دکتر علی محمدخورشیددوست[1]
یوسف قویدل[2]

مقدمه ای بر اصول فلسفی، نظریه‌ها و مفاهیم نوین آب و هواشناسی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

چکیده :

دراین مقاله اصول فلسفی و مفاهیم نوین آب وهواشناسی و نظریات مربوط به تغییرات «نظام اقلیمی»[3] مورد مطالعه قرارگرفته است. بنیان فلسفی آب وهواشناسی به عنوان هدف اصلی این مقاله، شامل بحث درباره‌ی چهارچوب‌های نظری، سرمشق‌ها و دیدگاه‌های متفاوت رایج درزمینه‌ی مدل‌سازی اقلیمی است. نقش اساسی به مباحثی چون اصول و ماهیت مدل سازی تغییرات اقلیمی و روش شناسی دانش آب وهواشناسی داده شده است.

---

۱ - عضو هیأت علمی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز و مدیر کل حفاظت محیط زیست استان اردبیل
۲ - کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی

3-Climate system

کلمات کلیدی: *فلسفه‌ی آب وهواشناسی ، نظریات و مفاهیم اقلیم شناسی نوین، پارادایم اقلیم شناسی، مدل‌سازی اقلیمی.*

مقدمه

اخیراً مباحث فلسفی توجه بسیاری را در محافل اقلیم شناسی به خود معطوف داشته است (شاکلی و یانگ، ۱۹۹۸). وانمود سازی تغییرات اقلیمی نیز که تردیدهای فراوانی را در محافل متخصصان اقلیم شناسی برانگیخته و بحث‌هایی بسیار جدی را در مورد روش شناسی تغییرات اقلیمی مطرح کرده، در صدر مسایل فلسفی مورد بحث قرار گرفته اند. از نظر اجتماعی و علمی علاقه‌ی شدیدی برای مطالعه‌ی سازمان یافته‌ی روش شناختی که در وانمود سازی اقلیمی بویژه مدل سازی تغییرات اقلیمی به کار گرفته شده، به وجود آمده است. بحث در مورد برخی از مسایل روش شناختی و ادبیات جاری که موضوع‌های مورد بحث را از بعد طبقه بندی فلسفی علوم آب و هواشناسی در صف مقدم موضوع‌هایی که بیشتر در خور مطالعات نظام یافته تری هستند؛ مورد توجه قرارداده است. این مقاله مقدمه ای بر فلسفه‌ی علوم آب و هواشناسی است و انتظار می رود موضوع پیوستگی علوم آب وهوا و فلسفه‌ی علوم به عنوان سوژه ای بسیار مهم و حیاتی در دهه‌ی آتی توسعه یابد. این امر هم برای توسعه‌ی فلسفی علوم و هم برای ارزیابی ارتباط بین خط مشی شبیه سازی اقلیمی با بروز حالت‌های بحرانی در اقلیم (ارتباط بین شبیه سازی‌های رایانه ای اقلیم یا مدل‌هایی که با توجه به آنها ساخته شده اند، مشاهده‌ها و پایش‌های اقلیمی، تجارب آزمایشگاهی و میدانی و فرایندهای خاص اقلیمی است) ضروری می باشد.

از نظر پیش بینی عددی، تاریخچه‌ی علوم اقلیم شناسی، ارتباطی اجتناب ناپذیر با تاریخچه‌ی علوم رایانه‌ی دارد. این ارتباط عمیق و قوی دو دلیل اساسی دارد : اولاً توسعه‌ی آرام ریاضیّات همیشه نیروی محرکه‌ی اصلی علوم بوده است. ثانیاً: وانمود سازی مهمّ ترین جزء ترکیبی علوم آب وهواشناسی است، زیرا آزمون واقعی فرایندهای اقلیمی به صورت

همـزمان و یک جا (همان گونه که در طبیعت روی می دهند) غیر ممکن است (هامفری،۱۹۹۷). شـبیه سـازی آب و هـوا بعـد از ظهور اولین مدل‌های سه بعدی گردش عمومی جوّ، که در سـال‌هـای دهـه‌ی۱۹۵۰مـیلادی روی داد، بـه سـرعت پیشـرفت کرده است. ازآن زمان به بعد مدل‌های سه بعدی گردش عمومی جوّ در تفکیک فضایی و زمانی، حالت‌های مختلف فرایندها وپدیده‌های اقلیمی، توسعه‌ی بیشتری یافته، درحال حاضر نیز درحال پیچیده تر شدن هستند. در طـول مـدت ایـن پیشرفت، فرایندهای اقیانوسی و اندرکنش (یا تعامل) آن با اتمسفر نیز در مدل‌های گردش عمومی وارد شده است.

درکشـور مـا اغلـب تحقـیقات اقلیم شناسی درخلاء فلسفی انجام می گیرد. گواه این مدعـا اسـتفاده‌ی مسـتمر از میانگیـن بـرای تشـریح و طبقه‌بندی عناصر اقلیمی، بویژه در بحث تفکـیک دوره‌هـای خشک ازدوره‌های مرطوب بر اساس روش‌های مبتنی بر بارش می باشد و ایـن درحالـی است که از چندین سال پیش میانگین، اهمیت سابق خود را درتحقیقات اقلیمی، بویـژه در زمینه‌ی مطالعه‌ی بارش و خشک سالی ازدست داده است. این مقاله کوششی برطرح مسـایل و مباحـث فلسـفی، تبییـن نظـریات و چهـارچوب‌های فکری و اساسی مورد مباحثه و مفاهـیم جدیـد در اقلـیم شناسـی بـا تأکید بر نارسائی‌ها و چالش‌های روش شناختی در مدل سـازی و وانمـود سـازی در تغییریابـی سیستم آب و هوا است . بخش‌هایی از کشور ما (مانند منطقه‌ی‌شمال غرب) بر اساس پیش بینی مدل‌های گردش عمومی جوّ درصورت ادامه‌ی روند افـزایش مقـدار گـاز کربنـیک در معـرض تغیـیرات شـدید دمـا و بارش قرار خواهند گرفت (خورشیددوسـت و قویـدل رحیمـی، ۱۳۸۳). بـا توجّـه به این که دوره‌ی آماری ایستگاه‌های کشـور مـا برای آشکار سازی تغییر اقلیم به روش‌های آماری (دوره‌ی آماری مناسب ۱۰۰ سال اسـت) کافـی نیسـت، لذا اتّکا و استفاده از مدل‌های گردش عمومی در مطالعه‌ی اقلیم، تنها راه مطالعـه در احـوال متغیر اقلیم آینده ایران است (قویدل رحیمی،۱۳۸۳). این مقاله درصدد طرح نظـریه‌هـا، روش‌هـا و مـدل‌های مطالعه‌ی تغییر اقلیم و نارسایی‌ها و چالش‌های روش شناختی

آنهـا بـرای تشـخیص وانـتخاب مـدل‌هـای مناسب تر و دارای کارایی بهتر در مطالعهٔ تغییرات اقلیمی کشورمی باشد.

نظریات مربوط به تغییرات سیستم آب و هوایی

درایـن زمینه «رودی من»(۲۰۰٤) عقیده دارد که از نظریات مطروحه سه نظریه دارای اهمیـت بیشـتری انـد کـه عبارتند از: «نظریه‌ی گایا»[1] ، نظریه‌ی «یکنواخت گرایی»[2] و نظریه‌ی «سازوکار میلانکوویچ»[3].

نظـریه‌ی گایـا : ایـن نظـریه توسـط «مارگولـیس» و «لاولاک» ارایه شده و از مسایل اجتـناب ناپذیـر در زمیـنه‌ی پس خورندهای زیست سپهر می باشد. فرضیه‌ی مذکور، تفسیری کلـی از شـواهد زمین شناختی و چرخه‌های ژئوبیوشمیایی که درآن نقش بیوسفربه عنوان عامل تنظیم کننده‌ی اقلیم و محیط در گذشته و حال مورد تأکید قرار گرفته است، محسوب می شود. بر اساس این نظریه، پیچیدگی وکارایی پس خورندهای زیست سپهرتا حدی زیاد است که کل زیسـت سـپهر(بـه همـراه اجـزای غـیر آلـی اقیانوس‌ها، اتمسفر وحتی لیتوسفر) را می توان به متابولیسـم یک موجود زنده تشبیه نمود که به صورت یک مجموعهٔ جامع و کلی که گایا نامیده مـی شـود بـه نحوی با هم تلفیق شده اند که قادرند به صورت خودکنترل یا «هموستازیس» در برابـر چـالش‌هـای آینده، بویژه تغییرات محیطی وآب وهوایی واکنش نشان دهند. ممکن است تفسیرسـاده اندیشانه‌ی نظریه‌ی گایا منجر به این دیدگاه شود که سیستم زیست سپهر با هرنوع مداخلـه‌ای کـه درآن اعمـال شـود؛ به طورطبیعی مقابله خواهد نمود که بی تردید چنین چیزی صـادق نیسـت. اجمـاع نظر دانشمندان در این مورد برآن است که اگر فعالیت‌ها و دخالت‌های انسـان، باعـث اعمـال فشـار زیـادی بـه حلقه‌ی پس خورندهای منفی گردد، این امر می تواند

1 -Gaia hypothesis
2 -Uniformitarianism
3 -Milankovitch mechanism

موجب تبدیل پس خورندهای منفی به پس خورندهای مثبت شود، لذا چنان که دقت کافی مبذول نگردد این امکان وجوددارد که بخشی از بیوسفر ازشرایط خودکنترلی خارج شده، مبدل به پس خورندی مثبت گردد. باتوجه به اثرات متقابل بی حدوحصر وغیرقابل انتظار پدیده‌ها وفرایندهای سیستم اقلیمی نظریه‌ی گایا، تنها می‌تواند نوعی کلی گویی مفید ولی ناکافی از نظام اقلیمی محسوب شود.

فرضیه‌ی یکنواخت گرایی: این فرضیه توسط اقلیم شناسان دیرینه ارایه شده و تأکیدآن برجستجوی شواهد تغییرات اقلیمی است که راهنمای ما به اقلیم گذشته باشد. در این زمینه صفات اقلیمی معاصر و تعمیم نتایج اقلیم فعلی به گذشته تعیین کننده است. این گونه تعمیم نتایج به یکنواخت گرایی موسوم است. بر اساس این نظریه چون اثرات آب وهوا بر محیط به زمان بستگی ندارد، می توان از روی برخی خصیصه‌های معین که امروزه تحت تاثیر عملکردعوامل اقلیمی ایجاد می شوند و برای ما اثبات شده هستند، به چگونگی اقلیم درگذشته واقف شد. بسیاری از اطلاعات ژئومورفولوژی اقلیمی از این فرضیه مشتق شده است. عمده شواهد مورد استناد دانشمندان طرفدار این فرضیه بویژه افرادی مثل «شوارتزباخ» آلمانی عبارت از:۱- شواهد لیتولوژیک (مطالعه درفرایندهای فرسایشی، ترکیب و شرایط محیط به هنگام رسوب‌گذاری)۲-شواهد ریخت شناسی(اشکال سطح زمین)۳-شواهد زیست شناختی(شباهت‌های سیستماتیک وشرایط بوم شناختی و فیزیولوژیک) هستند.

نظریه‌ی میلانکوویچ: این نظریه ازپرطرفدارترین نظریه‌های مربوط به علل تغییراقلیمی است دراین نظریه که بعضاً تحت عنوان نظریه‌ی نجومی نیز نامیده می شود؛ سعی شده تا تغییرات سیستم اقلیمی به تغییرات عوامل مدارگردش زمین به دورخورشید نسبت داده شود. سه وضعیت مدار زمین می تواند به حالت‌های گوناگون بر میزان دریافت انرژی تابشی (الکترومغناطیسی) که احتمالاً برتغییرات سیستم آب وهوایی مؤثرند؛ اثرگذار باشند که این سه وضعیت عبارتند از:۱-تغییرات گریزازمرکز۲-تقویم اعتدالین۳-تغییرات محورزمین. پارامترهای

مدارگردش سالانه‌ی زمین تحت تاثیردیگر کرات به طور منظمی دستخوش تغییراست. تغییرات وضعیت هندسی مدار زمین، موجب تغییراتی درچگونگی تابش خورشید به زمین می شود. فرایند مذکورکه سازوکار میلانکوویچ نامیده می شود؛ عاملی برای تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود.

پارادایم اقلیم شناسی

اگراذعان نماییم که تا به حال هیچ پارادایمی به شدت و وسعت اقلیم شناسی علوم مختلف (مانند کشاورزی، بوم شناسی و محیط زیست ، علوم زمین، فیزیک وغیره) راتحت تاثیرخود قرار نداده است، اغراق نکرده ایم. با ظهور نخستین نشانه‌های تغییر اقلیم در سال‌های اخیر، توجه علوم غیرجغرافیایی نیز به اقلیم شناسی جلب شده است. ابعادفیزیکی، شیمیایی، زیست محیطی و کشاورزی تغییرات اقلیمی برای متخصصان رشته‌های مذکور بسیارحایز اهمیت می باشد، تاجایی که آنها مسایل و نظریات جدید و پیشرفت‌های علمی مربوط به تغییرات اقلیمی را بسیار مشتاقانه پی گیری می نمایند (نبکر،۱۹۹۵). اصطلاح پارادایم اقلیم شناسی، بار نخست توسط «برایسون»(۱۹۹۷) وارد ادبیات علوم آب وهواشناسی گردید. وی با تأکید برپژوهش ارزشمند «هندرسون سلرز» و «مک گوفی» درمورد مدل سازی (مدل‌های گردش عمومی) و وانمود سازی رایانه ای، به تبیین و تفسیرپارادایم اقلیم شناسی پرداخت که عمده تأکید او برشبیه سازی رایانه‌ای و مدل سازی تغییرات اقلیمی به منظور پیش بینی روند آتی تغییرات بوده است. وی دراثرخودتحت عنوان «مقاله ای درباب پارادایم اقلیم شناسی» به تبیین اقلیم وخصوصیات آن روی آورده و ارتباط آن را با وضع هوا، مورد بررسی موشکافانه ای قرارداده وسپس به بیان نوسانات دوره ای اقلیم، تغییرات اقلیمی وتفاوت‌های آنها وسوء تفاهماتی که برخی مؤلفان درتشخیص وتفکیک تغییرات وناهنجاری‌های نوسانات دوره ای آب وهوا که با آن مواجه می شوند، پرداخته ودرنهایت با استفاده از روش‌های گوناگون مدل سازی و وانمود سازی رایانه ای تغییرات اقلیمی، موضوع محدودیت‌های اقلیمی و بازساخت

اقلیم گذشته را طرح کرده وآن را برای پیش بینی وضع آینده، بسیارضروری دانسته است. وی درمهم ترین بخش مقاله اش به مهم ترین اصول فلسفی علوم آب و هواشناسی اشاره کرده که عبارتنداز:

تعریف آب وهوا: ازاین نظر آب وهوا (وضع اقلیم) حالتی ترمودینامیکی و هیدرودینامیکی از شرایط و اوضاع لایه‌های مرزی کره زمین است که آن را الگوهای فضایی و زمانی هوا در مدت زمان‌های نسبتاً طولانی به وجود می آورند.

اصل ۱- نخستین تاکید نظریه‌های اقلیمی ومدل‌های به کارگرفته شده، بایدبرشرایط مهم ترین مرزهای آب وهوا باشد. بسیاری از اقلیم شناسان این اصل را «اصل مهم‌ترین لایه» سیستم اقلیمی می نامند.لایه‌ی مرزی یک کیلومتر اولیه‌ی اتمسفر است که همه فعل وانفعالات بین سطوح زمین، جو واقیانوس‌ها واتمسفرآزاد درهمین لایه انجام می گیرد.

اصل ۲- دراقلیم شناسی مدل‌های ساخته شده برمبنای میانگین سالانه، نسبت به مدل‌های حاصل ازداده‌های روزانه ارجحیت دارند.

اصل ۳- اقلیم، چند بعدی (برداری) است وتنها منبع کسب داده‌ها نیست. ابعاد سه گانه‌ی اصلی سیستم اقلیم، که مکعب سیستم اقلیمی را تشکیل می دهند عبارت از: زمان، مکان ودرجه‌ی تفکیک هستند.

اصل٤- از بعد تاریخی اقلیم وعناصر تشکیل دهنده‌ی آن سری‌های زمانی پویا وغیر ساکنی هستند.

اصل ۵- وضعیت‌های واقعاً عادی یا نرمال (میانگین) اقلیمی وجود ندارند.

اصل۲ استفاده ازمیانگین را که اصلی ترین شکل حالات نرمال است، محدود نموده است. در مطالعات نوین بر استفاده از روش‌هایی چون تحلیل فراوانی و تحلیل طیفی تأکید می‌گردد. روش‌های سری زمانی نیزچون نتوانسته اند اثر تغییرات (یا نوسانات) شدید اقلیمی

سال‌های اخیر را در مدل‌های پیش بینی لحاظ کنند، کم اهمیت تر و محدود به تعیین روند تاریخی سری‌ها و بیان وضع موجود آنها شده اند.

اصل٦- تغییراقلیم و به تبع آن تغییرمحیط زیست (طبیعی وانسانی) درمقیاس‌های زمانی مختلف ازیک لحظه تا میلیون‌ها سال را در بر می گیرد.

اصل ۷- تغییرات اقلیمی و محیطی در میلیون‌ها سال گذشته وزمان حال نمی توانند مشابهت‌های زیادی با هم داشته باشند، زیرا در سال‌های اخیر عواملی غیر طبیعی (مانند گرمایش زمین بر اثرگازهای گلخانه ای تولید شده ازصنایع یا مسایل مربوط به سوراخ شدن لایه‌ی اوزن) درپیدایش وشدت تأثیرتغییرات اقلیمی مؤثر بوده اند. باحذف عوامل جدید موثر برتغییرات اقلیمی و محیطی، می‌توان اقدام به بازساخت اقلیم‌های دیرینه نمود، درحالی که برای پیش بینی تغییرات اقلیمی آینده بایدعلاوه بر دخالت دادن همه‌ی عواملی که به نحوی درتغییرات اقلیمی مؤثرند، ضرایبی را نیز برای اثرات فرایندها وعوامل ناشناخته درنظرگرفت. اغلب چالش‌های مدل سازی منبعث ازاصل مذکور می باشند.

اصل۸- خرد اقلیم‌های متعددی با ویژگی‌های خاص وگاه مشابه هم وجوددارندکه کما بیش درکلان اقلیم‌های هرسرزمین، قابل مشاهده می باشند.

اصل ۹- توجه به داده‌ها و اطلاعات محدودی که غالباً محلی هستندودر واقع ویژگی‌های خرد اقلیمی، سطوح مختلف هر قطعه کوچکی ازسرزمین را منعکس می کنند، می تواند ما را به شناخت کلیت سرزمین درقالب کلان اقلیم‌هایاری کند.

درحال حاضرپارادایم اقلیم شناسی از یک مرحله‌ی انباشت اطلاعات گام فراتر نهاده و به نظر می رسدکه ازنظر روش‌های به کارگرفته شده (روش شناسی) و نتایجی که درپیش بینی رویدادهای اقلیمی می بایست کسب می کرد، توفیق چندانی به دست نیاورده است؛ به همین دلیل بسیاری از اثرات تغییرات اقلیمی درزمینه‌های مختلف حل نشده وغیر قابل پیش

بینی باقی مانده است. با توجه به موارد فوق، اقلیم شناسی ازلحاظ روش شناسی و قابلیت پاسخ گویی به مسایل عمده، مدل سازی‌ها و وانمود سازی‌های رایانه ای مورد انتقاد و تردید قرار گرفته است.

نگرش فلسفی به مدل سازی تغییرات سیستم اقلیمی

برای درک یاپیش بینی نتایج برخی از رخدادهای طبیعی، آزمایشی طرح و اجرا می‌شود، اما اگرموضوع خیلی پیچیده یا مقیاس فضایی آزمایش خیلی گسترده باشد، چه باید کرد؟ در پیش بینی اثرات تغییرات اقلیمی نیزاین مسأله پیش می آید و هم اکنون نیز چنین آزمون غیر قابل کنترلی درآزمایشگاهی به وسعت زمین درحال انجام است. پس چگونه می‌توان بدون انجام هیچ گونه آزمایش فیزیکی، آینده راپیش بینی کرد؟ پاسخ مشخصی برای سؤال مذکوروجود ندارد، لیکن می توان با تبدیل این وضعیت به یک «آزمایشگاه نمادین»[1] آن را مورد بررسی قرار داد. این آزمایشگاه اتاقی با لوله‌های آزمایش یا «اجاق بنسن»[2] نیست، بلکه جعبه‌ی کوچکی است که تعدادی ترانزیستور و میکروچیپ را درخودجای داده است. می توان مدل‌های ریاضی برای زمین ساخته، سپس ازطریق وانمود سازی رایانه‌ای، آزمایش‌های خود را در رایانه انجام داد (جیکوبسون، ۲۰۰٤). درمدل‌های ریاضی مفاهیم زیربنایی به صورت کمّی بیان می شوند. با وجود این که این مدل‌ها عموماً قادر به تبیین واقع بینانه‌ی درهم تنیدگی‌های بسیار زیاد دنیای واقعی نیستند؛ اما می توانند صراحتاً پیامدهای منطقی مجموعه ای ازفرضیات به ظاهردرست را دراختیارما قرار دهند (ریند،۲۰۰٤). یقیناً این امریک گام فراترازمفاهیم محض بوده، به عبارت ساده تر، مدل سازی حداقل برای ممانعت ازتکرار برخی آزمون‌های خطا، پیشرفتی مهم محسوب می گردد.

1– Surrogate lab

2–Bunsen burners

انـواع مسـایلی را که با اتکا به مدل سازی اقلیمی می توان مورد مطالعه و حل وفصل قـرار داد عبارتـنداز: اثـرات تغییـرات آب و هوایـی درعرصـه‌های طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسـی، «اثرجـریانات زیرسـطحی و روبـه پاییـن جـو»[1] که ناشی از الگوهای غیرعادی دما در لایـه‌ی سـطحی اقـیانوس‌هـا اسـت (مانـند پدیـده‌ی انسـو)، توالی‌های دوره‌های یخ‌بندان، آب وهواهای دوره‌های باستانی، اثرفوران‌های آتشفشانی برآب وهوا، اثرات کاربری اراضی یا ورود آلایـنده‌هایـی مانـند دی اکسـیدکربن بـه هوا و مسائل دیگر که به نحوی با آب و هوای کره‌ی زمین در ارتباط هستند (اشنایدر، ۲۰۰۰) .

بـرای همانندسازی اقلـیم، اجزای سامانه‌ی اقلیمی مدل مشخص می شود و متغیرها مدنظـر قـرار می‌گیرند. مثلاً اگر هدف وانمود سازی توالی دراز مدت دوره‌های یخ‌بندان و بین یخچالی باشد، مدل ما باید بتواند تا حد امکان به ورود تمامی اجزای مهم اقلیم که دارای اثرات مـتقابل بـوده و در طی میلیون‌ها سال گذشته فعال بوده اند، اجازه دهد. چنین مدل‌هایی صرف نظـر از اتمسفر، توده‌های یخی، لایه‌های فوقانی وژرف اقیانوس‌ها وحرکت‌های افقی وعمودی پوسته‌ی زمین را نیز در برمی‌گیرند. پدیده‌ی حیات و محیط زیست نیز تاثیرمتقابل بر آب و هوا دارد وبنابرایـن بایددرمدل‌ها لحاظ گردد. به عنوان مثال گیاهان بر ترکیب شیمیایی هوا و دریا و هـم چنیـن برمـیزان آلبـیدو و چـرخه‌ی آب در خشـکی تاثیرگذارهسـتند. هـریک از ایـن زیرسیسـتم‌هـای اقلیمی که خودنیزدارای اثرات متقابل دوجانبه هستند، بخشی از اجزای داخلی مدل را تشکیل می دهند (ترنبرث،۲۰۰۳).

عوامـل دارای تغیـیرات کُـند (مانـند یخچـال‌ها وتغییرشکل سطح زمین) برای بخش داخلـی سیسـتم اقلیمـی در حال وانمود سازی، عوامل خارجی محسوب می گردند. ازآنجا که عواملـی ازایـن دسـت، مـرزی بـرای اجـزای داخلـی مدل به شمار می روند، لذا مدل سازان ازعوامـل خارجـی به عنوان شرایط مرزی یاد می کنند. این مرزها همواره از نوع فیزیکی (مانند

1 -Downstream atmospheric effects

اقیانوس‌ها که در زیر جو واقعند) نبوده؛ بلکه می توانند جرم، اندازه‌ی حرکت یا جریان انرژی درپهنه‌ی مرزهای فیزیکی باشند. تشعشع ورودی زمین از خورشید نمونه ای ازاین نوع است. اکثرمدل سازان به دو دلیل اساسی تشعشع خورشیدی را به عنوان تابعی ازکارکرد مرزی مدل درنظر می گیرند. اول اینکه انرژی ساطع شده از خورشید جزء متقابل داخلی سیستم اقلیمی درمدل نیست، ثانیاً انرژی خورشیدی اقلیم را به سوی توزیع مشخصی از دما، سوق می دهد. چنین مدل‌هایی مدل‌های بی بعد یا ساده هستند، زیرا تمام ابعاد و جهت‌های جغرافیایی جهان رادریک نقطه که تقریباً حالت میانگین جهانی دمای سیستم جو-زمین را به نمایش می گذارد، خلاصه کرده اند. چنان چه این مدل بی بعد قادر به ارایه‌ی درجه‌ی حرارت در طول و عرض جغرافیایی و ارتفاعات مختلف باشد، تبدیل به مدل سه بعدی خواهد شد. قدرت تفکیک یا به عبارت ساده تر دقت هرمدل به تعداد ابعاد آن و جزئیات مکانی مرتبط با هریک از ابعادآن، بستگی دارد(پیکسوتو واورت،۲۰۰٤).

عدم قطعیّت مدل‌ها و شبیه سازی‌های رایانه ای

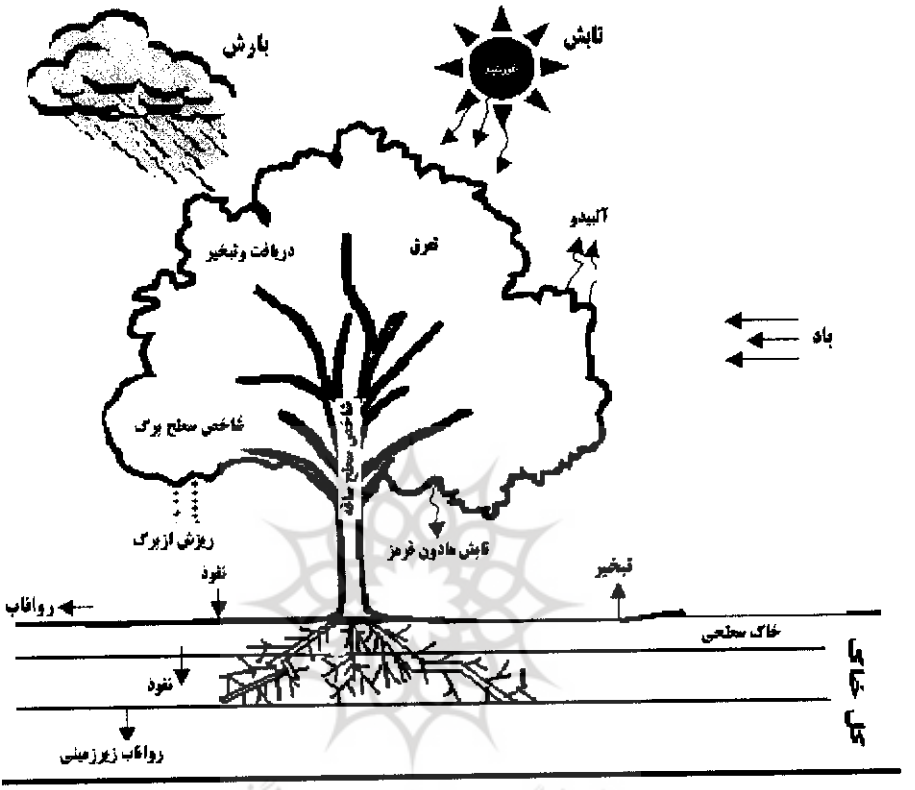
اتفاق آراء افرادی که با بینشی فلسفی به علوم آب وهوا می نگرند، درتردیدهایی است که ازنظر روش شناسی درموردمدل‌ها و وانمود سازی‌های اقلیمی وجوددارد. این امر لزوم بازنگری درمدل‌ها و استفاده ازمدل‌های دقیق تر و کاراتر را ضروری می نماید. بخش وسیعی ازمشکل مذکور(بهینه سازی مدل‌ها وشبیه سازی‌های رایانه ای) مربوط به مشکلات ناشی ازکمّی کردن و مکانیزم‌های پس خورندهای اقلیمی است. مثلاً ابرها به علت شفافیت زیادشان، مقدار زیادی از تشعشع خورشید را از طریق انعکاس به فضا باز می گردانند که این امر به کنترل دمای زمین کمک می کند، لذا پیش بینی تغییرات مقدار ابرها در طول زمان، نیازی اساسی برای وانمود سازی اقلیمی دقیق و معتبر است؛ اما اکثر لکه‌های ابر مساحتی کمتر

ازکوچکترین جزء«شبکه»[1]ها که برای اقلیم جهانی یا مدل پیش بینی اقلیم در نظرگرفته می‌شود، دارنـد. ابعـاد یـک طوفان تندری نیزغالباً چندین کیلومتر است و این درحالی است که اندازه‌ی اجـزای شـبکه بسـیاری از مدل‌های اقلیمی دقیق چند صد کیلومتر است. براین اساس هیچ یک ازمـدل‌های اقلیمی موجود، قادر به تحلیل و ارزیابی اثر لکه‌های ابر نیستند به همین دلیل چنین پدیده‌های اقلیمی، «پدیده‌های مقیاس شبکه‌ی فرعی»[2]به شمار می روند. حتی اگر نتوان ارزیابی صـحیحی ازکـل لکـه‌هـای ابـر بـه دسـت آورد، مـی‌توان اثرات تجمعی آنها را براقلیم جهانی موردبررسـی قـرارداد واز روش پارامـتری کـردن اسـتفاده کـرد. لیکـن منتقدان عقیده دارند که پارامتری کردن، دقت مدل‌ها رابه شدت تحت تاثیر قرارمی‌دهد، لذا مدل‌های مبتنی بر پارامتری کـردن را یـا رد مـی کنـند یـا ارزش پـیش بینـی برای آنها قایل نشده، فقط برای تبیین وضع موجودبـه آن تمسـک مـی جوینـد. امـا در اغلب مدل‌های شبیه سازی (خواه برای سیستم‌های فیزیکـی یـا زیسـتی و خـواه بـرای سیستم‌های اجتماعی) پارامتری کردن که درواقع نوعی بیان کمّـی اسـت، مورداسـتفاده قرارمـی گـیرد. مهم ترین بخش فرایند کمّی کردن پارامتری، حالت سـازوکارهای پـس خورنـدی است. این مفهوم در خارج از محدوده‌ی مدل سازی رایانه‌ای به خوبـی شناخته شده است. درشکل ۳ نمایی از انواع پارامترهای بیوفیزیکی را که باید به منظور محاسـبه‌ی جـریان مـاده و انـرژی دربین و دردرون سیستم جو، خاک و موجودات زنده، کمی (پارامتری) شوند، نشان داده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1 -Grid

2 -Sub-grid scale phenomena



شکل۳- شمایی کلی ازاجزای به کار گرفته شده درنمایش پارامتری (پرمایش) سطح زمین (بونان ، ۲۰۰٤)

با توجه به این نکات، می توان چنین نتیجه گیری کرد که درسیستم آب وهوایی، فرایندهایی وجود دارند که اثرمتقابل آنها وضعیت کلی اقلیم رامتأثرکرده، پیچیدگی‌های سیستم آب و هوا را تشدید می کنند. مثلاً بروز یک سرمای ناگهانی و شدید، افزایش شدید ضریب

انعکاس برف را به همراه داشته، این امرسبب کاهش مقدارجذب تابش خورشیدی می‌شود و در نهایت تشدید سرما رادرپی دارد. فرایند تقابلی سازوکار پس خورند برف ویخ/آلبیدو/درجه‌ی حرارت[1] درنزد اقلیم شناسان معروفیت خاصی پیدا کرده است. اثر معکوس آن یعنی اثر پس خورندی مثبت به خوبی شناخته شده ودر کمی و پارامتری کردن اکثر مدل‌های اقلیمی به کارگرفته شده است. متأسفانه سایر ساز وکارهای پس خورندی که از اهمیت بالقوه زیادی در مدل سازی‌ها وشبیه سازی‌های رایانه ای آب وهوا برخوردارند، به خوبی شناخته نشده اند. مشکل ترین نمونه از این دست، پس خورند ابر است که بسته به شرایط، می تواند مثبت یا منفی باشد.

فرایندهای چرخه‌ی ژئوبیوشیمیایی نیز می توانند به عنوان پس خورندهای اقلیمی عمل کنند. برای مثال افزایش دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی بر میزان فتوسنتز،تاثیرمثبت داشته، این امرسرعت ازدیاد دی اکسید کربن راکاهش می دهد(وینتر،۲۰۰۲). این بدان معنی است که جذب دی اکسیدکربن پس خورندی منفی است که ازسرعت گرمایش کره‌ی زمین بر اثردی اکسیدکربن می کاهد. از سوی دیگرافزایش دمای ناشی ازافزایش گازهای گلخانه ای، سرعت فرایندهای سوخت و ساز میکروارگانیزم‌های خاک راتسریع کرده، موجب افزایش سرعت تجزیه‌ی بقایای موادآلی به صورت دی اکسید کربن (در شرایط هوازی) یا متان (در شرایط بی هوازی) می گردد. وجود چنین پس خورند زیستی مثبتی درآب وهوا، سرعت گرم شدن جهان راافزایش می دهد. مدل‌ها وشبیه سازی‌های موجود، نتوانسته اند موضوع دخالت منفی یا مثبت دی اکسید کربن رادرفرایندهای سیستم اقلیمی به تصویربکشند و از این رو چنین روش‌هایی مورد انتقاد و تردیدجدی قرارگرفته اند.

1 -Snow and ice/albedo/temperature feedback mechanism

آیـا تجـزیه وتحلیل حساسیت‌هاوآزمون سناریوها ومدل‌های مختلف راه‌گشا خواهند بود؟

هـدف نهایـی درتمام مطالعات شبیه سازی، ایجاد یک سری زمانی واحد ودقیق برای برخـی ازمتغـیرها است.اما هدف دیگری که ممکن است مفیدتربوده، اساساً قابل درک تر باشد؛ ایجـاد یـک سـناریوی مناسـب برای متغیرهای مختلف غیر قابل پیش بینی یا پرابهام بوده و لذا ارزیابی حساسیت پیش بینی این متغیرها به وسیله‌ی هریک ازسناریوهای مختلف یا فرضیه‌های مـدل‌هـای مـتفاوت، صـورت مـی گـیرد. مثلاًپیش بینی اثر اجتماعی تغییراقلیم درگام نخست، نیازمـند تدویـن فرضـیه‌هایـی در مـورد روندتغیـرات آتـی جمعیت، محیط زیست، اقتصاد و فـناوری اسـت (البـته چنیـن عواملی برای مدل پیش بینی اقلیم، عواملی خارجی به حساب می آیـد، امـا بـا این وجود پیش بینی آنها ضروری است). درصورتی که پیش بینی دقیق هر یک از مـوارد فـوق مقدور نباشد، می توان از چندین سناریوی بهتر برای پیش بینی آنها استفاده کرد و در وهلهٔ آخر با ارزیابی نتایج هر یک از سناریوهای فوق، بهترین سناریو را انتخاب نمود.

تجـزیه وتحلـیل حساسـیت مـدل‌هـا، مسـتلزم سـاخت مـدل دیگـری اسـت کـه در سـاختاردرونی آن متغـیرهای اقلیمـی مهـم امـا پر ابهامی جای گرفته باشند. برخی عوامل مهم داخلـی (مانـند پـس خورنـد ابـر و اخـتلاط عمودی اقیانوس‌ها) در محدوده‌ی مشخصی قابل تغیـیربوده، ایـن امـر امکان تعیین مهم ترین فرایندهای درونی که درحساسیت پذیری اقلیم به عوامـل محـرک در تغیـیرات اقلیمـی (مانـند دی اکسیدکربن) دخالت دارند را فراهم می سازد. حتـی اگرنـتوان صحیح ترین شبیه سازی را مشخص کرد، روش تحلیل حساسیت می تواند به دو طـریق ما را یاری کند: اول اینکه ما را در تهیه‌ی فهرستی از اولویت‌ها برای کار بیشتر روی اجـزای پـرابهام کمـک کـند، ثانـیاً به تخمین دامنه ای ازتغییرات اقلیمی که احتمالاً درطی چند دهـه‌ی آتـی بـا آن دسـت بـه گریـبان خواهیم شد، کمک نماید. شاید با اطلاع ازچنین آینده‌ی محتملـی، برخـی ازافراد تصمیم بگیرند که ازپیامدهای مهم و محتمل (با احتمال کم یا متوسط

کـه برخـی ازطـرح‌هـای خاص وقوع آنها را (در مورد سوانحی مثل طوفان یا سیل) پیش بینی کـرده انـد) خـود را مصـون بدارند. درحقیقت سیاست کلی باید در جهت دوری از برنامه‌های هزیـنه بـر باشد. ازطرف دیگر اکثریت جمعیت درمعرض خطر بر این باورند که پیش ازهشدار بـه مردم و الزام افرادبرای صرف منابع برای رویارویی با خطرات احتمالی آینده، ابتدا باید بروز این رویدادها را با قطعیت بیشتری مورد پیش بینی قرارداد.

تجزیه وتحلیل حساسیت متقابل[1] (که درآن واکنش بعضی متغیرها نسبت به نوسانات چـند جانبه‌ی پارامترهای مبهم داخلی و خارجی سامانه مورد بررسی قرارداده می شود) حداقل ایـن امکـان را فـراهم مـی نمـاید کـه پـیامدهای مختلف مجموعه ای از فرضیات مشخص به صـورت کمـی و پارامتری شده ارزیابی شوند. در هرحال حتی اگر ما قادر به پیش بینی درست و معتـبر برخـی از پدیـده‌هـا و متغیرهای آینده نباشیم، احتمالاً می توانیم روش تجزیه وتحلیل حساسـیت معتـبرتری راکـه کاربردعملـی داشـته باشـد، تهیه کرده، ازآن برای بررسی طیفی از احـتمالات و نـتایج بـرنامه‌ها و طرح‌ها استفاده نماییم. پیش بینی‌های این چنینی بهترین وسیله بـرای دانشـمندان علوم طبیعی واجتماعی است تا به کمک آن جامعه را ازوضعیت‌های متفاوت واحتمالـی آیـنده، آگـاه سـازند. چگونگـی واکـنش بـه چنیـن اطلاعاتی در قلمرو ارزش‌ها و سیاست‌های جوامع است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1 -Cross-sensitivity analysis

بحث و نتیجه گیری

تغییرات نظام آب و هوایی و مسایل ناشی ازآن واستفاده ازروش‌های مدل سازی بویژه شبیه سازی رایانه ای فرایندهای تغییر دهنده‌ی اقلیم، آب وهواشناسی را وارد مرحله‌ی جدیدی کرده است.کاربردروش‌های وانمود سازی رایانه ای درارزیابی‌های علمی اقلیمی، نظریه‌ها و تدوین سناریوهای تغییرات اقلیمی از نظر روش شناسی، مورد انتقادات زیادی قرار گرفته است که اغلب این انتقادات درارتباط باتوانایی‌های اندک مدل‌ها درپیش بینی وقایع آینده می باشند. فلسفه‌ی علوم آب وهوا شامل بحث در مورد روش شناسی اقلیم شناسی است که عمده ترین بحث در این زمینه، بررسی نقش مدل‌های اقلیمی با قدرت تفکیک فضایی بالا (پیچیده) و قدرت تفکیک کم(ساده) است که نقش‌های مکملی را در علومی که به نحوی تغییرات اقلیمی را مورد بررسی قرارمی دهند، بازی می کنند. ازنقطه نظرفلسفی، شایستگی‌های نقش شبیه سازی‌های رایانه ای درعلوم آب و هواشناسی بیشتر در ترتیب طبقه بندی بهینه ترکیفی برای اطلاع یابی ازسیاست گزاری و تصمیم گیری مطلوب تردر خصوص اثرات آب وهوا بر جوامع انسانی و محیط زیست است. تأکید فلسفه‌ی آب وهواشناسی برضرورت استفاده ازمدل‌های اقلیمی دقیق ترو معتبرتر برای پیش بینی وشبیه سازی مطلوب تر اقلیم آینده است که بی شک دارای مخاطرات بیشتری (مثل باران اسیدی، خشک‌سالی، سیلاب، طوفان ودیگرتهدیدهای اقلیمی که به نحوی با تغییراقلیم درارتباط هستند) برای انسان خواهد بود. اقلیم شناسانی که بحث فلسفه‌ی علوم آب وهوا و لزوم بازنگری و تجدید نظردر روش شناسی علمی مدل‌ها و وانمود سازی‌های رایانه ای تغییر اقلیم را مطرح نموده اند، اساس منطقی مدل‌ها یا شبیه سازی‌ها را نفی نمی‌کنند، بلکه خواستار بکارگیری روش‌هایی هستندکه کلیه‌ی اجزاء مؤثردرتغییرات دستگاه اقلیمی را به صورت کمّی، وارد مدل‌ها کنند تا بتوانند پیش بینی‌های دقیق تری را ارایه دهند. این امر را می‌توان با کنارگذاشتن مدل‌هایی که پاسخ آنها غیردقیق یا پر از ابهام است، اصلاح وتقویت نمود و ابداع و بکارگیری مدل‌ها یا شبیه

سازی‌های جدید رایانه ای (مثل روش حافظه‌ی اقلیمی) به کاربست. دانش اقلیم شناسی بایددر مسایل روش شناسی بویژه درموردشبیه سازی ومدل سازی اقلیمی موردجرح وتعدیل بیشتری قرارداده شود. عمده مسایل روش شناختی که از بعد فلسفی در این میان قابل طرح می باشند، عبارت از: سلسله مراتب ودرجه‌ی پیچیدگی مدل‌ها، هم‌ساز شدن و شفافیت مدل‌ها و ابهامات موجود درمدل‌های اقلیمی که همه‌ی موضوعات فوق به تازگی در «کمیته‌ی علوم آب وهوا» درناسا مطرح شده وتا بسیار کم مورد تحلیل قرار گرفته اند (بر ی و فنسترچ، ۱۹۹۹). بسیاری ازاقلیم شناسان (ازجمله پترسون،۲۰۰۰) عقیده دارند که نگرش و مطالعه‌ی فلسفی درآب و هواشناسی، می تواند درحل بسیاری از مشکلات روش شناسی بویژه از بعدکاربرد مدل‌ها وانمود سازی‌های اقلیمی، مفیدواقع شود. متخصصان اقلیم شناسی بر این باورند که خلاء فلسفی موجود در اقلیم شناسی زنگ خطری جدی در بهبود و ارتقای روش شناسی درعلوم آب وهواشناسی است که اگربه آن توجه کافی مبذول نشود، صدمات جبران ناپذیری به پیکره‌ی دانش آب وهواشناسی وارد خواهد شد (لمب،۲۰۰۲) و درعین حال از قول افرادی مثل مورگان و موریسون (۱۹۹۰) نیز غافل نیستندکه معتقدند استفاده ازمدل‌ها وشبیه سازی‌های رایانه ای برای تحلیل‌های علمی وعملی تغییرات اقلیمی و افزودن عناصرجدیدی برپیکره‌ی دانش آب وهواشناسی، نیازمند استدلال وتوجیه منطقی قوی وخاصی است که این امر، مستلزم تحلیل فلسفی دقیق است. تنها در این صورت اقلیم شناسی خواهد توانست بر اهمیت خود بیفزاید، چرا که درحال حاضر مسایلی چون تغییرات اقلیمی و مرتبط بودن پاره ای ازمهم ترین مشکلات دنیای معاصربه آن (مانند ارتباط موجودبین تغییرات اقلیمی باپدیده‌هایی چون خشک سالی، سیل، انواع آلودگی‌ها، مسایل ناشی از افزایش دی اکسید کربن جوّ از جمله بر محیط زیست و پیدایش برخی از بیماری‌ها در اثر بزرگ شدن حفره‌ی لایه‌ی اوزن) که با دلایل واضح علمی به اثبات رسیده اند، اقلیم شناسی را به عنوان مهم ترین علم بررسی تغییرات سیستم آب و هوا (و شناخت اثرات آن) که وظیفه هدایت انسان به سوی دنیایی با مخاطرات

کمتر رادرآینده به عهده دارد، مطرح نموده است. در راستای این نقش مهم، ابزار و عصای دست اقلیم شناسان روش‌ها و مدل‌های دقیق و کار آمد است. مروری بر مقالات و کتاب‌های جدید اقلیم شناسی، نشانگر مجادلات فلسفی مؤثر در باب روش شناسی بویژه مدل‌های سه بعدی و کمّی و حرکتی پر شتاب برای اصلاح مدل‌های کم توان، حذف مدل‌های غیر دقیق و ابداع مدل‌ها ی جدید و پیشرفته است که در این راستا با توجه به اهمیت یابی بیش ازپیش تغییرات اقلیمی از ابعاد مختلف (بویژه پیامدهای زیست محیطی، کشاورزی، غذایی و بهداشتی آن) متخصصان علومی چون محیط زیست، شیمی، فیزیک و کشاورزی به یاری اقلیم شناسان آمده اند.

عصر کنونی دوره‌ی ظهور تغییرات اقلیمی است، تغییرات مذکور به مرور زمان، بیشتر خود را آشکار می سازند، به این جهت دانش اقلیم شناسی را یکی از دانش های صائب و برتر قرن ۲۱ می‌خوانند که وظیفه‌ی سنگین کشف این تغییرات و راهنمایی انسان به سوی زندگی بهتر را بر عهده دارد. اهمیت روز افزون دانش اقلیم شناسی را می توان در تأثیرات بارز و پراهمیت عناصر و پدیده‌های اقلیمی درتمام شئونات زندگی انسان و دیگر زیستمندان و حتی جهان جمادات دانست. تأکید دانشمندان بر ارتقای دقت مدل‌ها و روش‌ها بویژه درزمینه‌ی تغییر اقلیم به سبب اهمیت آگاهی‌های اقلیمی درسیاست گزاری‌ها وبرنامه ریزی‌ها است. در خصوص اهمیت این امر، مثالی از اثرات تغییر مسیر و شدت بادهای غالب آلمان که بخشی از تغییر اقلیم می تواند محسوب شود، بسیار سودمند است. آلمانی‌ها برای تأمین برق برخی نواحی صنعتی از توربین بادی استفاده می کردند. بروز تغییراتی دراقلیم مناطق مذکور، موجب تضعیف شدت باد و تغییر مسیر آن گردیده است. در حال حاضر بسیاری از توربین‌های مذکور که با هزینه‌ی هنگفتی ساخته و نصب شده اند، ازکار افتاده اند. این امر موجب کمبود انرژی برای صنایع این نواحی شده است. برای جبران کمبود انرژی دو راه حل وجود داشت که عبارت از انرژی اتمی و سوخت‌های فسیلی بودند. با توجه به زمانی که برای ساخت نیروگاه

هسته ای لازم می باشد، عملاً تنها راه نجات کارخانجات از تعطیلی، تامین برق از سوخت‌های فسیلی بود. با استفاده از انرژی فسیلی، صنایع مجدداً شروع به تولید نمودند اما بعد دیگری از معضل تغییر اقلیم ظهور کرد وآن اثر تغییر مسیر باد بر روی انتقال آلودگی صنایع به سمت درون شهر بود. هر چند با تغییر نوع سوخت نیروگاه‌های نواحی مذکور از مازوت و نفت به گاز تا حدود زیادی از دامنه‌ی آلودگی مجتمع‌های زیستی اطراف مراکز صنعتی کاسته شده است، اما هنوز هم مسأله‌ی آلودگی با شدّت کمتری پا برجا است. با توجه به مثال فوق ابداع مدل‌های پیش بینی کننده‌ی دقیق برای مواجهه با مسایل ناشی از تغییر اقلیم، مهم‌ترین نقش وظیفه‌ی دانش اقلیم شناسی در قرن ۲۱ است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱) محمد خورشید دوست، ع. و قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۳)، وانمودسازی اثرات دو برابر شدن دی اکسید کربن جوّ بر تغییر اقلیم تبریز با استفاده از مدل گردش عمومی GFDL ، ارسال شده به مجله‌ی محیط شناسی دانشگاه تهران،۱۶ صفحه.

۲) قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۳)، شبیه سازی تغییرات دما و بارش تبریز در شرایط دو برابر شدن دی اکسید کربن جوّ با استفاده از مدل گردش عمومی GISS ، ارسال شده به مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تهران.

۳) علیجانی، ب. (۱۳۸۱)، ***اقلیم شناسی سینوپتیک***، انتشارات سمت، چاپ اول، تهران.

4- Bray D., H.Vonstorch.(1999), *Climate science: An empirical example of past normal science*, *Bulletin of American Meteoro;ogical Society*, 80: 439-455.

5- Bonan F. (2004), ***Ecological climatology***, Cambridge University Press, 482pp.

6- Brayson R. A.(1997), *The paradigm of climatology: An essay*, *Bulletin of American Meteoro;ogical Society*, 73: 449-465.

7- Harvey L. (1997), ***An introduction to simple climate models used in the IPCC second assessment report***, WMO. Geneva.

8- Humphery S. (1991), *Computer simulation*, ***Philosophy of Science Association*** 2: 497-506.

9- Jacobson M. Z. (2004), ***Fundamentals of atmospheric modeling***, Cambridge University Press. 656pp.

10- Lamb H. (2002), ***Climate: past, present, and future***. Vol. 1, Fundamentals of Climate Now, Methuen Press.

11- Lindazen R. (1990), *Some concerns on global warming, Bulletin of American Meteoro;ogical Society*, 77: 288-299.

12- McPhaden M. J. (2004), *Evolution of the 2002/3 Elnino, Bulletin of American Meteoro;ogical Society*, 85: 677-695.

13- Morgan. M. S. Morrison.(1999), ***Models as mediators, prespectives on natural and social sciences***, Cambridge University Press.

14- Nebeker F. (1995), *Calculating the weather meteorology in the 20th century*, International Geophysics Series, Vol. 60, Adademic Press.

15- Peterson A. S. (2000), *Philosophy of climate science, Bulletin of American Meteoro;ogical Society*, 81: 256-270.

16- Peixoto S., L. Oorte (2004), ***Physics of climate***, American Institute of Physics.

17- Rind D. (2004), *Complexity and climate*, ***Atmospheric Science Letters***, *5: 57–64.*

18- Ruddiman A. (2004), ***Earth's climate: Introduction to climatology with a paleoclimatological focus***, Freeman Press, 603pp.

19- Schnider S. H. (2000), *Climate modeling, Science America*, 256(5): 72-80.

20- Sellers A. H., K. McGuffie. (1997), ***A climate modeling primer***, John Wiley and Sons.

21- Shakeley S., P. Young.(1998), *Uncertainty, complexity and concepts of good science in climate modelling: Are GCMs the best tools? Climatic Change*, 38:155-201.

22- Trenberth J. (2003), ***Climate system modeling***, Cambridge University Press, 596pp.

23- Winter T. (2002), *On climatic analogues in paleoclimatic reconstruction*, Quarterly Research, 23(3): 275–286.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی