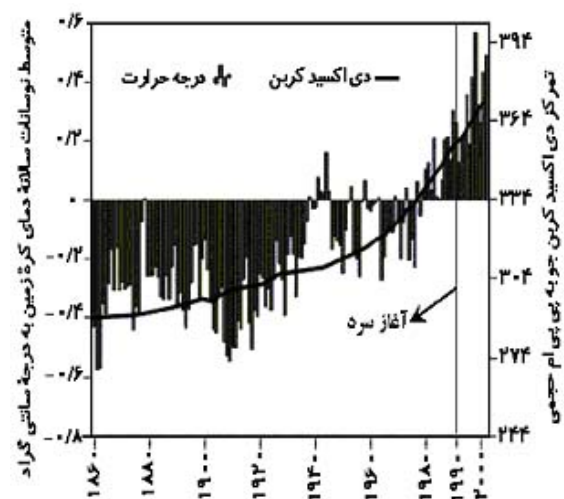
\* دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز

\*\* کارشناس ارشد اقلیم در برنامه ریزی محیطی از دانشگاه تبریز

## سرآغاز

طی دهه‌های گذشته، جوامع علمی و سیاسی به این نتیجه رسیده‌اند که فعالیت‌های انسان می‌تواند موجب تغییر اقلیم شود. امروزه دانشمندان معتقدند که تاثیر انسان بر القای اثر گلخانه‌ای انکار ناپذیر است، لیکن نمی‌توان ادعا کرد که بروز اثر گلخانه‌ای مربوط به سال‌های اخیر است، بلکه در سال‌های اخیر با افزایش گازهای گلخانه‌ای که مهم‌ترین آنها در بحث تغییر اقلیم،  $CO_2$  (دی اکسید کربن) تخلیه شده در جو است، آثار پدیده گلخانه‌ای جو در عرصه‌های مختلف و با صورتهای جدید و مؤثرتر خود را نشان می‌دهند.

مطالعات دیرینه شناسی حاکی از آن است که غلظت  $CO_2$  موجود در اتمسفر زمین از ۱۵۰ هزار سال قبل تا کنون بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ قسمت در میلیون (ppm حجمی) در نوسان بوده و در هزاره اخیر نیز غلظت آن برابر با ۲۸۰ ppm بوده است. از سال ۱۸۵۰ میلادی همزمان با شروع انقلاب صنعتی و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و تخریب مراتع خصوصاً در مناطق پر باران حاره‌ای، میزان  $CO_2$  به صورت نمایی شروع به افزایش کرده به طوری که در سال ۱۹۹۰ مقدار آن به ۳۲۵ ppm رسیده است. در سال ۲۰۰۰ میلادی میزان  $CO_2$  جو به رقم ۳۹۵ ppm رسید که همگام با افزایش آن بر مقدار دمای جهان نیز افزوده شده است (IPCC, 2001). روند رو به رشد نوسانات مثبت درجه حرارت متوسط کره زمین همزمان با افزایش گاز کربنیک جو در (شکل شماره ۱) نشان داده شده است.



شکل شماره (۱): افزایش جهانی میزان  $CO_2$  جو و تاثیر آن بر گرم شدن

جهان (Thomas, 2003)

اهمیت افزایش میزان  $CO_2$  جو از آنجا ناشی می‌شود که تحقیقات زیادی آثار نامطلوب گرم شدن کره زمین را که خود مسئله‌ای در مقیاس کلان بوده و شامل مسایل و معضلات کوچکتر دیگری مانند افزایش تبخیر سطوح آبی، زمستان‌های گرم یا معتدل، تغییر شکل بارش برف به باران و مسایلی از این قبیل، مورد تأیید قرار داده‌اند. در مقیاس جهانی نیز افزایش  $CO_2$  جو دارای توان بالقوه‌ای برای ایجاد شرایط تغییر اقلیمی در کره زمین خصوصاً عرض‌های جغرافیایی بالا می‌باشد. از نمونه آثار مربوط به گرم شدن زمین بر اثر گازهای گلخانه‌ای ( $CO_2$  که مهم‌ترین آنها در ارتباط با مسئله تغییر اقلیم است) می‌توان به ذوب برف‌ها و یخ‌های عرض‌های بالا از جمله کانادا و قطب شمال و آزاد شدن سطوح بزرگی از اراضی که قبلاً به وسیله برف و یخ پوشیده شده بودند؛ و افزایش سطح آب‌های آزاد در عرض‌های بالای جغرافیایی (بر اثر ذوب یخچال‌ها و برف‌ها)، اشاره نمود.

مهم‌ترین آثار تغییر اقلیم در بخش حیاتی کشاورزی قابل مشاهده است و به این جهت بیشتر مطالعات انجام گرفته پیرامون آثار افزایش و دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بر تولیدات زراعی، باغی و دامی دور می‌زند. پس از کشاورزی بخش آب، که بی ارتباط با کشاورزی و آبیاری نیست در رده دوم مطالعاتی قرار گرفته است.

با این که ادبیات اقلیم شناسی از نظر مطالعات مربوط به تغییر اقلیم بسیار غنی است، لیکن شبیه سازی تغییرات اقلیمی از زمان استفاده از مدل‌های سه بعدی گردش عمومی در دو دهه آخر قرن ۲۰ متداول شده است.

مطالعاتی که اخیراً در زمینه آثار تغییر اقلیم بویژه آثار ناشی از افزایش برخی از گازهای گلخانه‌ای بر گرمایش کره زمین و پیامدهای آن انجام گرفته به حدی زیاد است که در پیشینه تحقیق یک مقاله نمی‌توان آنها را بررسی کرد. به این جهت در اینجا فقط به بیان برخی از مهم‌ترین مطالعه‌ها در این زمینه اکتفا می‌شود.

بسیاری از پژوهشگران سوانح محیطی در طبقه‌بندی سوانح، تغییر اقلیم و مخاطرات ناشی از افزایش  $CO_2$  جو را در رده بالای جدید و ناشی از فعالیت‌های صنعتی قرار داده و آثار مختلف تغییر اقلیم ناشی از افزایش  $CO_2$  را بر سلامت زیست‌مندان کره زمین و محیط زیست جهانی مورد بررسی قرار داده‌اند. بیشتر این دانشمندان با توجه به سرعت افزایش  $CO_2$  و تغییرات اقلیمی ناشی از آن معتقدند که در آینده، مهم‌ترین بحث مخاطرات محیطی به آثار ناشی از تغییر اقلیم اختصاص خواهد یافت (Smith, 2000).

بیماری‌ها چون مالاریا را در پی خواهد داشت (Lieshouta et al, 2004). در زمینه آثار تغییر اقلیم بر بهداشت جوامع در معرض خطر، خوش بینانه‌ترین مسئله، افزایش هزینه‌های بهداشتی (خصوصاً مراقبت از پوست) است (Kovats et al, 2003).

بعد دیگری از مشکل آفرینی تغییر اقلیم که تقریباً نتایج تمام مدل‌های گردش عمومی آن را مورد تأیید قرار داده‌اند آثار تغییر اقلیم بر کشاورزی و به تبع آن تغذیه جوامع انسانی است. در حالی که تغییر اقلیم به افزایش اراضی زیر کشت، درجه روز و محصولات زراعی و باغی در بخش‌های شمالی تر کانادا منجر خواهد شد، چینی‌ها، نگران آثار افزایش  $CO_2$  هستند، زیرا افزایش  $CO_2$  موجب کاهش بازده گیاهان چهار کربنه می‌شود که بخش بزرگی از نیازهای غذایی جمعیت عظیم چین را تشکیل می‌دهند (Lin et al, 1997).

بدیهی است تغییر اقلیم، در آینده موجب افزایش تبخیر و خشکی و کسری در بیلان آب در مناطقی مانند شرق مدیترانه (که احتمالاً شامل بخش‌های غرب و شمال غرب ایران نیز می‌شود) خواهد شد (Segal, 1994). فشار خشکی و اتلاف رطوبت خاک نیز از دیگر آثار پیش‌بینی شده برای مناطق مستعد به خاطر تغییر اقلیم در سال‌های آینده محسوب می‌شود که موجب کاهش تولید خواهد شد (You, 1996).

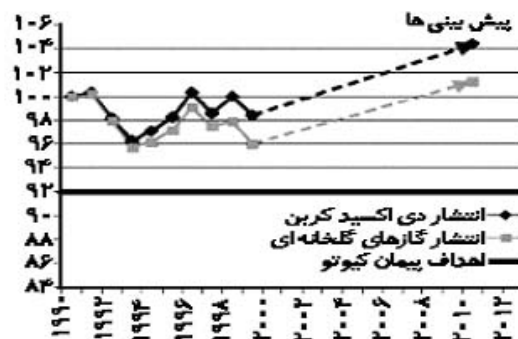
برخی از اقتصاددانان طرفدار نظریه «مالتوس» نیز با توجه به محدودیت‌هایی که تغییر اقلیم می‌تواند در زمینه تغذیه جوامع انسانی به وجود آورد، به اغراق گویی‌هایی در خصوص تصدیق نظریه مالتوس پرداخته‌اند (Kelly, 2004). در ایران مطالعات انجام گرفته در خصوص مسئله تغییر اقلیم بسیار اندک است، اما در مطالعه جالبی که با استفاده از مدل OSBOL به منظور بررسی آثار افزایش دی اکسید کربن بر تولید و بازده محصولات ریشه‌ای در شرایط اقلیمی تبریز انجام گرفته، چنین نتیجه‌گیری شده که افزایش  $CO_2$  موجب افزایش بازده محصولاتی مانند سیب زمینی و چغندر قند خواهد شد. بر اساس مطالعه یاد شده، کاهش دوره رشد محصولات یاد شده به علت افزایش دما که آثاری مشابه با افزایش طول روز را به همراه دارد، محتمل است (کوچکی، ۱۳۷۸).

با توجه به این که کشور ما نیز در معرض تغییرات اقلیمی ناشی از دو برابر شدن  $CO_2$  کربن جو است، و با عنایت به آثاری که تغییر اقلیمی یاد شده می‌تواند بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، منابع آب، انرژی (خصوصاً انرژی‌های آبی، بادی، خورشیدی) و همچنین بخش بسیار مهم بهداشت و درمان (بیماری‌های خاص ناشی

با استفاده از تلفیق دو مدل گردش عمومی «مرکز اقلیمی کانادا» موسوم به CCC و مدل GFDL مدلی به نام «سده»<sup>(۱)</sup> ابداع شده است. مدل مذکور از مدل‌های با قدرت تفکیک بالا است که دما و بارش را در مقیاس جهانی در شبکه‌ای ۲/۵ درجه‌ای (در شرایط دو برابر شدن  $CO_2$ ) پیش‌بینی می‌کند. مدل سده پس از پیش‌بینی دما و بارش با استفاده از داده‌های پیش‌بینی شده و روابط آنها با اکولوژی مناطق مختلف کره زمین به شبیه‌سازی واکنش‌های موجود بین گیاهان و خاک در مراتع، جنگل‌ها، اکوسیستم‌های زراعی و «ساوان» می‌پردازد. نتایج مطالعه یاد شده نشان می‌دهد که افزایش  $CO_2$  موجب تغییر اقلیم شده که از پیامدهای آن کاهش کلی کربن خاک مراتع جهان تا میزان ۴ پتاگرم و افزایش تولید اولیه خالص در جهان (غیر از نواحی استپی سرد و بیابانی) می‌باشد (تبار احمدی، ۱۳۷۶).

بررسی‌ها و مطالعاتی که اخیراً انتشار یافته، حساسیت‌های اقلیمی نسبت به افزایش  $CO_2$  را یادآوری کرده و هشدار داده‌اند که روند افزایشی تخلیه گازهای گلخانه‌ای بویژه  $CO_2$  بسیار سریع‌تر از آنچه که در مدل‌های گردش عمومی برای دو برابر شدن پیش‌بینی شده‌اند، در حال افزایش است (شکل شماره ۲).

گزارش دیگری نشان می‌دهد که اگر روند تولید و تخلیه گازهای گلخانه‌ای به صورت فعلی ادامه یابد،  $CO_2$  موجود در جو زودتر از موعد (سال ۲۰۳۰) دو برابر خواهد شد (IPCC, 2001).



شکل شماره (۲): روند تخلیه گازهای گلخانه‌ای و گاز کربنیک به جو بر حسب میلیون تن (Christiansen, et al., 2003)

پژوهشگرانی که با هدف‌های بهداشتی، مسئله تغییر اقلیم را دنبال می‌کنند، از دورنمای اقلیمی گرم و مرطوبی که برخی از مدل‌های گردش عمومی برای آینده پیش‌بینی کرده‌اند، بسیار نگرانند. به عقیده این دانشمندان، افزایش دما و رطوبت محیط به یقین بروز و گسترش

از افزایش دما بویژه بیماری‌های ناشی از امواج گرم مثل گرما زدگی و بیماری‌های منتقله از حشرات که بر اثر گرمایش اقلیم تکثیر بسیار بیشتری می‌یابند و آثار آنها بر بروز و انتقال بیماری‌ها بیشتر می‌گردد) داشته باشد، مطالعه تأثیر پذیری اقلیم و کم و کیف تغییر آن از اهمیتی اساسی برخوردار است.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه با هدف شبیه‌سازی آثار دو برابر شدن  $CO_2$  جو بر دو عنصر بسیار مهم اقلیمی دما و بارش در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بین المللی تبریز انجام گرفته است. در این جا سه گروه از داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که عبارتند از:

۱- داده‌های مربوط به عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز که از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ به مدت ۵۳ سال اخذ و در سه سری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. :

الف) سری اول از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳، ب) سری دوم از سال ۱۹۵۱ تا سال ۱۹۹۰ (سال ظهور پدیده آغاز سرما که در شکل شماره ۱ مشخص شده است) و ج) سری سوم که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ (پس از ظهور پدیده آغاز سرما)

۲- داده‌های نقاط شبکه‌ای مربوط به برآورد مدل GFDL که از طریق روش «برون یابی»<sup>(۳)</sup> به صورت ضرایبی برای ایستگاه تبریز محاسبه شده است. داده‌های مربوط به ضرایب مدل GFDL از ویرایش به هنگام شده آن در سال ۲۰۰۳ اخذ و در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارش تبریز که از اعمال ضرایب مدل گردش عمومی GFDL به متوسط ماهانه داده‌های فعلی دما و بارش به دست می‌آید.

### روش‌ها

پس از جمع آوری داده‌های هواشناسی و کنترل کیفی آنها، ضرایب حاصل از مدل به داده‌های متوسط ماهانه دما و بارش اعمال شد. به این ترتیب داده‌های دما و بارش تبریز بر اساس مدل GFDL شبیه‌سازی شد. پس از آماده شدن داده‌های ماهانه اقلیم فعلی و اقلیم آینده (شبیه‌سازی شده بر اساس مدل GFDL) با استفاده از داده‌های ماهانه متوسط‌های فصلی و سالانه عناصر دما و بارش برای اقلیم

فعلی و پیش بینی (شبیه‌سازی) شده به روش GFDL نیز محاسبه شد و مدل‌های گرافیکی آمبروترمیک و هایترگراف (اقلیم نگار یا همان کلیموگرام) برای مقایسه وضع فعلی و شبیه‌سازی شده دما و بارش تبریز ترسیم گردید.

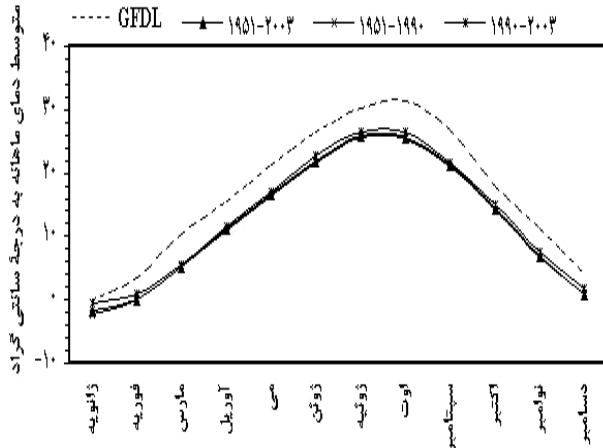
تعیین اثر دو برابر شدن دی اکسید کربن جو به روش‌های گوناگونی انجام می‌گیرد که مهم‌ترین و معتبرترین آنها مربوط به برآوردهای ناشی از مدل‌های گردش عمومی است. مدل‌های مذکور در دهه ۵۰ میلادی به منظور شبیه‌سازی تمام ویژگی‌های سه بعدی اقلیم از ریشه‌های مشابهی تشکیل شده‌اند و به دلیل یاد شده مدل‌های مذکور تا این زمان جامع‌ترین مدل‌های اتمسفری هستند. مدل‌های گردش عمومی جو، معادلات اولیه را که بیانگر نحوه و اندازه حرکت و حفظ پهنه آب و بخار آن است، تحلیل کرده و فرایندهای فیزیکی مانند تشکیل ابر و انتقال رطوبت و گرما را در جو و ما بین جو و سطح زمین تشریح می‌کنند. در مدل‌های مذکور، وضعیت جو زمین در پاره‌ای از «نقاط شبکه» از یک شبکه منظم واقع بر روی زمین و سطوح مختلف جو، تعیین شده و سپس به کمک روش‌های عددی، معادلات اولیه در هر یک از نقاط شبکه حل می‌گردد. با وجود تعدد روش‌های موجود، کلیه مدل‌های گردش عمومی از یک روش زمانی پله‌ای و یک برنامه برون‌یابی بین نقاط شبکه، استفاده می‌کنند («سلرز» و همکاران ۱۳۸۰). مدل GFDL یکی از مدل‌های دقیق (با قدرت تفکیک بالا) است. GFDL مدلی از نوع تعادلی بوده و ابعاد هر جزء از شبکه آن  $7/8$  درجه عرض جغرافیایی در  $4/5$  درجه طول جغرافیایی ( $7/8 \text{ Lo}^\circ \text{La}^\circ$ ) است (برای کسب اطلاعات بیشتر از مدل مذکور می‌توان به وب سایت مدل به آدرس [www.GFDL.com](http://www.GFDL.com) مراجعه کرد).

### یافته‌ها

در (جدول شماره ۱) داده‌های دما و در (جدول شماره ۲) بارش فعلی در سه بازه زمانی ۱۹۵۱-۱۹۹۰، ۱۹۵۱-۲۰۰۳ و ۱۹۹۰-۲۰۰۳ به صورت متوسط‌های ماهانه در برابر رقمها حاصل از شبیه‌سازی سازی مدل گردش عمومی GFDL تنظیم و نشان داده شده است.

برای درک بهتر تغییرات دمای فعلی در هر سه بازه زمانی نسبت به شبیه‌سازی سازی مدل GFDL از شرایط دما به هنگام دو برابر شدن  $CO_2$  جو مدل خطی تغییرات در شکل شماره (۳) ارائه گردیده است.

ماهانه شبیه سازی شده نشانگر وجود پدیده «آغاز سرد»<sup>(۴)</sup> و تأثیر «ساستار»<sup>(۵)</sup> تشعشی بر اقلیم (دمای) ایستگاه تبریز است.



شکل شماره (۳): مدل خطی تغییرات زمانی درجه حرارت فعلی و شبیه سازی شده تحت شرایط دو برابر شدن  $CO_2$  جو

به دنبال اعمال ضرایب برآورد شده از مدل گردش عمومی GFDL به داده‌های بارش متوسط ۵۳ ساله (از ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳) به منظور بررسی و مقایسه وضعیت سه گانه مقادیر بارش فعلی با بارش شبیه‌سازی شده از طریق مدل GFDL، داده‌های مذکور در جدول شماره (۲) در کنار هم درج شده است.

باتوجه به مقادیر شبیه‌سازی شده در صورت دو برابر شدن  $CO_2$  جو، میزان بارش تبریز در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت کاهش و در بقیه ماه‌های سال خصوصاً در ماه‌های آبان و آذر افزایش خواهند یافت (با مینا قرار دادن مقادیر بارش ۵۳ ساله (۱۹۵۱-۲۰۰۳) اوج افزایش در ماه مرداد با ۳۴۲/۲٪ و شدیدترین کاهش در ماه اردیبهشت با ۳۸/۶٪ به وقوع خواهند پیوست).

به منظور نشان دادن میزان اختلاف بین بارش شبیه سازی شده و مقادیر فعلی بارش مدل خطی تغییرات بارش در شکل شماره (۴) ارائه شده است. پدیده آغاز سرد و ساستار مثبتی که گاز کربنیک بر سیستم اقلیمی وارد کرده در شکل شماره ۴ در میزان بارش نیز آشکار است و می توان کاهش بارش بازه زمانی ۱۴ ساله ۱۹۹۰-۲۰۰۳ را در تأثیرات ناشی از افزایش دی اکسید کربن جو جستجو نمود.

با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه، مقادیر فصلی و سالانه عناصر دما و بارش فعلی و شبیه‌سازی شده بر اساس مدل GFDL محاسبه شده و برای مقایسه، در جدول شماره (۳) در کنار هم قرار داده شده اند.

باتوجه به جدول شماره (۱) و شکل شماره (۳) می‌توان به اثر دو برابر شدن  $CO_2$  جو در تغییر عنصر دما پی برد که جهت این تغییرات

**جدول شماره (۱): مقادیر متوسط درجه حرارت فعلی و شبیه‌سازی**

شده از مدل GFDL برای هر یک از ماه‌های سال

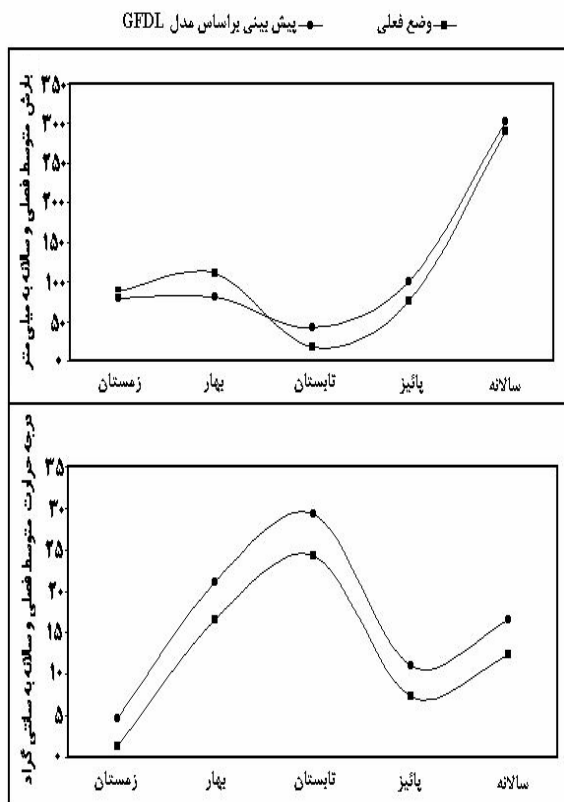
عنصر دما	برآورد مدل GFDL	۱۹۹۰-۲۰۰۳	۱۹۵۱-۱۹۹۰	۱۹۵۱-۲۰۰۳
ژانویه	۱/۷	-۶	-۲/۲	-۱/۷
فوریه	۳/۶	۱	-۰/۸	۱/۲
مارس	۱۰/۵	۵/۶	۵/۱۱	۵/۳
آوریل	۱۵/۶	۱۱/۵	۱۱/۱	۱۱/۳
می	۱۲/۴	۱۶/۹	۱۶/۵	۱۶/۶
ژوئن	۲۶/۴	۲۲/۸	۲۱/۶	۲۱/۹
ژوئیه	۳۰/۱	۲۶/۴	۲۵/۷	۲۶
اوت	۳۱/۴	۲۶/۵	۲۵/۴	۲۵/۷
سپتامبر	۲۶/۸	۲۱/۷	۲۱	۲۱/۲
اکتبر	۱۷/۹	۱۴/۹	۱۴	۱۴/۳
نوامبر	۱۱/۳	۷/۵	۶/۸	۶/۹
دسامبر	۴	۱/۹	۸	۱

**جدول شماره (۲): مقایسه مقادیر متوسط ماهانه بارش فعلی و**

شبیه سازی شده (به میلی متر) از مدل GFDL

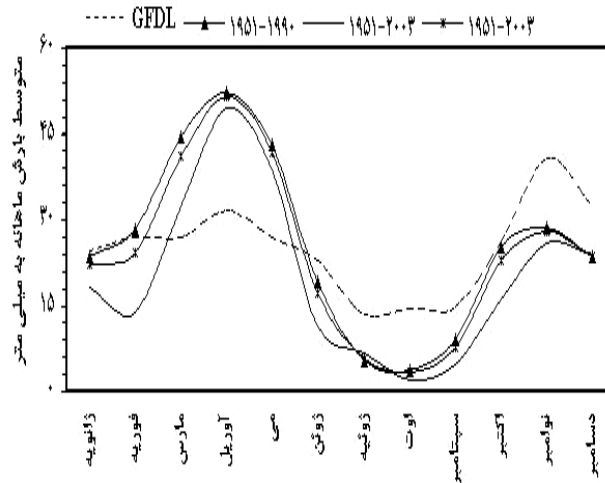
عنصر بارش	برآورد مدل GFDL	۱۹۹۰-۲۰۰۳	۱۹۵۱-۱۹۹۰	۱۹۵۱-۲۰۰۳
ژانویه	۲۴/۶	۱۸/۲	۲۳/۶	۲۲/۱
فوریه	۲۷/۱	۱۳/۸	۲۸/۲	۲۴/۲
مارس	۲۷	۳۲/۲	۴۴/۶	۴۱/۲
آوریل	۳۱/۶	۴۹/۵	۵۲/۲	۵۱/۵
می	۲۷	۳۸/۸	۴۳	۴۱/۹
ژوئن	۲۲/۸	۱۱/۵	۱۹/۳	۱۷/۳
ژوئیه	۱۳/۴	۶/۷	۵/۳	۵/۶
اوت	۱۴/۶	۲	۳/۸	۳/۳
سپتامبر	۱۵	۴/۷	۹	۷/۹
اکتبر	۲۶/۲	۱۶/۳	۲۵/۲	۲۳
نوامبر	۴۰/۹	۲۶	۲۸/۸	۲۸/۱
دسامبر	۳۲/۵	۲۴	۲۳/۷	۲۳/۷

در تمام ماه‌ها مثبت بوده و با شدت (  $3/4^{\circ}$  سانتی گراد معادل  $1700\%$  افزایش در ماه فوریه) و ضعف‌هایی (  $1/57^{\circ}$  سانتی گراد معادل  $10\%$  در ماه ژانویه) در حال افزایش است (مقایسه نسبت به میانگین ۵۳ ساله ماه‌ها از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ انجام گرفته است). اختلاف بارز ارقام محاسبه شده در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ با داده‌های محاسبه شده در دو بازه زمانی ۱۹۵۱-۱۹۹۰ و ۱۹۵۱-۲۰۰۳ و همچنین نزدیکی ارقام محاسبه شده بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ به ارقام دماهای



شکل شماره (۵): مقایسه تغییرات فصلی عناصر دما و بارش فعلی و پیش بینی شده تبریز در شرایط دو برابر شدن CO<sub>2</sub> جو

۳- بارش ایستگاه‌ها مانند دما از یک رابطه افزایش عمومی برای کلیه فصول و سال پیروی نمی‌کند. بر اساس داده‌های پیش‌بینی شده در صورت دو برابر شدن گاز کربنیک اتمسفر، بارش‌های پاییزی، تابستانی و تا حدودی سالانه افزایش یافته و بارش‌های زمستانه و بهاری کاهش خواهند یافت. بیشترین افزایش به نسبت بارش بلند مدت فصلی و بارش شبیه سازی شده در فصل تابستان با ۱۵/۶٪ و بیشترین کاهش در بارش بهاره



شکل شماره (۴): مدل خطی تغییرات زمانی بارش فعلی و بارش شبیه سازی شده در شرایط دو برابر شدن CO<sub>2</sub> جو

به منظور روشن تر شدن تغییرات بارش فعلی و پیش‌بینی شده فصلی و سالانه و مقایسه نحوه تغییرات فصلی و سالانه دما و بارش، مدل خطی تغییرات سری دما و بارش نیز در شکل شماره (۵) نشان داده شده است. با توجه به جدول شماره (۳) و شکل شماره (۵) و با در نظر گرفتن مقادیر بارش فعلی و شبیه سازی شده بر اساس مدل GFDL برای آینده‌ای با میزان گاز کربنیک دو برابر وضع موجود فعلی، می‌توان نکات مهم ذیل را عنوان نمود:

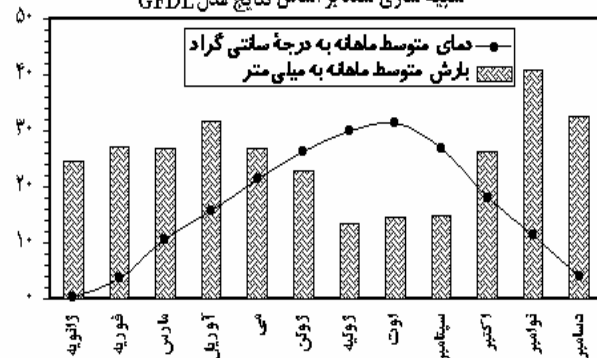
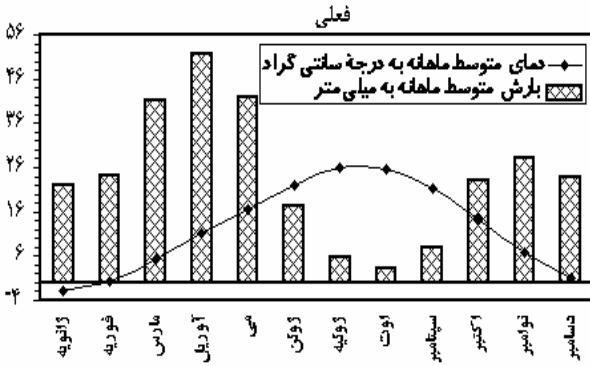
- ۱- دمای کل فصول، افزایش قابل ملاحظه ای از خود نشان می‌دهند که بیشترین افزایش به میزان ۳۷/۷٪ مربوط به فصل زمستان و کمترین افزایش به میزان ۲۰/۵٪ برای تابستان پیش‌بینی شده است. پیش‌بینی افزایش دما برای سایر فصول بویژه پاییز نیز قابل توجه است.
- ۲- اثر ساستار مثبت دی اکسید کربن جو در غالب پدیده آغاز سرد بر عناصر دما و بارش فصلی تبریز از آماربازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۳ به خوبی معلوم است.

جدول شماره (۳): مقایسه مقادیر میانگین فصلی و سالانه دما (سانتی گراد) و بارش (میلی متر) فعلی و شبیه سازی شده

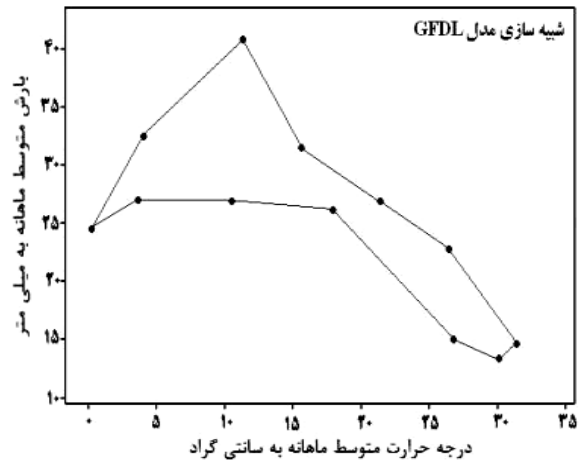
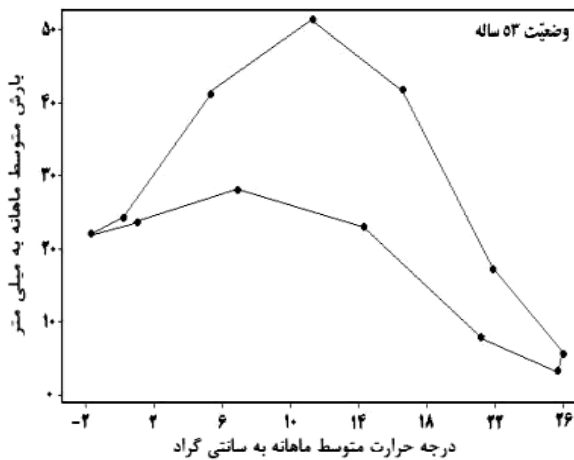
عامل	برآورد مدل GFDL		۱۹۹۰-۲۰۰۳		۱۹۵۱-۱۹۹۰		۱۹۵۱-۲۰۰۳	
	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما
مقطع زمانی	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما
زمستان	۷۸/۷	۴/۷۵	۶۴/۳	۶	۹۶/۴	۲/۸۳	۸۷/۵	۱/۲۶
بهار	۸۱/۴	۲۱/۱۳	۹۹/۸	۱۷	۱۱۴/۵	۱۶/۴	۱۱۰/۷	۱۶/۶
تابستان	۴۳	۲۹/۳	۱۳/۴	۲۴/۹	۱۸/۱	۲۴	۱۶/۸	۲۴/۳
پاییز	۹۹/۶	۱۱/۰۶	۶۶/۳	۸/۱	۷۷/۷	۷/۲	۷۴/۸	۷/۴
سالانه	۳۰۲/۷	۱۶/۵۶	۲۴۳/۸	۱۴	۳۰۶/۷	۱۲/۶	۲۸۹/۸	۱۲/۳۹

نگاشت (کلیماگرام) در شکل شماره (۶)، هایترگراف در شکل شماره (۷) و آمبروترمیک در شکل شماره (۸) ترسیم و نشان داده شده است.

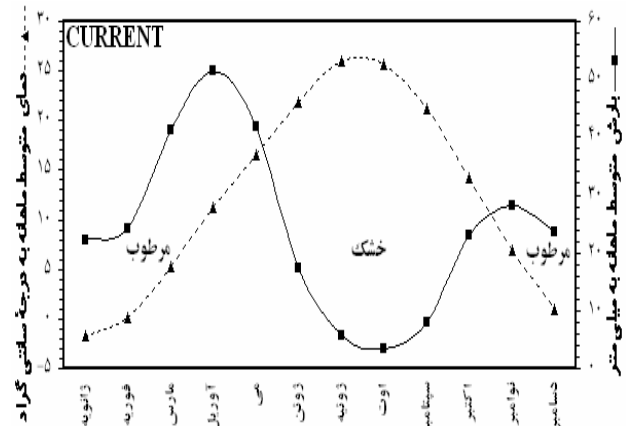
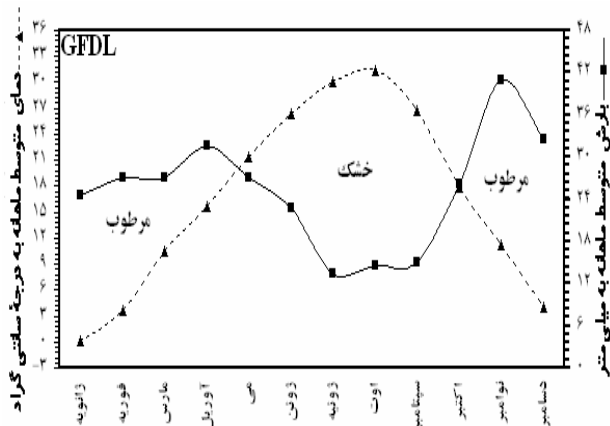
به میزان ۲۹/۳٪ محاسبه شده است. برای پی بردن به این مطلب که آیا دو برابر شدن دی اکسید کربن جو با مقادیر برآوردی از شبیه سازی می تواند یک تغییر اقلیم باشد، مدل های اقلیم شبیه سازی شده بر اساس نتایج مدل GFDL



شکل شماره (۶): اقلیم نگاشت فعلی (۱۹۵۱-۲۰۰۳) و شبیه سازی شده در شرایط دو برابر شدن  $CO_2$  جو



شکل شماره (۷): هایترگراف های وضع جاری و شبیه سازی شده تبریز بر اساس مدل GFDL



شکل شماره (۹): مدل آمبروترمیک شبیه سازی شده تبریز در شرایط دو برابر شدن  $CO_2$  جو در سال ۲۰۳۰

شکل شماره (۸): مدل آمبروترمیک برای نمایش وضعیت اقلیم تبریز در ۵۳ سال گذشته (۱۹۵۱-۲۰۰۳)

جدول شماره (۴): جهت و نسبت (درصد) تغییرات متوسط های دما (درجه سانتی گراد) و بارش (میلی متر) تبریز در مقاطع زمانی مختلف در صورت دو برابر شدن  $CO_2$  جو در سال ۲۰۳۰

عامل	برآورد مدل GFDL		۱۹۵۱-۲۰۰۳		جهت تغییر عنصر		درصد تغییر	
	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما
مقطع زمانی								
ژانویه	۲۴/۶	۱/۷	۲۲/۱	-۱/۷	-	+	۱۱/۳	۱۰
فوریه	۲۷/۱	۳/۶	۲۴/۲	/۲	+	+	۱۱/۹	۱۷۰۰
مارس	۲۷	۱۰/۵	۴۱/۲	۵/۳	-	+	۳۴/۵	۲۸/۳
آوریل	۳۱/۶	۱۵/۶	۵۱/۵	۱۱/۳	-	+	۳۸/۶	۳۸
می	۲۷	۲۱/۴	۴۱/۹	۱۶/۶	-	+	۳۵/۵	۲۸/۹
ژوئن	۲۲/۸	۲۶/۴	۱۷/۳	۲۱/۹	+	+	۳۱/۸	۲۰/۵
ژوئیه	۱۳/۴	۳۰/۱	۵/۶	۲۶	+	+	۱۳۹/۲	۱۵/۷
اوت	۱۴/۶	۳۱/۴	۳/۳	۲۵/۷	+	+	۳۴۲/۲	۲۲
سپتامبر	۱۵	۲۶/۸	۷/۹	۲۱/۲	+	+	۸۹/۸	۲۶/۴
اکتبر	۲۶/۲	۱۷/۹	۲۳	۱۴/۳	+	+	۱۳/۹	۲۵/۱۷
نوامبر	۴۰/۹	۱۱/۳	۲۸/۱	۶/۹	+	+	۳۷	۳۰۰
دسامبر	۳۲/۵	۴	۲۳/۷	۱	+	+	۴۵/۵	۳۰۰
زمستان	۷۸/۷	۴/۷۵	۸۷/۵	۱/۲۶	-	+	۱۰	۳۷۷
بهار	۸۱/۴	۲۱/۱۳	۱۱۰/۷	۱۶/۶	-	+	۲۹/۳	۲۷/۳
تابستان	۴۳	۲۹/۳	۱۶/۸	۲۴/۳	+	+	۱۵۶	۲۰/۵
پائیز	۹۹/۶	۱۱/۰۶	۷۴/۸	۷/۴	+	+	۳۳/۱۵	۴۹/۴
سالانه	۳۰۲/۷	۱۶/۵۶	۲۸۹/۸	۱۲/۳۹	+	+	۴/۵	۳۳/۶

اقلیمی بویژه بارش دارد، در مقایسه نسبت افزایش دما و بارش فعلی و پیش‌بینی شده برای تبریز متوجه شدت زیاد تغییرات افزایشی دما خواهیم شد. برای پی بردن به شدت این تغییرات کافی است میانگین مقادیر ماهانه فعلی و ماهانه شبیه سازی شده را که در جدول شماره (۱) درج شده‌اند، با هم مقایسه کنیم .

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این مطالعه، افزایش میزان گاز کربنیک جو تا حد دو برابر که در اکثر منابع علمی برای سال ۲۰۳۰ و حتی زودتر از آن پیش بینی شده است، موجب تغییر اقلیم تبریز خواهد شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش نشانگر افزایش مقادیر دما و بارش تبریز در اکثر مقاطع زمانی است. در صورت تغییر اقلیم به شرایطی که مدل GFDL برای تبریز بازسازی نموده است، انتظار می‌رود بخش کشاورزی و منابع آب دچار بیشترین تغییرات شوند. در زمینه آثار کشاورزی تغییرات شبیه‌سازی شده برای تبریز، افزایش دی

با توجه به مدل‌های اقلیم کنونی و اقلیم شبیه‌سازی شده و مقایسه آنها ( شکل‌های ۶ تا ۹)، می‌توان اذعان کرد که تغییر اقلیم نسبت به وضع فعلی در شرایط دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بدیهی و حتمی است. با توجه به اهمیت ماه به ماه، فصلی و سالانه تغییرات دما و بارش در اقلیم شناسی، جهت و درصد تغییرات هر یک از عناصر دما و بارش فعلی تبریز (۱۹۵۱-۲۰۰۳) در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده از مدل GFDL برای تفهیم بهتر میزان تغییر اقلیم (دما و بارش) در شرایط دو برابر شدن  $CO_2$  جو، برای کلیه مقاطع زمانی مورد محاسبه قرار گرفته و نتایج به دست آمده در جدول شماره (۴) درج شده است.

نتایج جدول شماره (۴) نشانگر این واقعیت مهم است که نسبت و جهت تغییرات دما در کلیه مقاطع زمانی مثبت و رو به افزایش است. در سه چهارم مقاطع ماهانه (۸ ماه از ۱۲ ماه)، نصف فصول (تابستان و پائیز) و مقطع سالانه تغییرات بارش نیز مثبت است. با توجه به این که عنصر دما در طول زمان تغییرات بسیار اندکی نسبت به سایر عناصر



طریق پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی است. ارزش این مطالعه در آن است که می‌تواند به روشن‌تر شدن سرعت تغییرات بالقوه در کشاورزی و منابع آب که ممکن است گرم شدن جهان بر اثر پدیده گلخانه‌ای آن را به وجود آورد، کمک کند. با وجود پاره‌ای مشکلات و نارسایی‌ها در مدل‌های گردش عمومی که شامل مدل GFDL نیز می‌شود، این مدل‌ها بهترین وسیله مدل‌سازی برای توسعه سناریوهای تغییر اقلیم و ارزیابی آثار آن به ویژه آثار زراعی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی گرم شدن زمین بر اثر پدیده گلخانه‌ای هستند. علت این که از گرمایش جهانی در قرن بیست و یکم به عنوان تغییرات بی‌سابقه یاد می‌شود آن است که در طی ۱۰ هزار سال گذشته که طول دوران توسعه تمدن انسانی است، تغییرات دمایی بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد سابقه نداشته است. برخی از اولویت‌های مطالعاتی در زمینه تغییر اقلیم را که برای آینده می‌توان معرفی کرد عبارتند از:

- ۱- کسب اطلاعات بیشتر درخصوص آثار تغییر اقلیم که شامل آثار تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی و تولیدات دامی در مناطق مختلف کشور و تحت شرایط مدیریتی متفاوت، بر تخلیه مواد غذایی خاک، بر شرایط هیدرولوژیکی که بر قابلیت دسترسی به آب برای آبیاری تأثیر می‌گذارد، آفات، بیماری‌ها و موجودات ریز خاک و ناقلان آنها، سرعت فرسایش و شور شدن خاک‌ها است.
- ۲- کسب اطلاعات بیشتر در مورد تغییرات فنی که احتمالاً در مزارع به وجود خواهند آمد (مثلاً در آبیاری، انتخاب گیاهان، کود دهی) و نیز کسب اطلاعات بیشتر در خصوص پیامدهای اقتصادی، محیطی و سیاسی تغییرات مذکور و مسائلی مانند تغییر کاربری اراضی، اصلاح گیاهان، طرح‌های توسعه و به زراعی پیشرفته، انتقال آب در مقیاس وسیع (نمونه بارز در این خصوص طرح «ایران رود» که هدف آن انتقال آب از دریای خزر به مناطق کویری و بیابانی ایران است) و مواردی از این قبیل باشد.

### یادداشت‌ها

- 1-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) Model
- 2- Century
- 3- Extrapolation

اکسید کربن جو و درجه حرارت رشد و نمو گیاهان زراعی و قدرت رقابت آنها را به شدت متأثر خواهد کرد که در این بین، افزایش فتوسنتز و تولید گیاهان سه کربنه (به علت کاهش تنفس نوری ناشی از افزایش گاز کربنیک جو) قابل انتظار است؛ افزایش گیاهان سه کربنه به معنای بهبود توانایی رقابت آنها در برابر گیاهان چهار کربنه می‌باشد که این امر می‌تواند موجب تغییر الگوی کشت در اراضی کشاورزی تبریز و اطراف گردد. افزایش دما موجب طولانی‌تر شدن فصل رشد در تبریز خواهد شد. همچنین افزایش دمای روزانه نیز تأثیری مشابه بر افزایش طول روز بر گیاهان خواهد گذاشت. انتظار می‌رود که افزایش درجه حرارت و آثار آن موجب افزایش تولید و عملکرد گیاهان سه کربنه تبریز بویژه غلات گردد. افزایش دما نامطلوب‌ترین اثر تغییر اقلیم را که افزایش خشکی در تبریز است، به همراه خواهد داشت. اثر دما بر منابع آب از طریق تشدید تبخیر افزایش یافته و از کم و کیف منابع آب خواهد کاست. با توجه به این که بارش زمستانی به شکل برف عامل اصلی تغذیه منابع آب مناطق کوهستانی شمال غرب (تبریز) است، تغییر اقلیم و افزایش دما می‌تواند شکل بارش را از برف به باران تبدیل کند و همان گونه که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد از مقدار بارش زمستانی بکاهد. نتیجه فرایند یاد شده افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت آنها، کاهش توان خود پالایی اکوسیستم‌های آبی (مثلاً اکوسیستم تالاب «قوری گل») و کاهش توان خود تنظیمی اکوسیستم‌های خشکی خواهد بود.

همچنین افزایش دمای زمستانی تبریز در صورت دو برابر شدن گاز کربنیک جو از تعداد و شدت روزهای یخبندان خواهد کاست. لیکن انتظار نمی‌رود که این امر موجب کاهش تلفات کشاورزی ناشی از یخبندان شود، زیرا تغییر اقلیمی بنا به ماهیت خود ناهنجاری‌هایی نیز در توزیع زمانی دماهای افراطی (دماهای بسیار کم و شدیداً گرم) در ماه‌های منتهی به آغاز بهار به وجود می‌آورد.

پیش‌بینی تغییر اقلیم تبریز بر اساس مدل گردش عمومی انجام گرفته که نتایج آن می‌تواند در معرض تغییر باشد. با وجود این مسئله، پیش‌بینی بیشتر مدل‌ها در جهت مذکور است و لذا دانشمندان و برنامه‌ریزان نتایج حاصل از مدل‌های مذکور را جدی گرفته‌اند. از سوی دیگر برای مطالعه و آشکارسازی مسئله تغییرات اقلیمی با استفاده از روش‌های آماری نیاز به داده‌های دقیق و ثبت شده آماری در دوره‌های حداقل ۱۰۰ ساله است که هیچ یک از ایستگاه‌های کشور دارای چنین دوره آماری نیستند. با توجه به محدودیت داده‌های آمار هواشناسی در تبریز (و ایران) توسل به مدل‌های گردش عمومی تنها

کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۷۸، تهران ص ۹-۱۸

Christiansen.A.C; J, Wettestad. 2003. The EU as a frontrunner on greenhouse gas emissions trading: how did it happen and will the EU succeed? Climate Policy. 3: 3-18.

Intergovernmental Panel on Climate Change., IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability, Cambridge University Press, Cambridge.

Kelly.D; C. 2004. Malthus and Climatic change: betting on a stable population. Earthscan Publications Ltd., 127 pp.

Kovats, R.S.and et al. 2003. Climate change and human health: final report to the UNEP.68pp.

Lieshouta, M.and et al.2004. Climate change and malaria: analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios, Global Environmental Change, 14 : 87-99.

Lin, E. D.1997. Simulation of global climate change impact on China's agriculture. China Agricultural Presses, Beijing. 54-87.

Segal, M. 1994. Some assessments of the potential 2× CO<sub>2</sub> climatic effects on water balance components in the eastern Mediterranean. Clim. Change, 27: 351-371.

Smith,K. 2000. Environmental hazards, Routledge publications .New York.248pp.

Thomas R. 2003. Modern Global Climate Change. Science, 302:1719-1723.

You, M. 1996. Assessment on soil water resources, Meteorological Publication House, Beijing, China, pp. 119 -138

۴- پدیده آغاز سرد معادل انگلیسی Cold Start است. سال ۱۹۹۰ میلادی نقطه عطف و مقطع زمانی اولیه بالا رفتن دمای کره زمین بر اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای است و از سال مذکور به این سو مرتباً دمای کره زمین در حال افزایش است. فرایند مذکور را که در آن گرمایش اولیه بطئی ظاهر می گردد «شروع سرد» می‌نامند (برای توضیح بیشتر به منبع شماره ۲ مراجعه شود).

۵- ساستار معادل واژه Forcing (تمرکز و افزایش گازهای گلخانه‌ای اتمسفر از طریق تله بزرگی از انرژی ساطع شده مادون قرمز یا تشعشعی افزایش می یابد) ، این فرایند را ساستار (ساستار تشعشعی) نامیده و آن را عمده‌ترین عامل افزایش گازهای گلخانه ای جو می‌دانند . در یک تعریف جامع‌تر، تغییر در یکی از عوامل درونی یا بیرونی آب و هوا را که بر سیستم اقلیمی تأثیر می گذارد ساستار می‌گویند. ساستار اقلیمی بسته به آثاری که دارد به ۲ نوع تقسیم‌بندی می‌شود که عبارتند از:

الف) ساستار مثبت: اثر جذبی گازهایی همانند دی اکسید کربن، کلروفلوئورکربن‌ها، بخار آب و متان را که موجب گرم شدن کره زمین می‌شوند، ساستار مثبت می‌گویند.

ب) ساستار منفی: اثر انعکاسی هواویزها (آبروسل‌ها) را که موجب پخش انرژی تابشی موج کوتاه خورشید شده و موجب سرمایش زمین می‌شوند، ساستار منفی می‌گویند. منبع اصلی ورود هواویزها به سیستم اقلیمی، فوران‌های آتشفشانی و آلاینده‌های هوا می‌باشند ( سلرز و مک گوفی، ۱۳۸۰).

#### منابع مورد استفاده

تبار احمدی، خالق. ۱۳۷۶. اثر تغییر اقلیم بر تولید و میزان کربن مراتع در جهان، نیوار، ۳۵-۵۰ : ۳۵ و ۳۶ .

سلرز، ای. اچ. و کی؛ مک گوفی. ۱۳۸۰. نخستین گام در مدل‌سازی اقلیمی، (ترجمه ابوالفضل مسعودیان و حسنعلی غیور)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان، ۲۵۲ صفحه.

کوچکی، عوض . ۱۳۷۸. بررسی آثار تغییر اقلیم بر خصوصیات زراعی محصولات ریشه ای تحت شرایط تبریز، مجموعه مقالات دومین