

ارزیابی حساسیت‌پذیری دما و بارش تبریز به افزایش دی‌اکسید کربن جو با استفاده از مدل‌های گردش جهانی پیوندی جوی - اقیانوسی

یوسف قویدل رحیمی*

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

پذیرش: ۸۴/۸/۲۱

دریافت: ۸۲/۸/۱۸

چکیده

در این تحقیق با استفاده از داده‌های ماهیانه حاصل از محاسبه ضرایب مربوط به دما و بارش نقاط شبکه در مختصات ایستگاه تبریز و داده‌های ماهیانه دما و بارش ایستگاه هواشناسی تبریز در یک دوره آماری ۵۲ ساله از سال ۱۹۵۱ - ۲۰۰۳ آثار دو برابر شدن میزان CO_2 جو بر دما و بارش به عنوان مهمترین عناصر اقلیمی شبیه‌سازی شده است. مدل‌های هایتروگراف و آمبروترمیک ترسیمی برای تبریز مبین تغییرات ماهیانه عناصر اقلیمی دما و بارش در وضعیت دو برابر شدن CO_2 جو می‌باشند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عناصر دما و بارش مبین افزایش دمای تبریز در کلیه مقاطع ماهیانه، فصلی و سالیانه و کاهش بارش در فصول زمستان، بهار و افزایش آن در فصل‌های تابستان، پاییز و نیز مقطع سالیانه هستند. مدل‌های آمبروترمیک، کلیماگرام و هایتروگراف فعلی و شبیه‌سازی شده تبریز از مدل GFDL و مدل ECHAM4 (از مدل‌های مرکز تحقیقاتی هواشناسی ماکس پلانک در آلمان) در چگونگی دوبرابر شدن CO_2 جو، تغییرات دما و بارش را مورد تأیید قرار دادند. با توجه به مدل‌های آمبروترمیک و هایتروگراف ترسیمی برای چگونگی اقلیم فعلی و اقلیم شبیه‌سازی شده از مدل‌های GFDL و ECHAM4، تغییر اقلیم تبریز در چگونگی دوبرابر شدن CO_2 به صورت کاهش مدت و

E-mail: y.ghavidel@geog.ui.ac.ir

* نویسنده مسؤول مقاله:

یوسف قویدل رحیمی ————— ارزیابی حساسیت‌پذیری دما و بارش تبریز ...

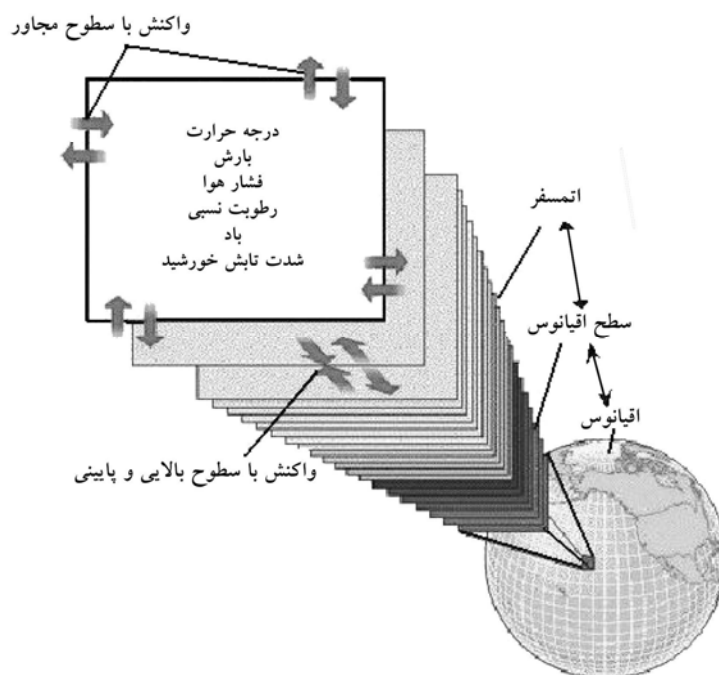
شدت دوره سرد و کاهش روزهای همراه با یخبندان، کاهش بارش بهار و زمستانی، تغییر شکل بارش زمستانی از برف به باران، طولانی‌شدن دوره رشد گیاهان، افزایش دما و به تبع آن خشکی، خود را نشان خواهد داد. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازیها و با در نظر گرفتن موقعیت فعلی اقلیم بویژه بازه ۱۴ ساله ۱۹۹۰-۲۰۰۳ چنین به نظر می‌رسد که تغییر شکل اقلیم تبریز به طریق شبیه‌سازی شده از مدل ECHAM۴ محتمل‌تر از مدل GFDL باشد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، آثار دوبرابر شدن CO_۲، مدل‌های گردش جهانی پیوندی، شبیه‌سازی اقلیم، تبریز.

۱- مقدمه

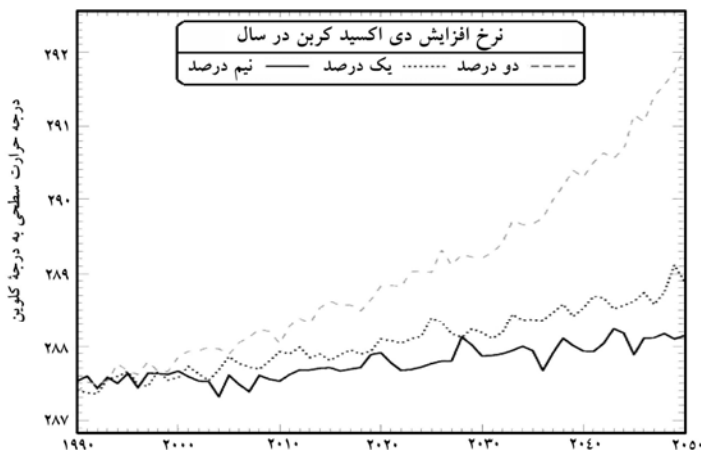
روال بر این است که برای درک یا پیش‌بینی نتایج برخی از رخداد‌های طبیعی، آزمایشی طرح و اجرا می‌شود؛ اما اگر موضوع خیلی پیچیده یا مقیاس فضایی آزمایش خیلی وسیع باشد، چه باید کرد؟ در پیش‌بینی آثار تغییرات اقلیمی نیز این مسأله پیش می‌آید و هم‌اکنون نیز چنین آزمون غیرقابل‌کنترلی در آزمایشگاهی به وسعت زمین در حال وقوع است. پس چگونه می‌توان بدون انجام هیچ‌گونه آزمایش فیزیکی آینده را پیش‌بینی کرد؟ می‌توان با تبدیل این وضع به یک «آزمایشگاه نمادین» در غالب مدل‌های رایانه‌ای گردش جهانی، تغییر اقلیم را شبیه‌سازی نتایج آن را بررسی کرد [۱، ص ۶۵۶]. مدل‌های گردش جهانی در دهه ۵۰ میلادی به منظور شبیه‌سازی ویژگی‌های سه بعدی دستگاه اقلیم از ریشه مشابهی تشکیل شده‌اند. مدل‌های مذکور معادلات اولیه را که بیانگر نحوه، اندازه حرکت، حفظ پهنه آب و بخار آن می‌باشند، تحلیل کرده و فرایندهای فیزیکی مانند تشکیل ابر، انتقال رطوبت و گرما در جو (لایه‌ها) و مابین آنها و سطح زمین را تشریح می‌کنند. در مدل‌های مذکور وضعیت جو زمین در برخی از «نقاط شبکه» از یک شبکه منظم واقع روی زمین و سطوح مختلف جو، تعیین شده است که سپس به کمک روش‌های عددی، معادلات اولیه در هر یک از نقاط شبکه حل می‌شود [۲، ص ۲۵۳].

با وجود تعدد روش‌های موجود، کلیه مدل‌های گردش جهانی از یک روش زمانی پله‌ای و یک برنامه برون‌یابی (اکسترپولاسیون) بین نقاط شبکه، استفاده می‌کنند. تعیین اثر دوبرابر شدن



شکل ۱ نمایش شماتیک و ساده شده‌ای از یک مدل گردش جهانی پیوندی جوی- اقیانوسی [۲، ص ۲۵۳]

دی‌اکسیدکربن جو به روشهای گوناگونی انجام می‌گیرد که معتبرترین آنها مربوط به برآوردهای ناشی از مدل‌های گردش جهانی است. کلیات مربوط به مدل‌های گردش عمومی و جهانی و نقش آنها در ارزیابی آثار زیست محیطی به‌همراه مباحث نوین و جالبی از تغییرات اقلیمی را می‌توان در کتاب ارزشمند «تغییر آب و هوا و آثار زیست محیطی آن» جستجو کرد [۳]. همزمان با شروع انقلاب صنعتی و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و تخریب مراتع خصوصاً در مناطق پرباران حاره‌ای، میزان CO_2 به‌صورت نمایی شروع به افزایش کرده است؛ به طوری که در سال ۱۹۹۰م. مقدار آن به ۳۲۵ پی پی ام رسیده است. در سال ۲۰۰۰م. میزان CO_2 جو به ۳۷۵ قسمت در میلیون رسید که همگام با افزایش CO_2 گرم شدن جهان نیز تشدید شده است. شکل ۲ ارتباط افزایش CO_2 و دمای زمین را براساس سه سناریوی اصلی تغییر اقلیم نشان می‌دهد.



شکل ۲ افزایش جهانی میزان دی اکسید کربن جو و اثر آن بر بالارفتن دمای کره زمین و گرم شدن جهان [۴، صص ۱۷۱۹-۱۷۲۳]

با اینکه ادبیات اقلیم شناسی از نظر مطالعات مربوط به تغییر اقلیم بسیار غنی است، لکن شبیه سازی تغییرات اقلیمی از زمان روی کار آمدن مدل های سه بعدی گردش جهانی در دو دهه انتهایی قرن ۲۰ متداول شده است. مطالعات اخیر حساسیت اقلیم نسبت به افزایش CO_2 را یادآوری کرده و هشدار داده اند که روند افزایش گازهای گلخانه ای بویژه CO_2 سریعتر از آنچه که در مدلها برای دوبرابر شدن مقرر شده (سال ۲۱۰۰ م.)، در حال افزایش است [۵، صص ۳-۱۸]. گزارش «هیأت بین الدول تغییر اقلیم» عدم پایداری کشورهای صنعتی خصوصاً آمریکا به عدم تولید و انتشار گازهای گلخانه ای را مهمترین عامل افزایش گازهای گلخانه ای و به تبع از آن افزایش دمای کره زمین معرفی کرده است. [۶].

بسیاری از دانشمندان معتقدند که در قرن ۲۱ مهمترین مسائل ناشی از سوانح محیطی به آثار ناشی از تغییر اقلیم اختصاص خواهد یافت [۷، ص ۲۴۸]. دانشمندان تغییرات جهانی آب و هوا و عوامل مؤثر بر آن را مطالعه کرده و اغلب آثار ناشی از تغییر اقلیم را منبعث از افزایش CO_2 جو دانسته اند. به عقیده آنها تغییر اقلیم موجب تغییرات بزرگ و مهمی در کشاورزی، بوم سازگان و محیط زیست خواهد شد که به احتمال زیاد این تغییرات به ضرر و انهدام مناطق طبیعی منجر خواهد شد [۸، صص ۳۵۱-۳۷۱].

محققانی که ابعاد بهداشتی مسأله تغییر اقلیم را دنبال می‌کنند، از دورنمای اقلیمی مرطوب و گرمی که برخی از مدل‌های گردش جهانی برای آینده پیش‌بینی کرده‌اند، بسیار نگرانند. به عقیده این قبیل دانشمندان افزایش دما و رطوبت محیط به‌طور یقین، بروز و گسترش بیماری‌هایی چون مالاریا را در بر خواهد داشت [۹، صص ۸۷-۹۹]. در زمینه آثار تغییر اقلیم بر بهداشت جوامع در معرض خطر، خوش‌بینانه‌ترین مسأله افزایش هزینه‌های بهداشتی (خصوصاً مراقبت از پوست) است [۱۰، ص ۶۸].

بعد دیگری از مشکل‌آفرینی تغییر اقلیم که نتایج اکثر مدل‌های گردش جهانی آن را تأیید می‌کند، به آثار تغییر اقلیم بر کشاورزی و به‌تبع آن، بر تغذیه جوامع انسانی مربوط می‌شود؛ در حالی که تغییر اقلیم به افزایش اراضی زیر کشت، درجه روز و به‌تبع از آنها افزایش بازه محصولات زراعی و باغی در بخش‌های شمالی‌تر کانادا منجر خواهد شد. چینی‌ها نگران آثار افزایش CO_2 هستند؛ زیرا که افزایش CO_2 موجب کاهش بازه گیاهان چهار کربنه (که بخش بزرگی از نیازهای غذایی جمعیت عظیم چین را تشکیل می‌دهد، می‌شود [۱۱، صص ۵۴-۸۷].

برخی از اقتصاددانان طرفدار نظریه «مالتوس» نیز با توجه به محدودیتهایی که تغییر اقلیم می‌تواند در زمینه تغذیه جوامع انسانی به‌وجود آورد، با فرصت‌طلبی اقدام به اغراق گوییهایی در خصوص تصدیق نظریه انفجار جمعیت مالتوس کرده‌اند [۱۲، ص ۱۲۷].

عقیده جمع‌کنندگی از اقلیم‌شناسان بر این است که تغییر اقلیم در آینده موجب افزایش تبخیر و به‌تبع از آن، موجب خشکی و کسری در بیلان آب در مناطقی مانند شرق مدیترانه (که شامل بخش‌های غرب و شمال غرب ایران نیز می‌شود) خواهد شد [۱۳، صص ۳۵۱-۳۷۱]. تنش خشکی و اتلاف رطوبت خاک نیز از دیگر آثار پیش‌بینی شده برای مناطق مستعد تغییر اقلیم در سالهای آینده محسوب می‌شود که موجب کاهش تولید و عملکرد محصولات کشاورزی خواهد شد [۱۴، صص ۱۱۹-۱۳۸].

پیش‌بینی بهترین و دقیقترین مدل‌های گردش عمومی جهانی و مقایسه نتایج آنها اقلیم‌شناسان را متقاعد کرده است که وقوع تغییر اقلیم در مقیاس جهانی اجتناب‌ناپذیر و حتمی است و سناریوهای مختلف اجرا شده بیانگر آثار متوسط تا شدید افزایش گازهای گلخانه‌ای خصوصاً CO_2 بر دگرگونی اقلیمی هستند [۱۵، صص ۱۵۳-۱۶۳].

در مطالعه جالبی که با استفاده از مدل OSBOL به منظور بررسی آثار افزایش

دی اکسید کربن بر تولید و بازه محصولات ریشه‌ای در وضعیت اقلیمی تبریز انجام گرفته است، چنین نتیجه‌گیری شده است که افزایش CO_2 موجب افزایش بازه سیب زمینی و چغندر قند خواهد شد. بر اساس مطالعه یاد شده کاهش دوره رشد محصولات یاد شده به علت افزایش دما که همان آثار افزایش طول روز را به همراه دارد، محتمل است [۱۶، صص ۹-۱۸]. رحیمی در رساله خود آثار بلندمدت گرمایش جهانی را بر محیط زیست ایران، تحلیل کرده است. و پیامدهای بوم‌شناختی ناشی از آن را پراهمیت دانسته است [۱۷]. نتایج حاصل از مدل گردش عمومی «مؤسسه تحقیقات فضایی گودارد» مبین تغییرات نسبتاً شدید دما و بارش تبریز در صورت دوبرابر شدن CO_2 جو است که میزان این تغییرات در زمستان و پاییز شدیدتر از دیگر فصول برآورد شده است [۱۸].

این مطالعه با هدف مطالعه و شبیه‌سازی آثار دوبرابر شدن CO_2 جو بر دو عنصر بسیار مهم اقلیمی دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز و با استفاده از نتایج محاسبه شده از مدل‌های گردش جهانی GFDL و ECHAM۴ انجام گرفته است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- داده‌ها

در این مطالعه ۷ سری داده در چهار گروه استفاده شده‌اند که عبارتند از:

۱- داده‌های مربوط به عناصر دما و بارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز که از سال ۱۹۵۱ - ۲۰۰۳ به مدت ۵۳ سال اخذ و در سه سری: الف: سری اول از سال ۱۹۵۱ - ۲۰۰۳؛ ب: سری دوم از سال ۱۹۵۱ - ۱۹۹۰ (سال ظهور آغاز سرد که در مدل‌سازی اقلیمی مبدأ گرمایش زمین محسوب می‌شود)؛ ج: سری سوم که از سال ۱۹۹۰ - ۲۰۰۳ (این سری به عنوان دوره گذار و برای آشکارسازی آغاز سرد در نظر گرفته شده است) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۲- ضرایب تغییر دما و بارش برآورد شده از نقاط شبکه‌ای مدل ECHAM۴ در مختصات جغرافیایی ایستگاه تبریز؛

۳- ضرایب تغییر دما و بارش برآورد شده از نقاط شبکه‌ای مدل GFDL در مختصات جغرافیایی ایستگاه تبریز؛

۴- داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارش تبریز که از اعمال ضرایب مدل‌های گردش جهانی به متوسط ماهیانه داده‌های فعلی دما و بارش به دست می‌آید. مقادیر فصلی و سالیانه

دما و بارش از متوسط‌های ماهیانه محاسبه شده است.

۲-۲- روشها

پس از اخذ و کنترل کیفی داده‌ها، اقدام به برآورد ضرایب تغییر دما و بارش همراه از هر مدل شد. برای این کار به نرم‌افزاری (که به صورت on line در وب‌گاه اینترنتی مدلها قرار داده شده است) مراجعه و پس از واردکردن مختصات جغرافیایی (برای مدل ECHAM۴) یا شماره بین‌المللی ایستگاه (برای مدل GFDL) ضرایب تغییر ماهیانه دما و بارش به صورت جداگانه دریافت شد. با اعمال ضرایب تغییر به دست آمده به داده‌های متوسط ماهیانه دما و بارش، داده‌های دما و بارش براساس مدل‌های GFDL و ECHAM۴ شبیه‌سازی شد (به عنوان نمونه ضریب تغییر بارش ایستگاه تبریز در ماه آوریل ۰/۷۷۷ در مدل GFDL و ۰/۶۱۴ در مدل ECHAM۴ محاسبه شد که از اعمال این ضرایب بر داده‌های دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۳ عدد ۴۰ برای مدل GFDL و عدد ۳۱/۶ برای مدل ECHAM۴ شبیه‌سازی شده است). پس از آماده‌شدن داده‌های ماهیانه اقلیم فعلی و اقلیم آینده (شبیه‌سازی شده براساس مدل‌های گردش‌جهانی) با استفاده از داده‌های ماهیانه، متوسط‌های فصلی و سالیانه عناصر دما و بارش برای اقلیم فعلی و پیش‌بینی (شبیه‌سازی) شده به روش GFDL و ECHAM۴ مورد محاسبه و پس‌از آن، اقدام به ترسیم مدل‌های گرافیکی آمبروترمیک و هایترگراف (اقلیم نگار یا کلیموگرام) برای مقایسه وضع فعلی و شبیه‌سازی شده دما و بارش تبریز شد.

در جدول ۱ مشخصات اصلی مدل‌های GFDL و ECHAM۴ که هر دو از مدل‌های طیفی با تفکیک فضایی بالا است و از سناریوی افزایش CO₂ به میزان ۱٪ در سال (سناریوی ادامه روند فعلی افزایش CO₂) پیروی می‌کنند، درج شده است.

با توجه به ابعاد کوچکتر، اجزای شبکه‌ای مدل ECHAM۴، نسبت به مدل GFDL قدرت تفکیک فضایی و دقت پیش‌بینی آن به مراتب بیشتر از مدل GFDL است. ورودی مدل‌های فوق شامل کلیه اطلاعات و آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک بین‌المللی، میزان و کم و کیف گازهای گلخانه‌ای و انتشار آنها براساس سناریوی افزایش یک درصد در سال، داده‌های فرازمینی (مانند نوع و تعداد لکه‌های خورشیدی)، داده‌های مربوط به سطح زمین (مانند توپوگرافی و پوشش گیاهی)، پهنه‌های آبی بویژه اقیانوسها که نقش بسیار مهمی در تنظیم

گازهای گلخانه‌ای بویژه CO₂ دارند، داده‌های مربوط به جمعیت و مصارف مختلف آنها از قبیل سوخت‌های فسیلی و بسیاری از اطلاعات دیگر که برای آگاهی از جزئیات دقیقتر مدلها و ورودی و خروجیهای آنها و همچنین شرح کامل معادلاتی که از طریق آنها مدلها اقدام به محاسبه و شبیه‌سازی دما و بارش می‌کنند، می‌توان به منابع ۳، ۲۰، و ۲۱ مراجعه کرد^۱.

داده‌های خروجی پس از اجرای سناریوی مدل شامل یکسری ضرایب تغییر منفی، مثبت دما، بارش و غیره است که از اعمال ضرایب مذکور به داده‌های وضع فعلی، اقلیم مورد پیش‌بینی مدل شبیه‌سازی می‌شود. ضرایب تغییر بارش کمتر از عدد یک، موجب کاهش و مقادیر بزرگتر از یک موجب افزایش بارش شبیه‌سازی شده خواهند شد. ضرایب تغییر بارش برای همه ماهها مثبت است. ضرایب تغییر منفی در مورد عنصر دما و فقط برای ماههای سرد سال به کار می‌رود (ضریب تغییر دمای ژانویه در مدل GFDL معادل ۰/۰۷- و در مدل ECHAM۴ برابر ۰/۱- برآورد شده که از اعمال این ضرایب درجه حرارت ۰/۱۲ ($0/12 = -0/07 \times -1/7$) در مدل GFDL و ۰/۱۷ ($0/17 = -0/1 \times -1/7$) در مدل ECHAM۴ برای ماه ژانویه شبیه‌سازی شده است.

جدول ۱ مشخصات اصلی مدل‌های گردش جهانی GFDL و ECHAM۴*

ECHAM۴	GFDL	نام مدل
MPI	GFDL	سرگروه اصلی مدل
طیفی با کد شناسایی T۴۲	طیفی با کد شناسایی R۱۵	تیپ مدل
پیوندی جوی- اقیانوسی	پیوندی جوی- اقیانوسی	نوع مدل
اجرا در حالت تعادلی	اجرا در حالت تعادلی	نوع اجرای مدل
$2/8^\circ \times 2/8^\circ$	$4/5^\circ \times 7/5^\circ$	تفکیک افقی مدل جوی (عرض × طول)
$2/8^\circ \times 2/8^\circ$	$4/5^\circ \times 3/7^\circ$	تفکیک افقی مدل اقیانوسی (عرض × طول)
۱۹ لایه	۹ لایه	تعداد لایه‌های عمودی مدل جوی
۱۱ لایه	۱۲ لایه	تعداد لایه‌های عمودی مدل اقیانوسی
۲/۲ درجه سانتیگراد	۱/۳ درجه سانتیگراد	برآورد مدل از افزایش دمای جهانی
۶/۵ درصد	۹ درصد	برآورد متوسط مدل از افزایش بارش در کره زمین

* [۱۹، صص ۳۷۶-۳۹۳:۲۰]

۱. شرح کامل مدل‌های به‌کارگرفته شده در این نوشته به علت کثرت معادلات به کار رفته و طولانی‌شدن مطالب بسیار خسته‌کننده بوده و متنی مانند متون ریاضی مقابل خواننده قرار می‌دهد؛ در عین حال برای کسب اطلاعات بیشتر از نحوه محاسبات مدل‌ها می‌توانند به مراجع معرفی شده مراجعه کنند یا با پست الکترونیکی مؤلف به نشانی علاقمندان neuralclimate@yahoo.co.uk تماس حاصل نمایند.

۳- نتایج

۳-۱- شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش

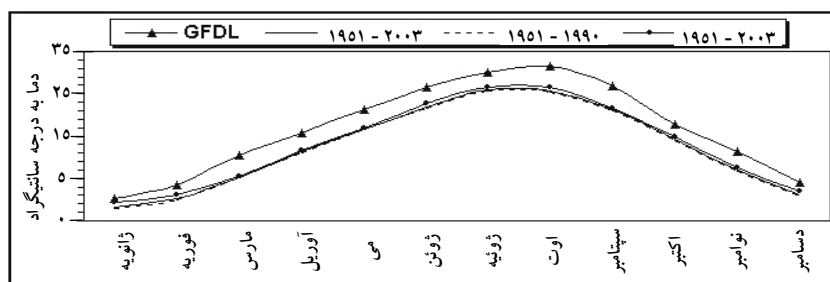
با استفاده از ضرایب حاصل از اجرای دو مدل GFDL و ECHAM4 تحت وضعیت دوبرابر شدن CO₂، داده‌های دما و بارش تبریز در بازه‌های زمانی مختلف محاسبه و برای مقایسه در جدول ۲ در کنار داده‌های دو بازه زمانی ۱۹۵۱-۱۹۹۰، ۱۹۵۱-۲۰۰۳ برای مقایسه با اقلیم فعلی و بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۳ برای بررسی اقلیم انتقالی درج شدند.

جدول ۲ مقادیر درجه حرارت و بارش فعلی و شبیه‌سازی شده از مدل‌های گردش جهانی در وضعیت دوبرابر شدن CO₂ جو

نوع برآورد		شبیه‌سازی مدل‌های گردش جهانی پیوندی								بازه‌های زمانی در نظر گرفته شده برای اقلیم فعلی
محاسبه		ECHAM 4 برآورد				GFDL برآورد				
عنصر		۱۹۹۰-۲۰۰۳		۱۹۵۱-۱۹۹۰		۲۰۰۳-۱۹۵۱				
		دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	
ژانویه	۲۴/۶	-۰/۱۷	۲۰	-۰/۱۲	۱۸/۳	-۰/۶	۲۳/۶	-۲/۲	۲۲/۱	-۱/۷
فوریه	۲۷/۱	۳/۶	۲۲	۳/۱	۱۳/۸	۱	۲۸/۲	-۰/۰۸	۲۴/۲	۰/۲
مارس	۲۷	۱۰/۵	۴۴	۹/۷	۳۲/۲	۵/۶	۴۴/۶	۵/۱۱	۴۱/۲	۵/۳
آوریل	۳۱/۶	۱۵/۶	۴۰	۱۳/۵	۴۹/۵	۱۱/۵	۵۲/۲	۱۱/۱	۵۱/۵	۱۱/۳
می	۳۷	۲۱/۴	۴۳	۲۰/۵	۳۸/۸	۱۶/۹	۴۳	۱۶/۵	۴۱/۹	۱۶/۶
ژوئن	۲۲/۸	۲۶/۴	۱۹	۲۵	۱۱/۵	۲۲/۸	۱۹/۳	۲۱/۶	۱۷/۳	۲۱/۹
ژوئیه	۱۳/۴	۳۰/۱	۱۱	۲۸/۸	۶/۷	۲۶/۴	۵/۳	۲۵/۷	۵/۶	۲۶
اوت	۱۴/۶	۳۱/۴	۱۰/۸	۳۰/۲	۲	۲۶/۵	۳/۸	۲۵/۴	۳/۳	۲۵/۷
سپتامبر	۱۵	۲۶/۸	۱۷/۶	۲۴/۲	۴/۷	۲۱/۷	۹	۲۱	۷/۹	۲۱/۲
اکتبر	۲۶/۲	۱۷/۹	۲۹/۴	۱۶/۸	۱۶/۳	۱۴/۹	۲۵/۲	۱۴	۲۳	۱۴/۳
نوامبر	۴۰/۹	۱۱/۳	۵۳	۱۰/۷	۲۶	۷/۵	۲۸/۸	۶/۸	۲۸/۱	۶/۹
دسامبر	۳۲/۵	۴	۴۰/۴	۲/۹	۲۴	۱/۹	۲۳/۷	/۸	۲۳/۷	۱
زمستان	۷۸/۷	۴/۷۵	۸۶	۴/۳	۶۴/۳	۶	۹۶/۴	۲/۸۳	۸۷/۵	۱/۲۶
بهار	۸۱/۴	۲۱/۱۳	۱۰۲	۱۹/۶۶	۹۹/۸	۱۷	۱۱۴/۵	۱۶/۴	۱۱۰/۷	۱۶/۶
تابستان	۴۳	۲۹/۳	۲۹/۴	۲۷/۷۳	۱۳/۴	۲۴/۹	۱۸/۱	۲۴	۱۶/۸	۲۴/۳
پاییز	۹۹/۶	۱۱/۰۶	۱۲۲/۸	۱۰/۱۳	۶۶/۳	۸/۱	۷۷/۷	۷/۲	۷۴/۸	۷/۴
سالانه	۳۰۲/۷	۱۶/۵۶	۳۴۰/۲	۱۵/۴۴	۲۴۳/۸	۱۴	۳۰۶/۷	۱۲/۶	۲۸۹/۸	۱۲/۳۹

۲-۳- نتایج مدل GFDL

برای درک تغییرات دمای فعلی در هر سه بازه زمانی نسبت به شبیه‌سازی مدل GFDL از وضعیت دما به هنگام دوبرابر شدن CO₂ جو، نمودارهای تغییرات ماهیانه، فصلی و سالیانه دما در شکل‌های ۳ و ۴ ترسیم و نشان داده شده است.



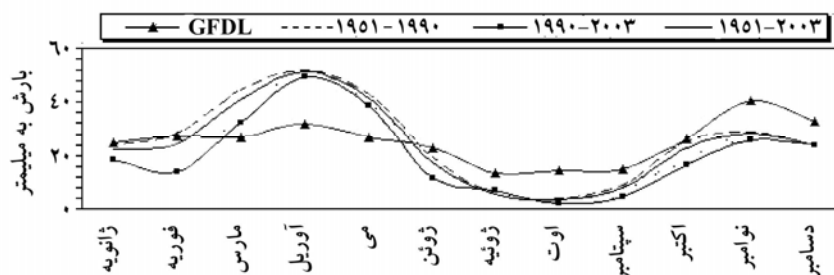
شکل ۳ مدل خطی تغییرات ماهیانه درجه حرارت فعلی و شبیه‌سازی شده از مدل GFDL



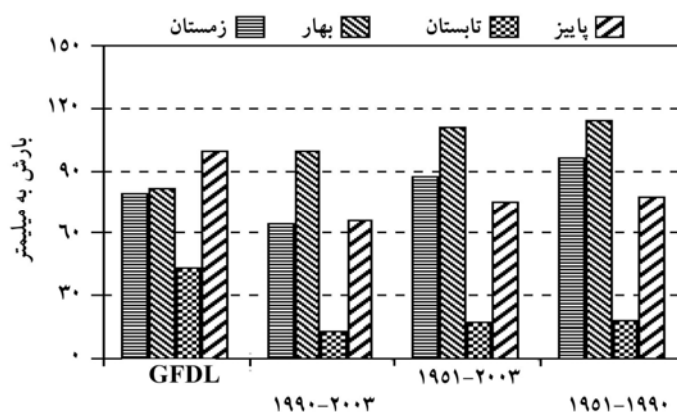
شکل ۴ نمودار ستونی تغییرات دمای فصلی و سالیانه فعلی نسبت به شبیه‌سازی مدل GFDL در وضعیت دوبرابر شدن CO₂ جو

با توجه به جدول ۲ و شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان به اثر دوبرابر شدن CO₂ جو در تغییر عنصر دما پی برد. جهت این تغییرات در کل ماههای سال مثبت بوده و با شدت و ضعفهایی - که در شکل ۵ قابل مشاهده است - رو به افزایش است.

برای مقایسه و نشان دادن تفاوت‌های ماهیانه، فصلی و سالیانه، سه بازه زمانی در نظر گرفته شده برای بارش در اقلیم فعلی، اقلیم انتقالی (گذار) و بارش شبیه‌سازی شده از مدل GFDL از نمودارهای ترسیمی در شکل‌های ۵ و ۶ استفاده شده است.



شکل ۵ مدل خطی تغییرات ماهیانه بارش فعلی در سه مقطع زمانی و شبیه‌سازی مدل GFDL در وضعیت دوبرابر شدن CO₂ جو



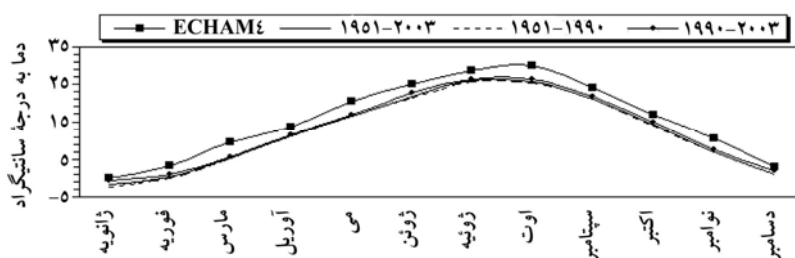
شکل ۶ تفاوت‌های فصلی بارش فعلی با بارش شبیه‌سازی شده از مدل GFDL

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل GFDL بیانگر افزایش دمای کل ماه‌های سال، فصول و افزایش بارش کل ماه‌های سال به استثنای سه‌ماهه مارس تا ماه می می‌باشد که تأثیر آن بر کاهش بارش بهاره بسیار مشهود است. افزایش بارش تابستانه نیز چشمگیر، اما در برابر

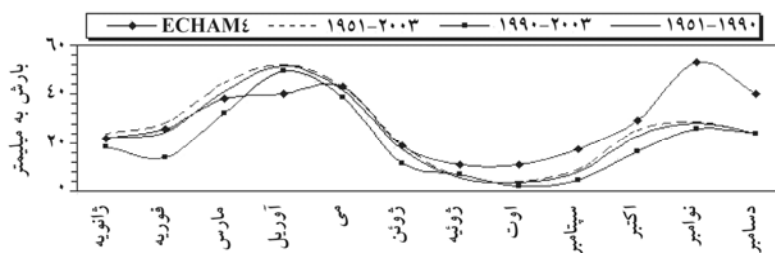
افزایش دمای ۳/۴۳ درجه سانتیگرادی، ناکافی به نظر می‌رسد.

۳-۳- نتایج مدل ECHAM

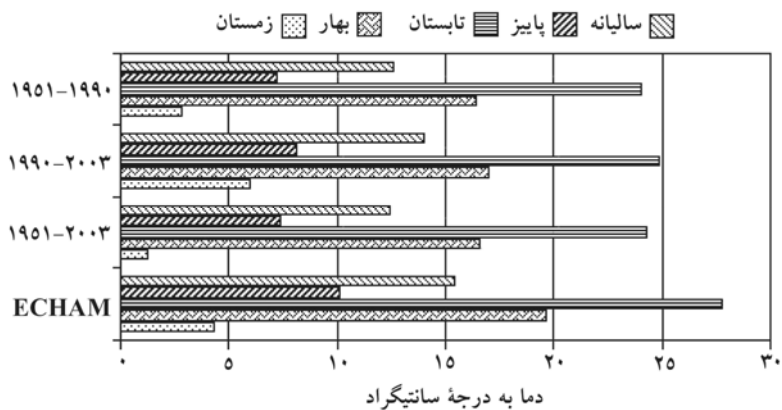
برای تبیین تغییرات مشاهده شده بین اقلیم فعلی و مقادیر برآورد شده از مدل ECHAM اقدام به ترسیم نمودارهای خطی تغییرات دما و بارش ماهیانه، فصلی و سالیانه در شکل‌های ۷-۱۰ شد. براساس شبیه‌سازی مدل ECHAM دمای کلیه مقاطع ماهیانه، فصلی و سالیانه افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهند داشت. همچنین این مدل پیش‌بینی کرده‌است که بارش ماههای ژانویه، فوریه و آوریل کاهش پیدا خواهند کرد. بر مبنای پیش‌بینی مذکور میزان دریافت بارش زمستانه بدون تغییر، بارش بهار با کاهش و بارش تابستانه و بویژه پاییزه با افزایش مواجه خواهند شد. درباره متوسط دما و بارش شبیه‌سازی شده در مقطع سالیانه، برآورد ۴/۱۷ درجه‌ای افزایش دما در مقابل افزایش ۵۰/۴ میلیمتری بارش نیز در نوع خود جالب توجه و بیانگر اقلیمی احتمالاً مرطوبتر می باشد.



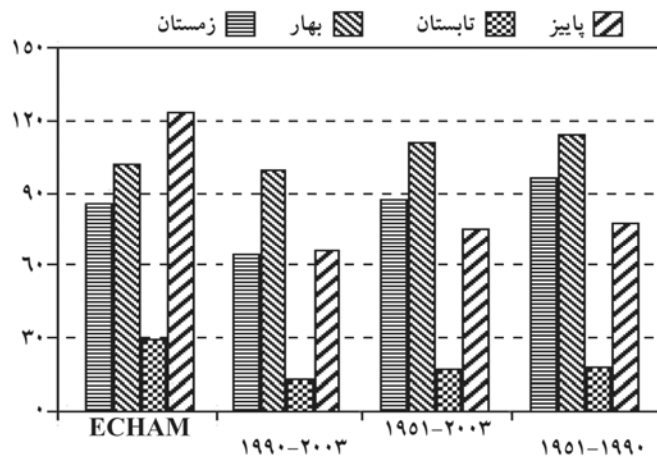
شکل ۷ مدل خطی تغییرات ماهیانه درجه حرارت فعلی و شبیه‌سازی شده از مدل ECHAM



شکل ۸ مدل خطی تغییرات ماهیانه بارش فعلی در مقاطع ماهیانه، فصلی، سالیانه و شبیه‌سازی شده از مدل ECHAM



شکل ۹ نمودار تغییرات دمای فصلی و سالیانه فعلی نسبت به شبیه‌سازی مدل ECHAM در وضعیت دوبرابر شدن CO₂ جو



شکل ۱۰ تفاوت‌های فصلی بارش فعلی با بارش شبیه‌سازی شده از مدل ECHAM

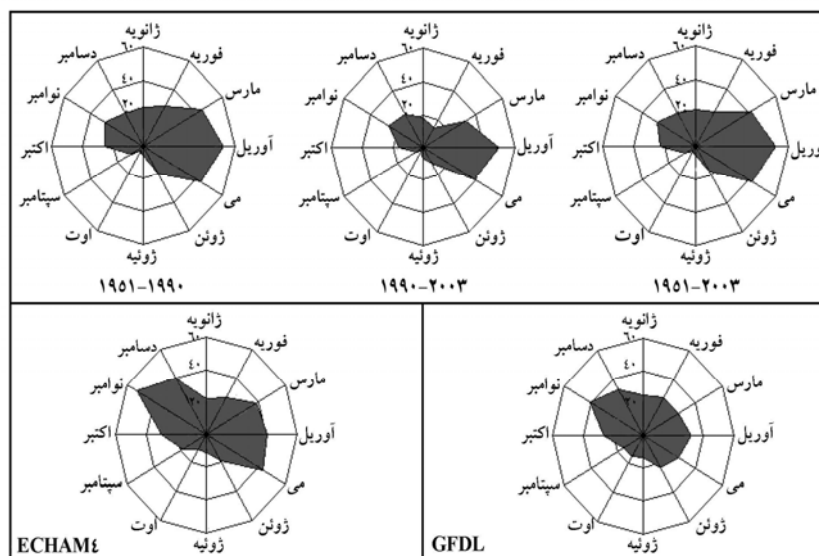
۳-۴- آشکارسازی تغییر اقلیم

یکی از مهمترین نشانه‌های تغییر اقلیم، تأثیرپذیری از پدیده آغاز سرد است. اختلاف بارز

دمای محاسبه شده در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۳ با داده‌های دو بازه زمانی ۱۹۵۱-۲۰۰۳ و ۱۹۵۱-۱۹۹۰ و همچنین نزدیکی نسبی ارقام محاسبه شده بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۳ به ارقام درجه حرارت ماهیانه شبیه‌سازی شده مبین اثر پدیده «آغاز سرد» و تأثیر «ساستار»^۱ تشعشعی بر اقلیم (دمای) تبریز است؛ از این رو، تغییر اقلیم تبریز تقریباً حتمی است، مگر اینکه روند افزایش گازهای گلخانه‌ای متوقف شود.

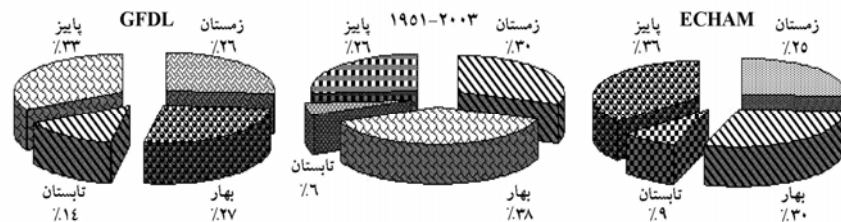
مدلهای قطبی بارش شبیه‌سازی شده ماهیانه تبریز (که تغییرات بارش را بسیار واضح نشان می‌دهند)، مبین این واقعیتند که در صورت دوبرابر شدن CO₂ جو، میزان بارش تبریز در ماههای مختلف سال دچار تغییرات زیادی خواهند شد (شکل ۱۱).

نکته بسیار مهمی که از مقایسه مقادیر فعلی و شبیه‌سازی شده فصلی بارش در هر دو مدل قابل مشاهده است، تغییر رژیم بارش تبریز از رژیم بهاری به رژیم پاییزی است (شکل ۱۲).



شکل ۱۱ نمودارهای قطبی بارش ماهیانه در بازه‌های زمانی فعلی و شبیه‌سازی شده از مدل‌های گردش جهانی پیوندی

۱. ساستار معادل Forcing انگلیسی است می‌توان از کلمه یا معادل «واداشت» نیز استفاده کرد.



شکل ۱۲ توزیع فصلی و تغییر رژیم بارش شبیه‌سازی شده از مدلها نسبت به دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۳ ایستگاه تبریز

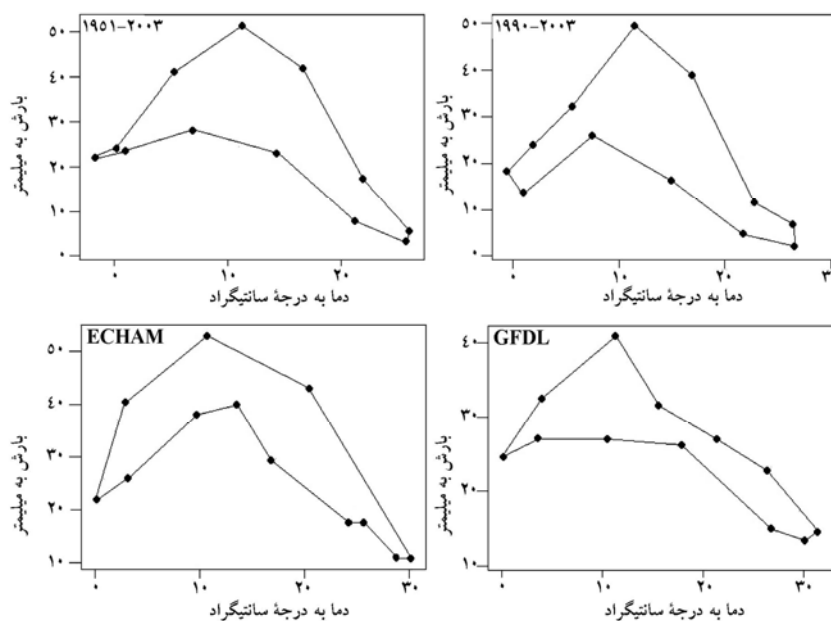
در مقایسه نتایج برآورد شده از مدلها، مدل GFDL نسبت به مدل ECHAM4 تغییرات بیشتری را در بارش تبریز پیش‌بینی کرده است.

با توجه به مقادیر دما، بارش فعلی و شبیه‌سازی شده براساس مدل‌های گردش جهانی در شرایط دوبرابر شدن مقدار گاز کربنیک جو، می‌توان نکات مهم ذیل را عنوان کرد:

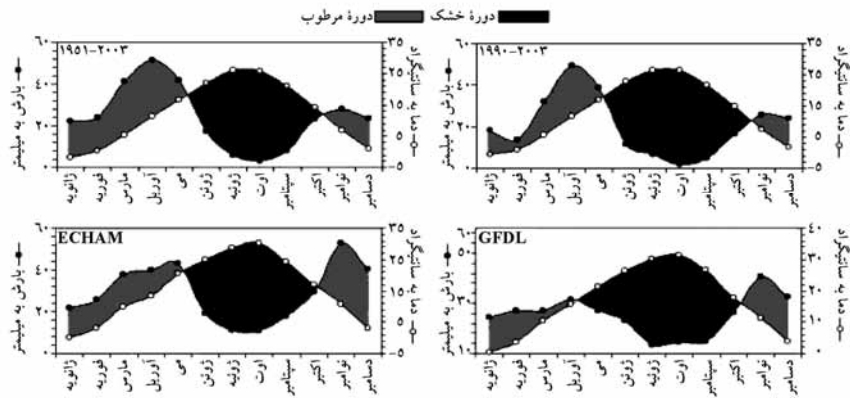
- ۱- متوسط دمای سالانه و کلیه فصول افزایش قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهند.
 - ۲- اثر ساستار مثبت دی‌اکسیدکربن جو در غالب پدیده آغاز سرد بر عناصر دما و بارش فصلی تبریز در وضعیت آمار بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۳ به خوبی منعکس شده است. برآورد مدلها از تغییرات دمای زمستان نیز بیانگر روند افزایشی دمای کلیه فصول مطابق با روند فعلی دمای تبریز (بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۳) می‌باشند؛
 - ۳- بارش ایستگاهها مانند دما از یک رابطه افزایش عمومی پیروی نمی‌کند. براساس پیش‌بینی هر دو مدل در صورت دوبرابر شدن CO₂ جو، بارهای پاییزی، تابستانی و سالانه افزایش و بارشهای زمستانی و بهاری کاهش خواهند یافت؛ با وجود تشابه در تغییرات زمانی بارش، میزان تغییر برآورد شده از شبیه‌سازی هر مدل، با همدیگر متفاوت می‌باشند.
- برای آشکارسازی تغییر اقلیم یا پی‌بردن به این مطلب که آیا دوبرابر شدن دی‌اکسید کربن جو با مقادیری که در شبیه‌سازی از مدلها پیش‌بینی شده است، می‌تواند یک تغییر اقلیم باشد یا نه؟ اقدام به ترسیم و مقایسه مدل‌های هایتروگراف (شکل ۱۳) آمپروترمیک (شکل ۱۴) و اقلیم‌نگاشت (کلیماگرام) (شکل ۱۵) ایستگاه تبریز شد.
- با توجه به مدل‌هایی ساخته شده برای اقلیم فعلی، اقلیم شبیه‌سازی شده و مقایسه آنها

می‌توان اذعان کرد که تغییر اقلیم نسبت به وضع فعلی در وضعیت دوبرابر شدن دی اکسید کربن جو روشن و حتمی است. با مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های آمبروترمیک، هایترگراف و کلیماگرام شبیه‌سازی شده و فعلی تبریز (خصوصاً بازه ۱۹۹۰-۲۰۰۳ که مرحله گذار به تغییر اقلیم محسوب می‌شود)، به نظر می‌رسد اقلیم ایستگاه تبریز به طریق شبیه‌سازی شده از مدل ECHAM4 در حال تغییر است. با توجه به قدرت تفکیک بیشتر مدل ECHAM4، تغییر اقلیم به شکل برآوردی مدل ECHAM4 محتمل‌تر می‌باشد.

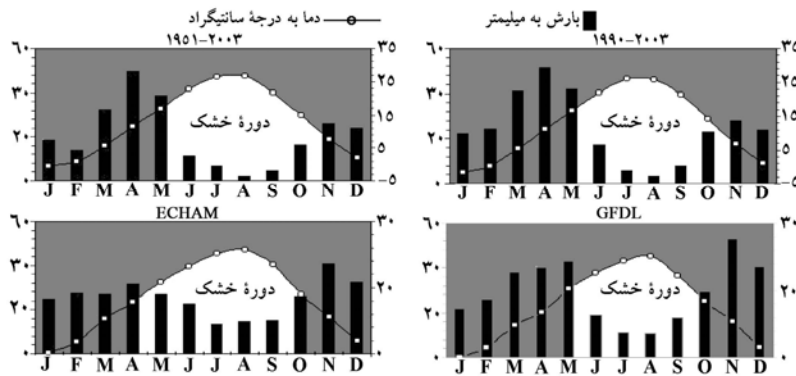
نتایج حاصل از شبیه‌سازی هر دو مدل استفاده شده مبین این واقعیت مهم است که جهت تغییرات دما در کلیه مقاطع زمانی مثبت و رو به افزایش می‌باشد؛ با توجه به اینکه عنصر دما در طول زمان تغییرات بسیار اندکی نسبت به سایر عناصر اقلیمی بویژه بارش دارد و در مقایسه نسبت افزایش دما و بارش فعلی و پیش‌بینی شده برای تبریز، متوجه شدت بسیار زیاد تغییرات افزایشی دما خواهیم شد. برای پی‌بردن به شدت این تغییرات کافی است تا



شکل ۱۳ مدل‌های مرکب اقلیم نگاشت- هایترگراف وضع فعلی و شبیه‌سازی شده تبریز از طریق مدل‌های GFDL



شکل ۱۴ مدل‌های آمبروترمیک فعلی و شبیه‌سازی شده تبری از طریق مدل‌های گردش جهانی GFDL و ECHAM۴



شکل ۱۵ مدل‌های اقلیم‌نگاشت (کلیماگرام) فعلی و شبیه‌سازی شده تبری در وضعیت دوبرابر شدن دی‌اکسیدکربن جو

مقادیر متوسط ماهیانه فعلی و پیش‌بینی شده ماهیانه با همدیگر مقایسه شود. نمودارهای آمبروترمیک و هایترگراف نیز تغییرات شدیدی را نشان داده‌اند.

۴- نتیجه گیری

شکی نیست که افزایش میزان CO₂ جو، وضعیت عادی اقلیم تبریز را به سوی بی نظمی سوق داده است که این وضعیت از دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۰۳ کاملاً مشهود است، اما اینکه تداوم روند افزایش CO₂ موجب تغییر اقلیم تبریز به طرزى که مدل‌های GFDL و ECHAM₄ پیش بینی کرده‌اند، خواهد شد یا نه؟ مسأله‌ای است که آینده به آن جواب خواهد داد. با توجه به اینکه مطابقت داده‌های دما و بارش فعلی در بازه ۱۹۹۰-۲۰۰۳ به عنوان مرحله گذار به اقلیم آتی، با شبیه‌سازی مدل ECHAM₄ بیشتر است، به نظر می‌رسد، نتایج مدل مذکور به واقعیت نزدیکتر باشد. دقت و قدرت تفکیک فضایی به مراتب بیشتر مدل ECHAM₄ نسبت به مدل GFDL نیز از دلایل اصلی اعتبار نتایج مدل ECHAM₄ می‌باشد.

در صورت تغییر اقلیم به وضعیتی که مدل‌های GFDL و ECHAM₄ برای تبریز بازسازی کرده‌اند، بخش کشاورزی و آب دچار بیشترین تغییرات خواهند شد. افزایش دی‌اکسیدکربن جو و درجه حرارت، رشد و نمو گیاهان زراعی و قدرت رقابت آنها را به طور شدیدی متأثر خواهد کرد که در این بین، افزایش فتوسنتز و تولید گیاهان سه‌کربنه (به‌علت کاهش تنفس نوری ناشی از افزایش گاز کربنیک جو) قابل انتظار است؛ افزایش تولید گیاهان سه‌کربنه به‌معنای بهبود توانایی رقابت آنها در برابر گیاهان چهارکربنه می‌باشد که این امر می‌تواند موجب تغییر الگوی کشت در اراضی کشاورزی تبریز و حومه شود. انتظار می‌رود که افزایش درجه حرارت و آثار آن موجب افزایش تولید و عملکرد گیاهان سه‌کربنه تبریز بویژه غلات گردد. افزایش دما می‌تواند موجب طولانی‌تر شدن فصل رویش تبریز شود. افزایش درجه حرارت روزانه نیز اثری مشابه افزایش طول روز بر گیاهان خواهد گذاشت. افزایش دما نامطلوبترین اثر تغییر اقلیم را که افزایش خشکی در تبریز است، به‌همراه خواهد آورد. اثر دما بر منابع آب از طریق تشدید تبخیر افزایش‌یافته و از کم و کیف منابع آب خواهد کاست. با توجه به اینکه بارش زمستانی به شکل برف عامل اصلی تغذیه منابع آب مناطق کوهستانی شمال غرب ایران (تبریز) است، تغییر اقلیم و افزایش دما می‌تواند شکل بارش را از برف به باران تبدیل کند. افزایش دمای زمستانی تبریز از تعداد و شدت روزهای یخبندان خواهد کاست، اما انتظار نمی‌رود که این امر موجب کاهش تلفات کشاورزی ناشی از یخبندان شود، زیرا تغییر اقلیم بنا به ماهیت خود همواره ناهنجاریهایی را نیز در توزیع زمانی درجه

حرارت‌های انتهایی (درجه حرارت‌های حداقل روزهای توأم با یخبندان و حداکثر) در ماه‌های منتهی به آغاز بهار به وجود خواهد آورد.

با اینکه نتایج مدل‌های گردش جهانی بسیار جنجال برانگیز و در معرض تغییر است؛ اما دانشمندان و برنامه‌ریزان پیش‌بینی مدل‌ها را جدی گرفته‌اند؛ از سوی دیگر، برای مطالعه و آشکارسازی مسأله تغییر اقلیم به روش‌های آماری نیاز به داده‌های دقیق و ثبت شده آماری در دوره‌های حداقل ۱۰۰ ساله است که محدودیتی مهم در کشور ما محسوب می‌شود. با توجه به محدودیت یادشده، در حال حاضر، تمسک به مدل‌های گردش جهانی پیوندی جوی-اقیانوسی تنها طریق پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در ایران محسوب می‌شود. برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی بر مبنای مدل‌های گردش عمومی نیز مشکلات و محدودیت‌های زیادی وجود دارد که از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به محدودیت ایجادشده به وسیله ممالک دارنده مدل‌ها که داده‌ها و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های واقع در ایران را در اختیار قرار نمی‌دهند، اشاره کرد. داده‌های ایستگاه تبریز به علت استفاده از آن در محاسبه تغییر اقلیم و برون‌یابی داده‌های شبکه اروپا در اکثر مدل‌ها لحاظ شده و معمولاً قابل دستیابی می‌باشد. این مسأله از آن جهت مطرح شد که با توجه به اعتبار فضایی مدل‌های استفاده‌شده در این مطالعه با تغییرات اندکی که علت آن تغییرات طول و عرض جغرافیایی است، می‌توان نتایج شبیه‌سازی شده برای ایستگاه تبریز را برای بخش وسیعی از منطقه شمال غرب ایران صادق دانست و نتایج به دست آمده را به کل منطقه شمال غرب ایران تعمیم داد.

۵- منابع

- [1] Jacobson M. Z.; Fundamentals of atmospheric modeling; Cambridge University Press, 2004.
- [2] McGuffie K., Sellers A. H.; A climate modeling primer ; 2d ed. John Wiley & Sons, 1997.
- [۳] رحیمی ن؛ تغییر آب و هوا و آثار زیست محیطی آن؛ نشر اخوان، تهران، ۱۳۸۳.
- [4] Thomas R.; Modern global climate change; Science, 302, 2003.
- [5] Christiansen A.C., Wettstad J.; The EU as a frontrunner on greenhouse gas

- emissions trading: How did it happen and will the EU succeed?; Climate Policy. 3, 2003.
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Climate change 2001: impacts, adaptation & vulnerability; Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
- [7] Smith K.; Environmental hazards; Rutledge Publications, New York, 2000.
- [8] Segal M.; Some assessments of the potential $2 \times \text{CO}_2$ climatic effects on water balance components in the eastern Mediterranean; Climatic Change, No. 27, 1994.
- [9] Lieshouta M. R., Kovats S.; Climate change and malaria: Analysis of the SRES climate and socio-economic scenarios; Global Environmental Change, No. 14 2004.
- [10] Kovats R.; Van Lieshouta S., Livermore M., McMichael M. T., Martens A. J.; Climate change and human health; Final Report to The UNEP, 2003.
- [11] Lin E. D.; Zhang H. X., Wang J. H.; Simulation of global climate change impact on China's agriculture ; China Agricultural Presses, Beijing. 1997.
- [12] Kelly D. C.; Malthus and climatic change: Betting on a stable population; Earth scan Publications Ltd., 2004.
- [13] Segal M.; Some assessments of the potential $2 \times \text{CO}_2$ climatic effects on water balance components in the eastern Mediterranean; Climatic Change, No. 27, 1994.
- [14] You M.; Assessment on soil water resources; Meteorological Publication House, Beijing, China, 1996.
- [15] Govindasmy B., Thompson S., Mirin A.; Increase of carbon cycle feedback with climate sensitivity: Results from a coupled climate and carbon cycle model; Tellus, 57B: 2005.

فصلنامه مدرس علوم انسانی ————— ویژه‌نامه جغرافیا، پاییز ۱۳۸۵

[۱۶] کوچکی ع: «بررسی آثار تغییر اقلیم بر خصوصیات زراعی محصولات ریشه‌ای در وضعیت تبریز»؛ مجموعه مقالات دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۷۸.

[۱۷] رحیمی ن: «آثار زیست محیطی بلند مدت گرمایش جهانی در ایران»؛ رساله دکتری مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران.

[۱۸] قویدل رحیمی ی: «شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش تبریز در وضعیت دوبرابر شدن دی اکسید کربن جو با استفاده از مدل گردش عمومی «مؤسسه مطالعات فضایی گودارد GISS»؛ مقاله پذیرفته شده در مجله پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.

[19] Manabe S., Stouffer R.; "Low frequency variability of surface air temperature in a 1000-year integration of a coupled atmosphere-ocean-land surface model"; *Journal of Climate*, No. 9, 1996.

[20] Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen J.; "The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate"; Max-Planck Institute for Meteorology Report, No. 218, Germany: Hamburg, 1996.