

شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش تبریز در شرایط دو برابر شدن دی‌اکسید کربن جو با استفاده از مدل گردش عمومی، مؤسسه مطالعات فضایی گودارد^۱ GISS

برومند صلاحی - استادیار دانشگاه محقق اردبیلی

خلیل ولیزاده کامران - مربی جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز

یوسف قویدل رحیمی* - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان

دریافت مقاله: ۱۳۸۳/۸/۱۸ تائید مقاله: ۸۵/۹/۲۹

چکیده

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 ماهانه دما و بارش ایستگاه هواشناسی تبریز در یک دوره آماری ۵۳ ساله از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ اثرات دو برابر شدن میزان CO_2 جو بر دما و بارش به عنوان مهم‌ترین عناصر اقلیمی شبیه‌سازی شده است. مدل‌های هایتروگراف و آمبروترمیک ترسیم برای تبریز مبنای تغییرات ماهانه عناصر اقلیمی دما و بارش در شرایط دو برابر شدن CO_2 جو هستند. با میانگین‌گیری داده‌های واقعی دما و بارش و داده‌های شبیه‌سازی شده ماهانه مقادیر فصلی عناصر مذکور شبیه‌سازی و مورد مقایسه قرار داده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی عناصر دما و بارش به روش GISS مبنای افزایش دمای تبریز در کلیه مقاطع ماهانه، فصلی و سالانه و کاهش بارش در ماه‌های فصول زمستان (فوریه و مارس) و بهار (آوریل و می) و افزایش آن در فصول تابستان، پائیز و نیز مقطع سالانه هستند. مدل هایتروگراف فعلی و شبیه‌سازی شده تبریز در شرایط دو برابر شدن CO_2 جو، تغییرات دما و بارش را مورد تأیید قرار داد. مدل‌های آمبروترمیک فعلی و شبیه‌سازی شده به وسیله مدل GISS نیز در مقایسه با هم نشانگر تغییر اقلیم (دما و بارش) در تبریز هستند. با توجه به مدل‌های آمبروترمیک و هایتروگراف ترسیم در این پژوهش، تغییر اقلیم تبریز در شرایط دو برابر شدن CO_2 به شکل کاهش مدت و شدت دوره سرد و کاهش روزهای همراه با یخبندان، کاهش بارش بهاره و زمستانی، تغییر بارش زمستانی از برف به باران، طولانی شدن دوره رشد گیاهان، افزایش دما و به تبع آن خشکی، به منصه ظهور خواهد رسید.

کلید واژه‌ها: شبیه‌سازی اقلیمی، تغییرات دما و بارش، مدل‌های گردش عمومی، مدل موسسه مطالعات فضایی گودارد GISS، تبریز.

مقدمه

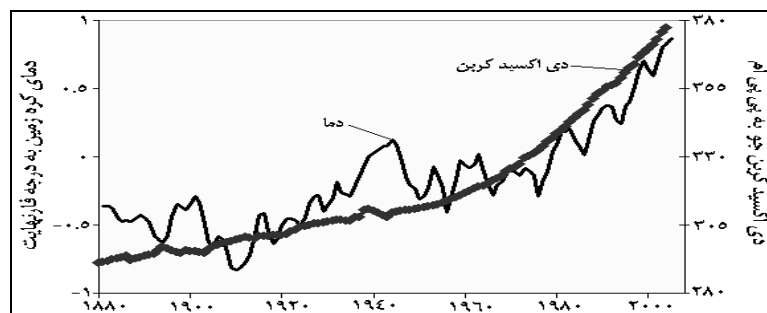
بیست و پنجم ژانویه سال ۲۰۰۵ میلادی، روزی است که در تاریخ بشر ثبت شده و به یاد خواهد ماند، زیرا در این روز برای نخستین بار یک گزارش رسمی بین‌المللی در سراسر جهان منتشر شد که جهانیان را مهیوت کرد. در

1-Goddard Institute of Space Studies(GISS)

E-mail: NeuralClimate@Yahoo.Co.Uk

*نویسنده مسئول ۰۹۱۴۳۰۴۰۱۷۰

این گزارش آمده که گرمای گلخانه‌ای - خطری که چندین سال است پیرامون آن هشدار داده می‌شود - سرانجام به مرحله جدی و آستانه انفجار خود رسیده است و بشریت می‌رود تا گام در یک فاجعه جهانی گذارد. آب و هوا و تغییرات اقلیمی نقش مهمی را در شکل دادن به محیط زیست، منابع طبیعی، ساختارهای زیربنایی، اقتصاد و دیگر جنبه‌های زندگی در تمام کشورهای جهان بازی می‌کند. پیش‌بینی می‌شود، تغییرات بالقوه‌ای که در آب و هوا و سیستم‌های زیست محیطی مربوط به آن از طریق انسان ایجاد می‌شود و گزینه‌هایی که برای تعدیل یا تخفیف این تغییرات پیشنهاد شده است، پی‌آمدهای مهمی در مسائل محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی در بر داشته باشد. CO_2 موثرترین عامل تغییر اقلیم است. روند رو به رشد CO_2 جو و اثر آن بر افزایش دمای کره زمین در گزارش چهارم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۷ در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ افزایش جهانی میزان CO_2 جو و اثر آن بر گرم شدن جهان (IPCC, 2007, p246)

شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی از زمان روی کار آمدن مدل‌های سه بعدی گردش عمومی در دو دهه آخر قرن ۲۰ متداول گردیده است. از بررسی‌ها و مطالعات انجام گرفته در سطح جهان که بتوان از آن‌ها به عنوان پیشینه تحقیق در این مطالعه نام برد می‌توان به: مطالعه Christiansen, 2003, 14 در مورد حساسیت‌های اقلیم نسبت به افزایش CO_2 ، کار Weiss et al, 2006, p 68 در مورد نقش تغییر اقلیم بر تغییرات بزرگ و مهم در کشاورزی و محیط زیست، نگرانی اقلیم‌شناسان پزشکی از دورنمای اقلیمی گرم و مرطوبی که برخی از مدل‌های گردش عمومی برای آینده پیش‌بینی کرده‌اند (Lieshouta et al, 2004, p91)، کار Kovats et al, 2003, p47 در مورد اثرات تغییر اقلیم بر بهداشت جوامع در معرض خطر، اثر افزایش CO_2 که موجب کاهش بازده گیاهان چهارکربنه در چین Lin et al, 1997, 61، اثرات هیدرولوژیک تغییرات اقلیمی در مناطقی مانند شرق مدیترانه Segal, 1994, p269، تنش خشکی و اتلاف رطوبت خاک که می‌تواند موجب کاهش تولید و عملکرد محصولات زراعی در حجم وسیع گردد (You, 1996, p126) و مطالعاتی از این دست را مورد اشاره قرار داد.

بررسی تغییر اقلیم در ایران مسئله‌ای جدید و نوپا است. در مطالعه‌ای که با استفاده از مدل OSBOL به منظور بررسی اثرات افزایش دی‌اکسید کربن بر تولید و بازده محصولات ریشه‌ای در شرایط اقلیمی تبریز انجام گرفته است، چنین نتیجه‌گیری شده است که افزایش CO_2 موجب افزایش بازده محصولاتی مانند سیب زمینی و چغندر

خواهد شد. بر اساس مطالعه یاد شده کاهش دوره رشد محصولات یاد شده به علت افزایش دما که همان اثرات افزایش طول روز را به همراه دارد، محتمل است (کوچکی، ۱۳۷۸، ۱۳ تا ۱۵).

کوچکی و همکارانش (۱۳۸۲، ۱۷۸) با استفاده از مدل گردش عمومی جوئی آزمایشگاه شاره های زمین فیزیکی موسوم به GFDL اقلیم ایران را در شرایط واقعی شبیه سازی نموده اند که نتیجه کار آن ها مبین افزایش دمای بهاره و تابستانه در شمال و غرب ایران و افزایش بارش پاییزه و زمستانه در کل ایران بوده است. نتایج مدل GFDL با استفاده از نتایج حاصله از مدل دقیق تر سازمان هواشناسی بریتانیا موسوم به UKMO که برای دو ایستگاه شاهد تبریز و مشهد اجرا شده بود، مورد تایید قرار گرفته است و این در حالی است که اجرای نسخه جدیدتر و پیوندی (ترکیبی جوی- اقیانوسی) مدل GFDL نتایج کاملاً متفاوتی را با نتایج مدل جوی که توسط کوچکی و همکاران مورد محاسبه قرار گرفته بود، نشان داده است. اجرای مدل پیوندی GFDL نشانگر کاهش بارش زمستانه و بهاره و تغییر شکل بارش زمستانه و افزایش بارش پاییزی و تابستانه به همراه افزایش دمای کل ماه ها و فصول سال برای ایستگاه تبریز بوده است (محمد خورشید دوست و قویدل رحیمی، ۱۳۸۵، ۱). نتایج مدل پیوندی GFDL با جزئیات بیشتر و دقیق تری با یک مدل بسیار دقیق تر با توان تفکیک بسیار بالاتر به نام مدل پیوندی جوی- اقیانوسی ECHAM4 (از مدل های مرکز تحقیقاتی هواشناسی ماکس پلانک در آلمان) مورد تایید قرار داده شده است (قویدل رحیمی، ۱۳۸۶، ۱). با توجه به این که اثر گازهای گلخانه ای روی ناهنجاری های دمایی کره زمین منعکس است وجود رابطه بین دما و بارش تبریز با ناهنجاری های دمایی کره زمین نیز می تواند نقش گرمایش گلخانه جهانی بر تغییرپذیری اقلیم تبریز را نشان دهد که در این رابطه ثابت شده است که دمای سالانه تبریز تقریباً بطور کامل تحت تاثیر گرمایش گلخانه ای قرار دارد (علیجانی و قویدل رحیمی، ۱۳۸۴، ۲۱). همین نتیجه برای ارتباط بارش سالانه تبریز با ناهنجاری های دمایی کره زمین نیز از طریق شبکه عصبی مصنوعی شبیه سازی شده است (قویدل رحیمی، ۱۳۸۶، ۴).

این مطالعه با هدف مطالعه و شبیه سازی اثرات دو برابر شدن CO_2 جو بر دو عنصر بسیار مهم اقلیمی دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز بر اساس اجرای «مدل موسسه مطالعات فضایی گودارد» واقع در ناسا، انجام گرفته است.

داده ها و روش ها

داده ها

در این مطالعه ۶ سری داده در سه گروه زیر مورد استفاده قرار گرفته اند:

۱- داده های 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: الف) سری اول از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳، ب) سری دوم از سال ۱۹۵۱ تا

سال ۱۹۹۰ (سال ظهور «آغاز» (شروع) سرد)^۱ (به طور قراردادی سال ۱۹۹۰ را مبداء واضح شروع گرم شدن زمین بر اثر گازهای گلخانه‌ای قلمداد و آن را سال شروع پدیده آغاز سرد می‌نامند، ج) سری سوم که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ (پس از ظهور پدیده آغاز سرد) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۲- داده‌های نقاط شبکه‌ای مربوط به برآورد مدل GISS که از طریق روش برون‌یابی (اکستروپولاسیون) به صورت ضریبی برای ایستگاه تبریز مورد محاسبه قرار گرفته است. داده‌های نقاط شبکه‌ای مدل GISS از ویرایش سال ۱۹۹۷ مدل اخذ و در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. برای محاسبه داده‌های نقاط شبکه بر اساس مدل GISS مختصات دقیق جغرافیایی ایستگاه به مدل داده می‌شود (در برخی مدل‌ها بجای مختصات جغرافیایی از شماره بین‌المللی ایستگاه استفاده می‌شود) و مدل ضریب تغییر هر ماه را به تفکیک ماه‌های میلادی محاسبه و بصورت خروجی ارائه می‌کند. مدل‌های دارای آرشیو آمار هواشناسی ایستگاه‌های بین‌المللی کره زمین، با دریافت مختصات یا شماره بین‌المللی ایستگاه، مستقیماً مقادیر شبیه‌سازی شده دما و بارش بر اساس سناریوی نشر و دو برابر شدن CO_2 را به عنوان خروجی ارائه می‌کنند.

۳- داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارش تبریز که از اعمال ضرایب برون‌یابی شده از نقاط شبکه‌ای مدل گردش عمومی GISS به متوسط ماهانه داده‌های فعلی دما و بارش به دست می‌آید. مثلاً بارش شبیه‌سازی شده سالانه $397/7$ میلی‌متر از اعمال ضریب $1/3728$ بر بارش متوسط سالانه تبریز در محدوده سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ که $289/7$ میلی‌متر است ($289/7 \times 1/3728 = 397/7$) مورد محاسبه قرار گرفته است.

روش‌ها

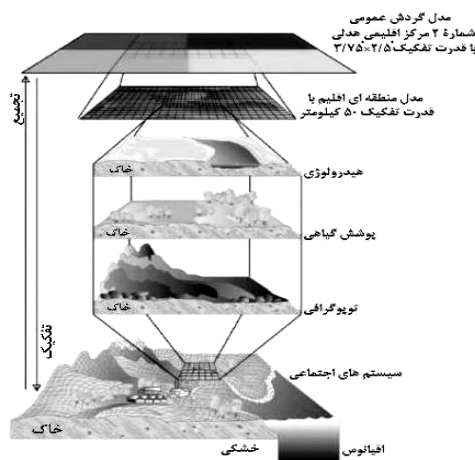
پس از اخذ داده‌ها از اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی و کنترل کیفی آن‌ها، اقدام به اعمال ضرایب حاصل از مدل به داده‌های متوسط ماهانه دما و بارش گردید. به این ترتیب داده‌های دما و بارش تبریز بر اساس مدل GISS شبیه‌سازی شد. پس از آماده شدن داده‌های ماهانه اقلیم فعلی و اقلیم آینده (شبیه‌سازی شده بر اساس مدل GISS) با استفاده از داده‌های ماهانه، متوسط‌های فصلی و سالانه عناصر دما و بارش برای اقلیم فعلی و پیش‌بینی (شبیه‌سازی) شده به روش GISS مورد محاسبه قرار گرفت و پس از آن اقدام به ترسیم مدل‌های گرافیکی آمبروترمیک و هایترگراف (اقلیم‌نگار یا همان کلیموگرام) برای مقایسه وضع فعلی و شبیه‌سازی شده دما و بارش تبریز گردید.

تعیین اثر دو برابر شدن دی‌اکسید 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 برای شبیه‌سازی تمام ویژگی‌های سه‌بعدی دستگاه اقلیم از ریشه‌های مشابهی تشکیل شده‌اند و به دلیل یاد شده مدل‌های مذکور تا به این زمان جامع‌ترین مدل‌های اتمسفر محسوب می‌شوند. مدل‌های گردش عمومی،

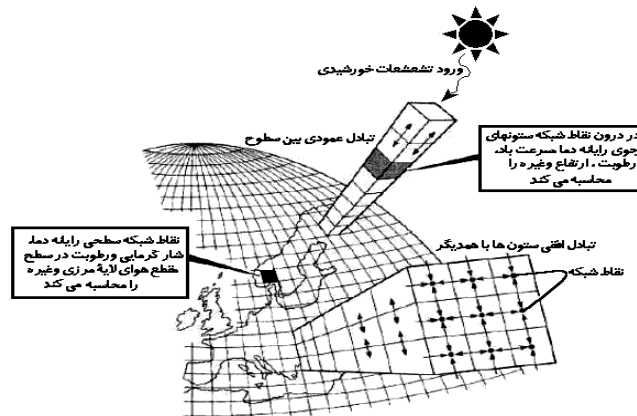
۱- آغاز سرد معادل واژه *Cold Start* که از واژه‌های کلیدی بحث تغییر اقلیم است، در نظر گرفته می‌شود. توضیح این پدیده طولانی و خارج از حوصله بحث است. برای آگاهی از پدیده مذکور و نقش آن در تغییرات اقلیمی کره زمین به ترجمه کتاب با ارزش کی مک‌گوفی و ان هندرسون سرلز (منبع شماره ۱۳) تحت عنوان «نخستین گام در مدسازی اقلیمی» ترجمه دکتر مسعودیان و غیور، از انتشارات دانشگاه اصفهان مراجعه شود.

معادلات اولیه را که بیانگر نحوه و اندازه حرکت و حفظ پهنه آب و بخار آن می باشند، تحلیل کرده و فرآیندهای فیزیکی مانند تشکیل ابر و انتقال رطوبت و گرما در جو و مابین جو و سطح زمین را تشریح می کنند. در مدل های مذکور وضعیت جو زمین در برخی از «نقاط شبکه» از یک شبکه منظم واقع بر روی زمین و سطوح مختلف جو، تعیین شده و سپس به کمک روش های عددی، معادلات اولیه در هر یک از نقاط شبکه حل می گردد. با وجود تعدد روش های موجود، کلیه مدل های گردش عمومی از یک روش زمانی پله ای و یک برنامه (اکسترپولاسیون) برون یابی بین نقاط شبکه استفاده می کنند.

در شکل ۲ یک مدل گردش عمومی با توان تفکیک $2/5^{\circ}$ عرض جغرافیایی در $3/75^{\circ}$ طول جغرافیایی به همراه لایه های عمودی آن و در شکل ۳ تصویر ساده شده ای از مدل گردش عمومی و نقاط شبکه برای نمونه نشان داده شده است.



شکل ۲ نمایشی از لایه های عمودی و مدل گردش عمومی شماره ۲ مرکز «هدلی» از MacIver, 2004, p96



شکل ۳ نمایش ساده شده ای از دینامیسم یک مدل گردش عمومی از McGuffie and Sellers, 1997, p51

GISS از مدل های دقیق (با قدرت تفکیک بالا) و از نوع تعادلی بوده و ابعاد هر جزء از شبکه آن برابر با $7/8^{\circ}$ عرض جغرافیایی در 10° طول جغرافیایی ($7/8 La^{\circ} * 10 Lo^{\circ}$) و دارای ۹ لایه عمودی است (Fletcher and Comins, 2004, p43).

در این مطالعه واحد کل اعداد مربوط به دما به درجه سانتی گراد و بارش به میلی متر بیان گردیده است.

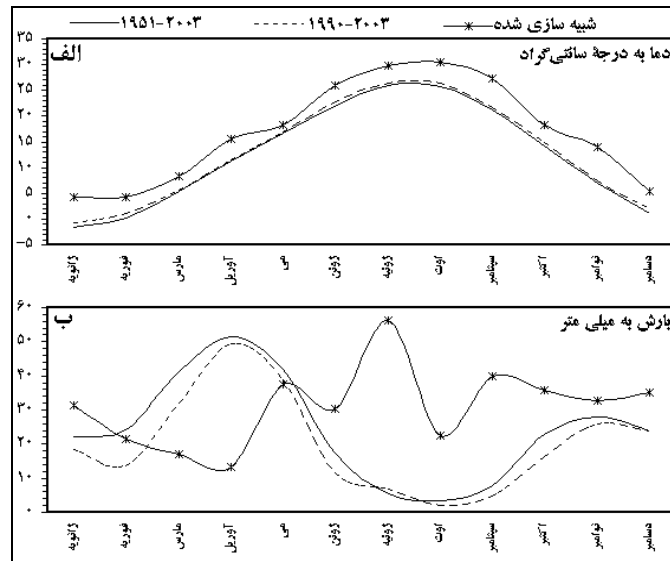
نتایج

در جدول ۱ داده‌های دما و بارش فعلی در سه بازه زمانی ۱۹۹۰-۱۹۵۱، ۲۰۰۳-۱۹۵۱ و ۲۰۰۳-۱۹۹۰ به صورت میانگین ماهانه در برابر ارقام حاصل از شبیه‌سازی مدل گردش عمومی GISS تنظیم و نشان داده شده است.

جدول ۱ مقادیر درجه حرارت و بارش فعلی و شبیه‌سازی شده از مدل GISS در صورت دو برابر شدن CO_2 جو

دوره زمانی		شبیه‌سازی GISS		۱۹۹۰-۲۰۰۳		۱۹۵۱-۱۹۹۰		۱۹۵۱-۲۰۰۳	
عنصر اقلیمی		دما		دما		دما		دما	
ژانویه	۳۱/۴	۴/۲۸	۱۸/۳	-۶	۲۳/۶	-۲/۲	۲۲/۱	-۱/۷	۲۲/۱
فوریه	۲۱/۶	۴/۲۵	۱۳/۸	۱	۲۸/۲	-۱/۸	۲۴/۲	۲	۲۴/۲
مارس	۱۶/۹	۸/۳۶	۳۲/۲	۵/۶	۴۴/۶	۵/۱۱	۴۱/۲	۵/۳	۴۱/۲
آوریل	۱۳/۳	۱۵/۶	۴۹/۵	۱۱/۵	۵۲/۲	۱۱/۱	۵۱/۵	۱۱/۳	۵۱/۵
می	۳۷/۴	۱۸/۲	۳۸/۸	۱۶/۹	۴۳	۱۶/۵	۴۱/۹	۱۶/۶	۴۱/۹
ژوئن	۳۰/۴	۲۶	۱۱/۵	۲۲/۸	۱۹/۳	۲۱/۶	۱۷/۳	۲۱/۹	۱۷/۳
ژوئیه	۵۶/۳	۲۹/۸	۶/۷	۲۶/۴	۵/۳	۲۵/۷	۵/۶	۲۶	۵/۶
اوت	۲۲/۶	۳۰/۴	۲	۲۶/۵	۳/۸	۲۵/۴	۳/۳	۲۵/۷	۳/۳
سپتامبر	۳۹/۸	۲۷/۴	۴/۷	۲۱/۷	۹	۲۱	۷/۹	۲۱/۲	۷/۹
اکتبر	۳۵/۹	۱۸/۲	۱۶/۳	۱۴/۹	۲۵/۲	۱۴	۲۳	۱۴/۳	۲۳
نوامبر	۳۲/۸	۱۴	۲۶	۷/۵	۲۸/۸	۶/۸	۲۸/۱	۶/۹	۲۸/۱
دسامبر	۳۵	۵/۵	۲۴	۱/۹	۲۳/۷	۱/۸	۲۳/۷	۱	۲۳/۷
زمستان	۹۴/۲	۵/۶۳	۶۴/۳	۶	۹۶/۴	۲/۸۳	۸۷/۵	۱/۲۶	۸۷/۵
بهار	۸۱/۱	۱۹/۹۳	۹۹/۸	۱۷	۱۱۴/۵	۱۶/۴	۱۱۰/۷	۱۶/۶	۱۱۰/۷
تابستان	۱۱۸/۷	۲۹/۲	۱۳/۴	۲۴/۹	۱۸/۱	۲۴	۱۶/۸	۲۴/۳	۱۶/۸
پائیز	۱۰۳/۷	۱۲/۵۶	۶۶/۳	۸/۱	۷۷/۷	۷/۲	۷۴/۸	۷/۴	۷۴/۸
سالانه	۳۹۷/۷	۱۶/۸۳	۲۴۳/۸	۱۴	۳۰۶/۷	۱۲/۶	۲۸۹/۸	۱۲/۳۹	۲۸۹/۸

برای درک بهتر تغییرات دمای فعلی در هر سه بازه زمانی نسبت به شبیه‌سازی مدل گردش عمومی GISS از شرایط دما به هنگام دو برابر شدن CO_2 جو، مدل خطی تغییرات در شکل ۴ ترسیم گردیده است. با توجه به جدول ۱ و شکل ۴ الف می‌توان به اثر دو برابر شدن CO_2 جو در تغییرات ماه به ماه عنصر اقلیمی دما پی برد. جهت این تغییرات در کلیه ماه‌های سال مثبت بوده و با شدت $(3/25^\circ)$ سانتی‌گراد معادل ۲۰۲۵٪ افزایش در ماه فوریه و ضعف‌هایی $(1/3^\circ)$ در ماه اکتبر، توأم خواهد بود (مقایسه بر مبنای اختلاف عددی داده‌های شبیه‌سازی شده نسبت به متوسط ۵۳ ساله (از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳) ماهانه عناصر دما و بارش انجام گرفته است).



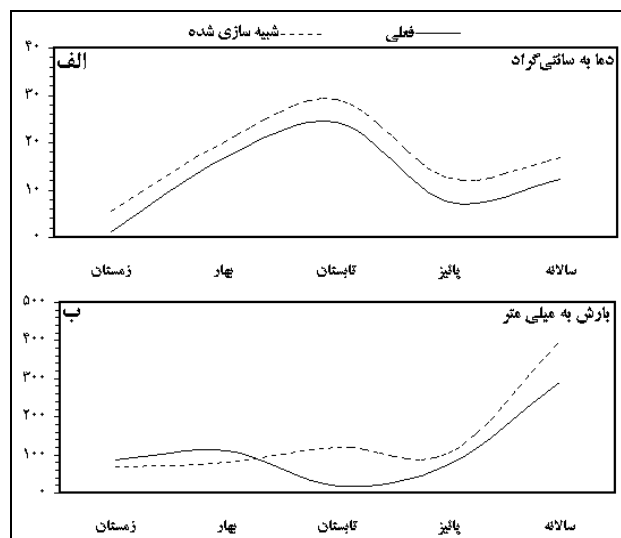
شکل ۴ مدل خطی تغییرات ماهانه درجه حرارت (الف) و بارش (ب) فعلی و شبه سازی از مدل GISS

اختلاف بارز ارقام محاسبه شده در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ با داده های محاسبه شده در دو بازه زمانی ۱۹۵۱-۲۰۰۳ و ۱۹۹۰-۱۹۵۱ و همچنین نزدیکی نسبی ارقام محاسبه شده بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ به ارقام درجه حرارت ماهانه شبه سازی شده مبین وجود پدیده «آغاز سرد» و تأثیر «ساستار» تشعشی بر اقلیم (دمای) ایستگاه تبریز است.

مقادیر شبه سازی شده بارش ماهانه تبریز نیز مبین این واقعیت هستند که در صورت دو برابر شدن CO_2 جو، میزان بارش تبریز در ماه های مارس، آوریل و می کاهش و در بقیه ماه های سال خصوصاً در ۶ ماهه دوم سال از ژوئیه تا دسامبر افزایش خواهد یافت (با مبنا قرار دادن مقادیر بارش ۵۳ ساله ۱۹۵۱-۲۰۰۳) اوج افزایش در ماه ژوئیه با ۹۰۵/۳٪ افزایش و شدیدترین کاهش در ماه آوریل با ۷۵٪ کاهش به وقوع خواهند پیوست.

به منظور نشان دادن میزان اختلاف بین بارش شبه سازی شده و مقادیر فعلی بارش مدل خطی تغییرات بارش در شکل ۴ ب ترسیم گردیده است. پدیده آغاز سرد و ساستار مثبتی که گاز کربنیک بر سیستم اقلیمی وارد کرده در شکل ۴ ب 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 داده های میانگین ماهانه، مقادیر فصلی و سالانه عناصر دما و بارش فعلی و شبه سازی شده بر اساس مدل GISS مورد محاسبه قرار گرفته و به منظور مقایسه، در جدول ۱ در کنار همدیگر درج گردیده اند. به منظور روشن تر شدن تغییرات بارش فعلی و پیش بینی شده فصلی و سالانه و مقایسه نحوه تغییرات فصلی و سالانه دما و بارش، مدل خطی تغییرات سری دما و بارش نیز ترسیم و در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ مقایسه تغییرات فصلی عناصر دما (الف) و بارش (ب) فعلی و پیش‌بینی شده تبریز بر اساس مدل GISS

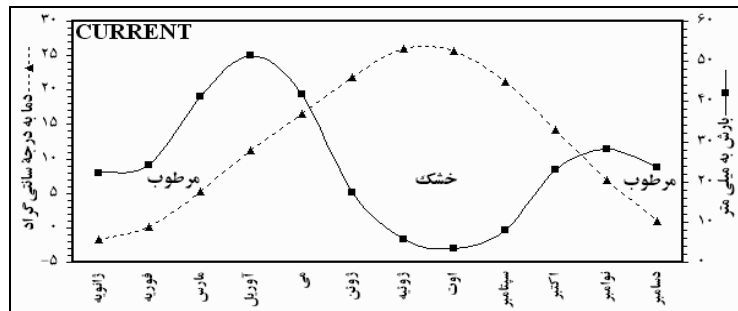
با عنایت به جدول ۱ و شکل ۵ و با در نظر گرفتن مقادیر دما و بارش فعلی و شبیه‌سازی شده بر اساس مدل GISS برای آینده‌ای با میزان دی‌اکسید کربن معادل دو برابر وضع موجود، می‌توان نکات مهم ذیل را عنوان نمود:

۱- دمای کلیه فصول افزایش قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهند که بیشترین افزایش مربوط به فصل زمستان و کمترین افزایش برای بهار پیش‌بینی شده است. افزایش درجه حرارت پیش‌بینی شده برای دیگر فصول به ویژه برای فصل پاییز و مهم‌تر از همه فصول برای مقطع زمانی سالانه نیز قابل توجه است.

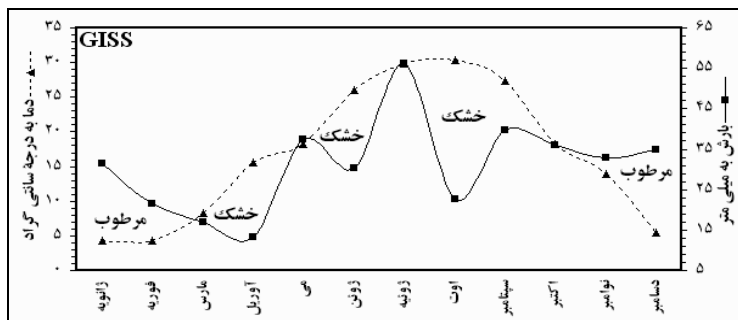
۲- اثر ساستار مثبت دی‌اکسید کربن جو در غالب پدیده آغاز سرد بر عناصر دما و بارش فصلی تبریز در آمار بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۳ که مرحله گذر از اقلیم فعلی به تغییر اقلیم محسوب می‌شود، به خوبی منعکس شده است.

۳- بارش ایستگاه‌ها مانند دما از یک رابطه افزایش عمومی در کلیه فصول و سال پیروی نمی‌کند. براساس داده‌های پیش‌بینی شده در صورت دو برابر شدن گاز کربنیک جو، بارش‌های پائیزی، تابستانی و تا حدودی سالانه افزایش و بارش‌های زمستانی و بهاری کاهش خواهند یافت. بیشترین افزایش به نسبت بارش بلند مدت فصلی و بارش شبیه‌سازی شده در فصل تابستان و بیشترین کاهش بارش برای فصل بهار محاسبه گردیده است.

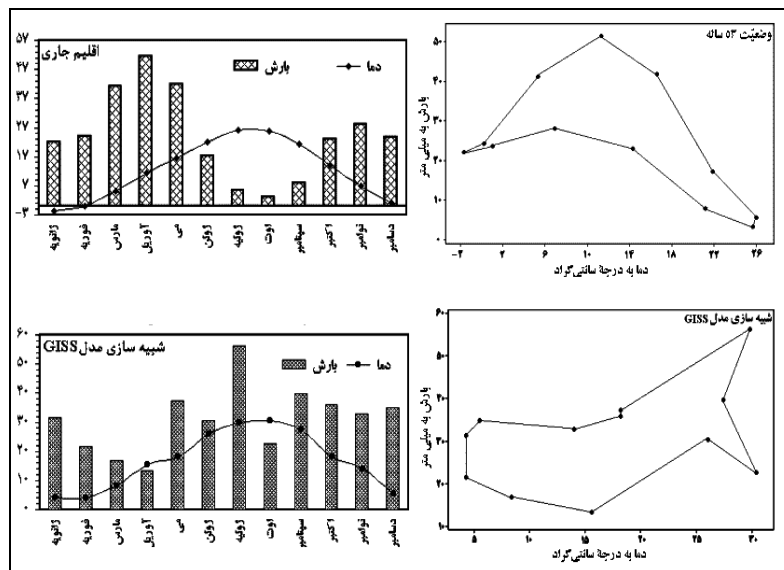
برای پی بردن به این مطلب که آیا دو برابر شدن دی‌اکسید کربن جو با مقادیری که در شبیه‌سازی پیش‌بینی گردیده است، می‌تواند یک تغییر اقلیم باشد یا نه؟ اقدام به ترسیم و مقایسه مدل‌های آمبروترمیک و اقلیم‌نگاشت یا کلیماگرام (با کمی تغییر همان نمودار هایتروگراف است) ایستگاه تبریز در اشکال ۶ تا ۸ گردید.



شکل ۶ مدل آمبروترمیک برای نمایش وضعیت اقلیم تبریز در ۵۳ سال گذشته (۱۹۵۱-۲۰۰۳)



شکل ۷ مدل آمبروترمیک برای نمایش وضعیت اقلیم تبریز در صورت دو برابر شدن CO_2 جو در سال ۲۰۳۰



شکل ۸ اقلیم نماها و هایترگراف های وضع فعلی (۱۹۵۱-۲۰۰۳) و شبیه سازی شده تبریز (در صورت دو برابر شدن CO_2 جو) که بر اساس مدل GISS با فرض ادامه روند فعلی افزایش CO_2 به ازای یک درصد در هر سال پیش بینی شده است.

با توجه به مدل های ساخته شده برای اقلیم فعلی و اقلیم شبیه سازی شده و مقایسه آن ها که در شکل های ۶ تا ۸ نشان داده شده است، می توان 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

پیش بینی شده از مدل GISS 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 ۲ درج گردیده است. نتایج جدول ۲ بیانگر این واقعیت مهم هستند 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) و نیمی از فصول و همچنین مقطع سالانه تغییرات بارش نیز مثبت است. با توجه به این که عنصر دما در طول زمان تغییرات بسیار اندکی نسبت به سایر عناصر اقلیمی خصوصاً بارش دارد و در مقایسه نسبت افزایش دما و بارش فعلی و پیش بینی شده برای تبریز، متوجه شدت زیاد تغییرات افزایشی دما خواهیم شد. برای پی بردن به شدت این تغییرات کافی است مقادیر متوسط ماهانه فعلی و پیش بینی شده ماهانه را با هم دیگر مقایسه کنیم.

جدول ۲ جهت و نسبت (درصد) تغییرات اقلیم (دما و بارش) شبیه سازی شده در صورت دو برابر شدن CO_2 جو

عامل	شبیه سازی GISS		۱۹۵۱-۲۰۰۳		جهت تغییر عنصر		درصد تغییر	
	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما
مقطع زمانی								
ژانویه	۳۱/۴	۴/۲۸	۲۲/۱	-۱/۷	+	+	۴۲	۱۵۱/۷
فوریه	۲۱/۶	۴/۲۵	۲۴/۲	/۲	-	+	۱۰/۷۵	۲۰/۲۵
مارس	۱۶/۹	۸/۳۶	۴۱/۲	۵/۳	-	+	۳۹/۶۷	۵۷/۷
آوریل	۱۳/۳	۱۵/۶	۵۱/۵	۱۱/۳	-	+	۳۲۰/۲۵	۳۸
می	۳۷/۴	۱۸/۲	۴۱/۹	۱۶/۶	-	+	۱۰/۷۴	۹/۶
ژوئن	۳۰/۴	۲۶	۱۷/۳	۲۱/۹	+	+	۷۵/۷	۱۸/۷
ژوئیه	۵۶/۳	۲۹/۸	۵/۶	۲۶	+	+	۹۰۵/۳	۱۴/۶
اوت	۲۲/۶	۳۰/۴	۳/۳	۲۵/۷	+	+	۵۴۸/۸	۱۸/۳
سپتامبر	۳۹/۸	۲۷/۴	۷/۹	۲۱/۲	+	+	۴۰۳/۸	۲۹/۲
اکتبر	۳۵/۹	۱۸/۲	۲۳	۱۴/۳	+	+	۵۶	۱۰/۵
نوامبر	۳۲/۸	۱۴	۲۸/۱	۶/۹	+	+	۱۰۲/۹	۱۰۲/۹
دسامبر	۳۵	۵/۵	۲۳/۷	۱	+	+	۱۶/۷	۴۵۰
زمستان	۶۹/۹	۵/۶۳	۸۷/۵	۱/۲۶	-	+	۲۰/۱۲	۴۴۷
بهار	۸۱/۱	۱۹/۹۳	۱۱۰/۷	۱۶/۶	-	+	۲۶/۷۴	۲۰
تابستان	۱۱۸/۷	۲۹/۲	۱۶/۸	۲۴/۳	+	+	۶۰۶/۵	۲۰/۱۶
پائیز	۱۰۳/۷	۱۲/۵۶	۷۴/۸	۷/۴	+	+	۳۸/۶۳	۶۹/۷
سالانه	۳۹۷/۷	۱۶/۸۳	۲۸۹/۸	۱۲/۴	+	+	۳۷/۲۳	۳۵/۸

بحث و نتیجه گیری

نتایج این تحقیق مبین آن است که دو برابر شدن دی اکسید کربن جو موجب تغییر اقلیم تبریز خواهد شد که این تغییر به صورت افزایش دمای کل ماه های سال و در نتیجه افزایش دمای فصول چهارگانه به ویژه زمستانه با ۴۴۷ درصد افزایش و ۳۵/۸ درصد افزایش دمای سالانه و همچنین کاهش بارش های پر اهمیت زمستانه و بهاره پیش بینی شده است. و این در حالی است که پیش بینی مدل برای بارش های پاییزی و تابستانه مثبت و افزایشی

بوده است. شبیه سازی مقادیر دما و بارش نشانگر افزایش دما و بارش تبریز در اکثر مقاطع زمانی هستند که نتیجه مذکور صرف نظر از مقدار افزایش، در راستا و همسو با شبیه سازی های انجام گرفته با مدل های گردش عمومی پیوندی جوی- اقیانوسی و شبکه های عصبی مصنوعی است. علت این که مقادیر پیش بینی مدل نسبت به مدل های دیگر کمی متفاوت و بیشتر است مربوط به سناریوی افراطی مدل است که بر مبنای افزایش سالانه ۲ درصد دی اکسید کربن تنظیم شده در حالی که مدل های دیگر بر مبنای افزایش سالانه ۱ درصد دی اکسید کربن اقدام به شبیه سازی می کنند. انتظار می رود بخش کشاورزی و منابع آب در صورت تغییر اقلیم به شرایطی که مدل GISS برای تبریز بازسازی نموده است، دچار بیشترین تغییرات شوند. افزایش دما می تواند موجب طولانی تر شدن فصل رشد و نمو در تبریز شود. افزایش دمای روزانه نیز اثری مشابه افزایش طول روز بر گیاهان خواهد گذاشت. افزایش درجه حرارت و اثرات آن موجب افزایش تولید و عملکرد گیاهان سه کربنه تبریز به ویژه غلات خواهد شد. افزایش دما نامطلوبترین اثر تغییر اقلیم را که افزایش خشکی در تبریز است به همراه خواهد آورد. اثر دما بر منابع آب از طریق تشدید تبخیر افزایش یافته و از کم و کیف منابع آب خواهد کاست. تغییر اقلیم و افزایش دما می تواند شکل بارش زمستانی تبریز را از برف به باران تبدیل نماید.

منابع

۱. کوچکی، ع، (۱۳۷۸): بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات زراعی محصولات ریشه ای تحت شرایط تبریز، مجموعه مقالات دومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۷۸، تهران، صفحه ۱۸-۹.
۲. کوچکی، ع، نصیری محلاتی، م، سلطانی، الف، شریفی، ح، کمالی، غ و پ رضوانی مقدم، ۱۳۸۲: شبیه سازی تغییرات آب و هوایی ایران در شرایط دوبرابر شدن غلظت CO_2 به وسیله مدل های گردش عمومی، بیابان، ۱۹۱-۱۷۸ (۲): ۸
۳. علیجانی، بهلول، قویدل رحیمی، یوسف، (۱۳۸۴)، مقایسه تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری های دمایی کره زمین با استفاده از روش های رگرسیون خطی و شبکه عصبی، جغرافیا و توسعه، ۳۸-۲۱: ۶.
۴. قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۶)، ارزیابی حساسیت پذیری دما و بارش تبریز به افزایش دی اکسید کربن جو با استفاده از مدل های گردش جهانی پیوندی جوی - اقیانوسی، پذیرفته شده در مجله انسانی مدرس.
۵. قویدل رحیمی، ی، (۱۳۸۶)، بررسی رابطه تغییرات بارش سالانه تبریز با ناهنجاری های دمایی کره زمین و شبیه سازی عددی آن با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، پذیرفته شده در مجله انسانی مدرس.
۶. محمدخورشید دوست، ع و ی، قویدل رحیمی، (۱۳۸۵)، شبیه سازی اثرات دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از مدل گردش عمومی GFDL، مجله محیط شناسی دانشگاه تهران، ۱۰-۱: ۳۹.

7. Christiansen, A. 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.
8. Fletcher, S; H. Comins. 2004. Globale climatic change as forecast by the general circulation models. International institute for applied systems analysis, Lunenburg. 151pp.
9. Kovats, R; S. van Lieshout; M. Livermore; M. McMichael; A. Martens. 2003. Climate change and human health. Final report to the UNEP. 68pp.

10. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007: Climate change 2007: IPCC 4th Assessment Report on. Cambridge University Press, Cambridge. 438pp.
11. Lieshouta, M; R. Kovats; P. Martens. 2004. Climate change and malaria: analysis of climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14: 87-99.
12. Lin, E. D; H. Zhang; H. Wang. 1997. Simulation of global climate change impact on China's agriculture. China Agricultural Presses, Beijing. 54-87.
13. MacIver, D. 2004. General circulation models and environmental science. *Environmental Monitoring and Assessment* 65: 93-100.
14. McGuffie, K; A. Henderson-Sellers. 1997. A climate modeling primer. 2d ed. John Wiley and Sons, 253 pp.
15. Segal, M. 1994. Some assessments of the potential 2 x CO₂ climatic effects on water balance components in the eastern Mediterranean. *Climatic Change*, 27: 351-371.
16. Weiss, A; P. Dhungana; M. Eskridge; S. Baenziger. 2006. Designing crop technology for a future climate: An example using response surface methodology and the CERES-Wheat model. *Agricultural Systems* 87: 63-79.
17. You, M. 1996. Assessment on soil water resources, Meteorological Publication House. Beijing, China, pp. 119 -138.