

رسالة محمد



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پیش بینی دما با استفاده از ریز مقیاس نمایی مدل ECHO برای ۳۰ سال آینده

پایان نامه کارشناسی ارشد هوش مصنوعی و رباتیک

سمیه خواجه حسنی

استاد راهنما

دکتر محمد داوورپناه جزی

بهار ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر- هوش مصنوعی و رباتیک خانم سمیه

خواجه حسنی

تحت عنوان

پیش بینی دما با استفاده از ریز مقیاس نمایی مدل ECHO برای ۳۰ سال آینده

در تاریخ ۱۳۸۸/۳/۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر محمد داورپناه جزی

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر سحر صدودی

۲- استاد مشاور پایان نامه

دکتر علی محمد دوست حسینی

سرپرست تحصیلات تکمیلی

خدایا کسی در طی مراحل شکر تو به سرمنزلی نمی رسد
مگر آنکه باز چندان از احسانت بر او فراهم می آید
که او را به شکری دیگر ملزم می سازد.

سپاس خدای را که ردای عقل بر قامت انسان برافراشت و منت بی پایان او را که مرا فرصت علم آموزی عطا فرمود.
سپاس خدای را که مرا آغوش پر مهر مادر و پشتوانه استوار پدر بخشید. پدر و مادری که کرمای وجودشان بهترین امیدزیه ستنم بوده و
هست. بی شک اگر راهبانی ما و روشنگری هایشان چراغ راه من نبود، مرایاری رسیدن به پیچ سرمنزل موفقیتی نبود. سپاس
خدای را که مرا خانواده ای گرم و دوست داشتنی بخشید. همراهی پیوسته آن ها راج می نهم.

سپاس خدای را که بر من منت نهاد به داشتن اساتید و معلمان بزرگوار و ایشاگر. آنان که با چراغ دانششان مراد سرزمین
دانش بارور ساختند. از خداوند سعادت مندی همیشگی شان را خواستارم.

سپاس خدای را به خاطر تمام دوستان و هم نشینان باصفا و با محبت که در مسیر زندگی مرا با ایشان آشنا ساخت. قدر دان حضور و
یاری همیشگی شان هستم.

از خداوند بزرگ می خواهم که فرصت علم آموزی را در این دنیا برایم تداوم بخشد. به من سعادت خدمت به مردمان را عطا
فرماید، چنان که از علم و دانشی که به من مرحمت نموده است، جز در راه رضای او بهره نگیرم.

سمیه خواجه حسنی

خرداد ۱۳۸۸

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این
پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم ہے:

خوب خوب نازنینم، مادر مہربانم

و بہترین بہترینم، پدر عزیزم

بہ پاس زلال لطف بی کرانشان، موج دیدگان مہربانشان و

تمام امیدہا، دلواپسی ہا و آرزوہا شان

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ گرمایش جهانی	۲
۲-۱ گازهای گلخانه ای	۴
۳-۱ اثرات گرمایش جهانی	۶
۴-۱ مدل جهانی اقلیم و روش کاهش مقیاس	۷
۵-۱ مرور مطالب	۹

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱ مقدمه	۱۰
۲-۲ تقسیم بندی روش های کاهش مقیاس	۱۱
۱-۲-۲ روش رگرسیونی	۱۲
۲-۲-۲ روش مبتنی بر الگوی آب و هوا	۱۳
۳-۲-۲ روش های تصادفی	۱۳
۴-۲-۲ مدل های نواحی محدود (کاهش مقیاس دینامیکی)	۱۴

فصل سوم: مواد و روش رگرسیون خطی

۱-۳ مقدمه	۱۷
۳-۳ خروجی مدل جهانی اقلیم	۱۸
۴-۳ روش انجام محاسبات کاهش مقیاس آماری مبتنی بر رگرسیون خطی	۲۰
۱-۴-۳ تحلیل رگرسیون	۲۰
۲-۴-۳ دقت معادله رگرسیونی	۲۱
۳-۴-۳ معادله رگرسیونی کاهش ابعاد	۲۳
۴-۴-۳ انتخاب رگرسرهای غالب	۲۴
۵-۴-۳ آزمون فرض	۲۵
۶-۴-۳ رگرسیون گام به گام	۲۸

فصل چهارم: شبکه های عصبی و منطق فازی

۱-۴ مقدمه	۳۱
۲-۴ شبکه های عصبی	۳۲
۱-۲-۴ مفاهیم اساسی شبکه های عصبی	۳۳
۲-۲-۴ ساختار شبکه های عصبی و آموزش آنها	۳۴

۳۵	.....انواع شبکه های عصبی مصنوعی از نظر برگشت پذیری
۳۶	.....شبکه های عصبی تطبیقی
۳۷	.....الگوریتم پس انتشار در شبکه های پیشخور
۳۸	.....شبکه عصبی RBF
۴۰	.....منطق فازی
۴۱	.....سیستم های استنتاج فازی
۴۳	.....مدل فازی زبانی
۴۳	.....استنتاج max-min (ممدانی)
۴۵	.....غیر فازی کردن
۴۵	.....مدل تاکاگی - ساگو
۴۵	.....مکانیسم استنتاج
۴۶	.....مدل TS به عنوان یک مدل شبه خطی
۴۷	.....ترکیب شبکه های عصبی و منطق فازی
۴۸	.....تعریف سیستم نرو-فازی
۴۹	.....ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی در مقایسه با سایر فن آوری های انتخابی
۵۰	.....مراحل طراحی و توسعه سیستم های نرو-فازی یا شبکه های عصبی - فازی
۵۳	.....برخی از معایب بعضی از سیستم های نرو-فازی
۵۴	.....ترکیب های مختلف سیستم های فازی و شبکه های عصبی
۵۶	.....روش نرو-فازی تطبیقی ANFIS
۵۷	.....ساختار یک سیستم ANFIS

فصل پنجم: بکارگیری عملی روش های بحث شده در ریزمقیاس نمایی

۶۳	.....مقدمه
۶۴	.....معرفی منطقه مورد مطالعه
۶۶	.....انتخاب متغیرهای غالب
۶۲	.....معرفی منطقه مورد مطالعه
۶۸	.....کاهش مقیاس با استفاده از رگرسیون خطی
۶۹	.....ارزیابی مدل های درجه حرارت با استفاده از داده های NCEP
۷۰	.....ارزیابی مدل های درجه حرارت با استفاده از داده های GCM
۷۲	.....کاهش مقیاس با استفاده از شبکه های عصبی
۷۳	.....کاهش مقیاس با استفاده از شبکه BP
۷۵	.....کاهش مقیاس با استفاده از شبکه RBF
۷۶	.....کاهش مقیاس با استفاده از شبکه عصبی و منطق فازی
۷۸	.....پیش بینی تغییرات اقلیمی

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۸۰ ۱-۶ خلاصه

۸۰ ۲-۵ کارهای آتی

۸۱ ۳-۵ نتیجه‌گیری

۸۲ مراجع

چکیده

دانشمندان معتقدند که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر باعث تغییر اقلیم خواهد شد. مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs) برای تخمین میزان این تغییرات در آینده گسترش یافته‌اند. اما قدرت تفکیک پایین مدل‌های جهانی اقلیم، استفاده از آنها را برای مطالعات هیدرولوژیکی و محلی ناممکن کرده است. اکثر مدل‌های جهانی اقلیم دارای قدرت تفکیک بیشتر از دو درجه عرض و طول جغرافیایی هستند. به دلیل تفکیک فضایی کم، حذف و یا ساده‌سازی برخی پدیده‌های خرد مقیاس در مدل‌های گردش عمومی جو، آنها در مقایسه با مدل‌های منطقه‌ای و کوتاه مدت، نمی‌توانند تقریب درستی از شرایط آب و هوایی ناحیه مورد مطالعه را ارائه دهند. لذا بایستی خروجی آنها توسط مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای یا آماری تا حد ایستگاه‌ها یا تا مقیاس فضایی حدود ۵۰ کیلومتر ریز مقیاس شده تا با لحاظ اثرات محلی، خطای مدل‌های گردش عمومی جو به حداقل ممکن برسد. بنابراین لازم است که مقیاس خروجی این مدل‌ها را کاهش داد. هدف در این پایان‌نامه ارائه راه‌کارهایی برای بهبود دقت مدل‌های ریز مقیاس نمایی است.

روش‌های ریز مقیاس نمایی، به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند: (۱) رگرسیونی (۲) الگوهای آب و هوا (۳) روش احتمالی (۴) روش دینامیکی. از بین این چهار روش، روش‌های رگرسیونی به علت سهولت بیشتر از روش‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بین روش‌های رگرسیونی نیز روش رگرسیون خطی از دیگر روش‌ها ساده‌تر است، در این مطالعه این روش بررسی می‌شوند. این مدل به صورت ماهیانه کار می‌کند. مدل‌های آماری به علت محدودیت‌های خود قادر نیستند که به صورت روزانه کار کنند. برای این که بتوان به صورت روزانه مدل را اجرا کنیم، می‌توانیم از روش‌های هوش مصنوعی برای ریز مقیاس نمایی استفاده کنیم.

در بخش دوم این پایان‌نامه از شبکه‌های عصبی برای مدل‌سازی استفاده می‌کنیم. برای مدل‌سازی از شبکه BP و RBF استفاده می‌کنیم. ترکیب شبکه‌های عصبی و منطق فازی، در چند سال اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته و در بسیاری از زمینه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل‌ها به صورت روزانه کار می‌کنند. به منظور بهبود خروجی‌های مدل‌های ارائه شده از ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی استفاده می‌کنیم. نتایج بدست آمده بهبود روش ارائه شده در مقایسه با روش‌های بیان شده قبلی را نشان می‌دهد. سپس با استفاده از این روش بهینه، دمای ۳۰ سال آینده را پیش‌بینی و روند دما را بررسی می‌کنیم، سپس آن را با دوره گذشته مقایسه می‌کنیم.

واژه‌های کلیدی: ۱- گازهای گلخانه‌ای ۲- تغییر اقلیم ۳- ریز مقیاس ۴- رگرسیون ۵- شبکه عصبی ۶- منطق فازی

فصل اول

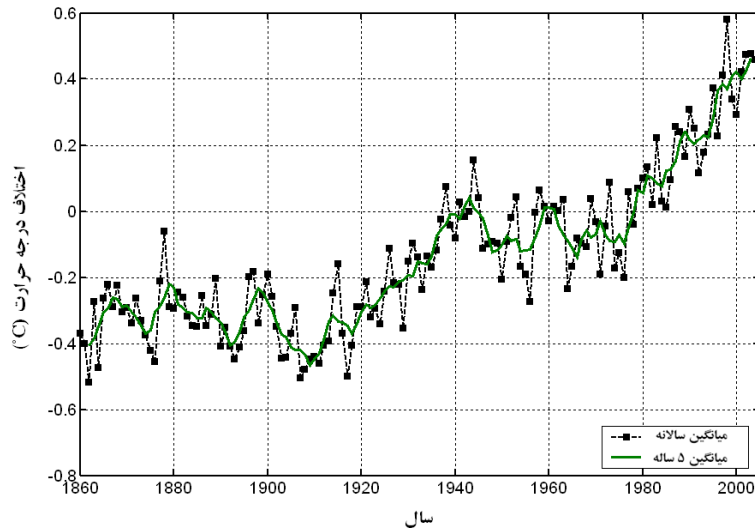
مقدمه

۱ + گرمایش جهانی^۱

امروزه گرم شدن زمین، یکی از مهمترین مسائلی است که جامعه جهانی با آن مواجه است. واژه گرمایش جهانی به معنای افزایش میانگین دمای سالانه سطح زمین در چند دهه اخیر است [۱]. پرسش این است که آیا واقعاً زمین در حال گرم شدن است؟ برای پاسخ به این پرسش دانشمندان به بررسی تغییرات دمایی در چندین دهه اخیر پرداخته‌اند. در شکل ۱-۱ تغییرات دمایی از سال ۱۸۶۰ تا ۲۰۰۵ میلادی نسبت به میانگین درجه حرارت در فاصله ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نشان داده شده‌است. این نمودار با استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی بدست آمده است [۲]. به علت ناقص بودن داده‌ها بخصوص در قرن ۱۹، خطای وسایل اندازه‌گیری و خطای محاسبات مربوط به تصحیح داده‌های دریایی، در این نمودار با مقداری عدم قطعیت مواجه هستیم. همانطور که در نمودار ملاحظه می‌گردد، از سال ۱۸۶۰ تاکنون دما سیر صعودی دارد. افزایش دما از سال ۱۸۶۰ تا ۲۰۰۰ با درجه اطمینان ۰/۹۵٪، $0/8^{\circ}\text{C}$ - $0/4^{\circ}\text{C}$ است [۳]. بیشتر این افزایش دما در دو دوره، ۱۹۴۵-۱۹۱۰ و ۱۹۷۶-۲۰۰۰ اتفاق افتاده‌است. نرخ افزایش دما در دوره اول $0/14^{\circ}\text{C}$ و در دوره دوم $0/17^{\circ}\text{C}$ در هر دهه است. در فاصله ۱۹۷۵-۱۹۴۶ در نیمکره جنوبی افزایش دما و در نیمکره

¹ Global warming

شمالی کاهش دما را شاهد هستیم. گرم شدن در دوره اول ابتدا در اقیانوس اطلس شمالی^۱ و نواحی مجاور آن متمرکز بوده است. با احتمالی بین ۹۹-۹۰٪، دهه ۹۰ و سال ۱۹۹۸ گرم‌ترین دهه و سال، از سال ۱۸۶۱ تا کنون هستند.



شکل ۱-۱: نمودار اختلاف دمای سطح زمین نسبت به میانگین دما در فاصله ۱۹۹۰-۱۹۶۱ [۲]

علاوه بر تحلیل مستقیم تغییرات دمایی، شواهد دیگری دال بر افزایش دما در چند دهه اخیر وجود دارد. کاهش پوشش یخ و برف یکی از این شواهد است. داده‌های ماهواره‌ای نشان دهنده کاهش تقریبی ۱۰٪ پوشش برفی از اواخر دهه ۱۹۶۰ هستند. پوشش یخ روی دریا در نیمکره شمالی در فصول بهار و تابستان از دهه ۱۹۵۰ بین ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش داشته است. همچنین ضخامت یخ در اقیانوس منجمد شمالی^۲ در تابستان و پاییز به میزان ۴۰٪ کاهش پیدا کرده است. نشانه دیگر، افزایش میانگین سطح تراز دریاها به میزان ۰/۱ تا ۰/۲ متر در قرن بیستم است. با توجه به این مسائل شکی باقی نمی‌ماند که دمای سطح زمین در حال افزایش است. اما این پرسش به وجود می‌آید که آیا این افزایش دما غیر طبیعی است؟ برای پاسخ به این پرسش باید تغییرات دمایی در قرون گذشته را بررسی کنیم. به علت عدم وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری درجه حرارت قبل از اواسط قرن ۱۹، دمای زمین با بررسی شواهد تاریخی (با استفاده از قوانین فیزیک، زیست‌شناسی و زمین‌شناسی و...) به صورت غیر مستقیم تخمین زده می‌شود. به این شواهد و مدارک که با استفاده از آنها دمای زمین تخمین زده می‌شود Proxy Indicators می‌گویند که تعدادی از مهمترین آنها عبارتند از: حلقه‌های رشد درختان^۳، مرجان‌های دریایی^۴، مغزه‌های یخی^۵، رسوب کف دریاها و دریاچه‌ها،

^۱ North Atlantic

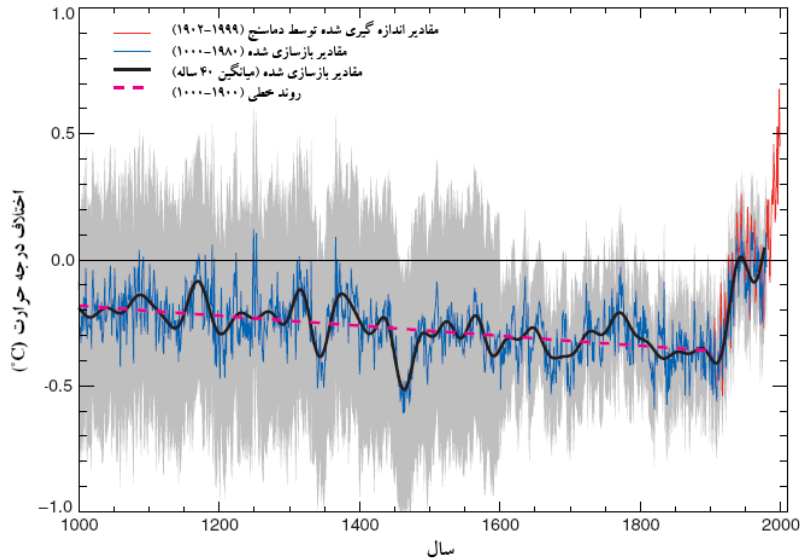
^۲ Arctic ocean

^۳ Tree rings

^۴ Corals

^۵ Ice cores

حفاری^۱، نوشته‌های تاریخی و توده‌های یخچالی^۲. با بررسی این اطلاعات دانشمندان نمودار تغییرات دمایی از سال ۱۰۰۰ میلادی را نسبت به میانگین دما در فاصله ۱۹۹۰-۱۹۶۱ برای نیمکره شمالی به شکل ۱-۲ ترسیم کردند. ناحیه خاکستری حدود خطای استاندارد را نشان می‌دهد [۳].



شکل ۱-۲: نمودار اختلاف دمای سطح زمین نسبت به میانگین دما در فاصله ۱۹۹۰-۱۹۶۱ طی ۱۰۰۰ سال اخیر [۳]

چنانکه از شکل ۱-۲ مشخص است دما در ۱۰۰۰ سال گذشته دارای نوسانات زیادی است اما محدوده تغییرات آن یک ناحیه تقریباً ثابت است اما از اوایل قرن بیستم دما یک سیر صعودی شدید را آغاز کرده است.

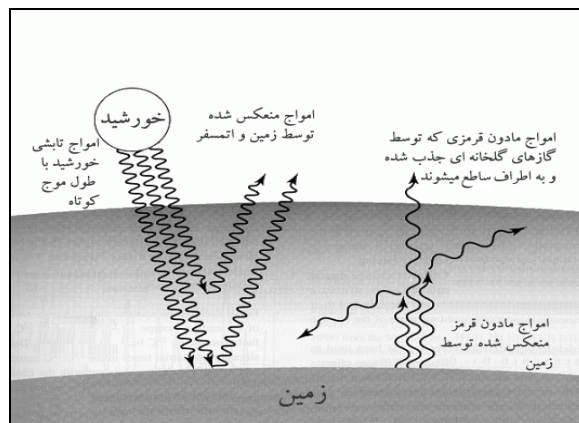
۱-۲ گازهای گلخانه‌ای^۳

عوامل زیادی در تغییرات دمایی زمین نقش دارند که از جمله می‌توان به مواردی چون، تغییر مدار چرخش زمین حول خورشید، ذرات معلق در اتمسفر^۴، تغییر در انرژی خورشید، تغییر در توپوگرافی زمین و کف اقیانوس‌ها و تغییر در الگوی کاربری اراضی^۵ اشاره کرد.

اما دانشمندان معتقدند که عامل اصلی گرم شدن زمین در قرن بیستم افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو است [۳]. همه اجسام به نسبت درجه حرارتی که دارند، امواجی را از خود ساطع می‌کنند. هرچه درجه حرارت جسم بیشتر باشد طول موج ساطع شده کمتر خواهد بود. خورشید تقریباً تمام طول موج‌ها را از خود ساطع می‌کند، اما با

¹ Boreholes
² Mountain glacier moraines
³ Greenhouse gasses
⁴ Aerosol
⁵ Changing patterns of land use

توجه به این که درجه حرارت سطح خورشید حدود 6000°K است، قسمت اعظم این امواج دارای طول موج کوتاه هستند. درصدی از این امواج در راه رسیدن به سطح زمین توسط اتمسفر و سطح زمین به سمت بالا منعکس شده و مقدار باقی مانده جذب سطح زمین می شود. زمین با دریافت این امواج شروع به گرم شدن می کند. اما سطح زمین به علت دمای نسبتاً کم (با میانگین 288°K) طیف موج محدودی دارد که از امواج بلند تشکیل شده است. این امواج مادون قرمز^۱ به سمت بالا ساطع شده و گازهای گلخانه‌ای، امواج مادون قرمز را به خوبی جذب کرده و در تمام جهات آنها را ساطع می کنند که قسمتی از آن دوباره به سطح زمین برگشته و باعث بالا رفتن دمای زمین می شود. به این ترتیب گازهای گلخانه‌ای همان طور که در شکل ۱-۳ مشخص است، به صورت یک عایق اطراف زمین را احاطه کرده و مانع از فرار سریع امواج مادون قرمز از اتمسفر زمین می شوند. در واقع خاصیت گازهای گلخانه‌ای این است که امواج مادون قرمز را به خوبی جذب کرده اما امواج مرئی خورشیدی را خیلی کم جذب می کنند [۴].



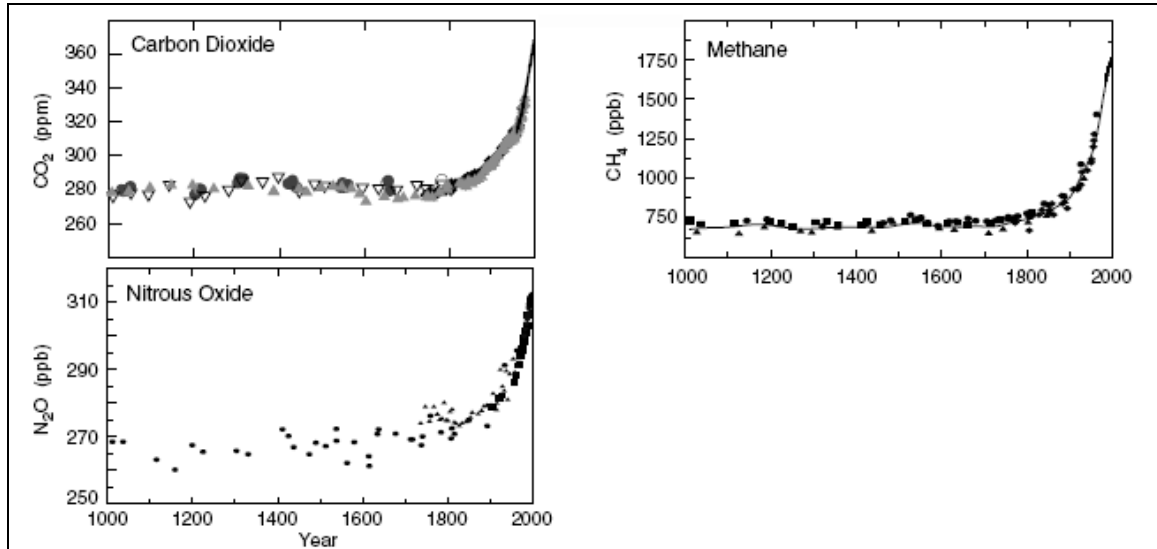
شکل ۱-۳: نحوه عملکرد گازهای گلخانه‌ای

مهمترین گازهای گلخانه‌ای عبارتند از: دی‌اکسید کربن (CO_2)، بخار آب (H_2O)، متان (CH_4)، کلروفلوئورکربن‌ها^۲ (CFCs)، دی‌نیتروژن اکسید (N_2O)، و ازن (O_3). در بین این گازها، دی‌اکسید کربن و بخار آب بیشترین تاثیر را در گرم شدن زمین دارند به طوری که اگر این گازها در جو موجود نبودند دمای زمین به جای 15°C ، 18°C بود (یعنی 33°C کمتر از دمای کنونی زمین). بنابراین وجود گازهای گلخانه‌ای برای ادامه حیات در کره خاکی لازم است اما به علت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و فرآیند صنعتی شدن جهان، غلظت این گازها بخصوص گاز دی‌اکسید کربن در اتمسفر در حال افزایش است. در شکل زیر غلظت ۳ گاز گلخانه‌ای از سال ۱۰۰۰ تا

¹ Infrared

² Chlorofluorocarbons

سال ۲۰۰۰ نشان داده شده است [۳]. همانطور که در شکل ۱-۴ مشاهده می‌شود از اوائل قرن بیستم غلظت این گازها رشد قابل توجهی پیدا می‌کند.



شکل ۱-۴ نمودار غلظت ۳ گاز گلخانه‌ای طی ۱۰۰۰ سال اخیر [۳]

۳-۱ اثرات گرمایش جهانی

گرم شدن زمین چه تاثیری بر زندگی ما خواهد گذاشت؟ در زیر عواقب گرم شدن زمین که اکنون شاهد آن هستیم و یا در آینده ممکن است رخ دهند ذکر شده‌اند:

- افزایش وقایع ناگوار جوی^۱ مانند: سیل، طوفان، گردباد.

- مرگ و میر ناشی از گرمی هوا

- خشکسالی

- تغییر فصول (فرا رسیدن زودهنگام بهار و دیر رسیدن زمستان)

- از بین رفتن گونه‌های حیوانات

- افزایش سطح آب دریاها و ذوب شده یخچال‌ها

- گسترش بیماری‌ها

- افزایش آلودگی در اتمسفر

^۱ Extreme weather events

اگر روند افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو تغییر پیدا نکنند، $1/4^{\circ}\text{C}$ تا $5/8^{\circ}\text{C}$ افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ پیش‌بینی شده است [۳].

۴-۱ مدل‌های جهانی اقلیم^۱ و روش کاهش مقیاس^۲

با توجه به موارد ذکر شده، اهمیت گرم شدن زمین به عنوان یکی از عوامل تهدید کننده زندگی ما بر روی کره زمین کاملاً واضح است. بنابراین برای درک ماهیت پیچیده جو و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده بایستی اتمسفر را مدل کرد، یعنی با استفاده از قوانین حاکم بر جو بین پارامترهای مختلف جوی روابط ریاضی پیدا کرده و آنرا حل کنیم. با استفاده از چهار قانون اصلی حاکم بر جو یعنی قانون دوم نیوتن، قانون بقا جرم، قانون بقا انرژی و قانون گاز ایده‌آل، بین پارامترهای مختلف جوی روابط ریاضی قابل تعیین است. بعد از به دست آوردن معادلات نوبت به حل آنها می‌رسد. به علت پیچیدگی معادلات از نظر ریاضی و تعدد آنها و نیز پیچیده بودن شرایط مرزی، حل این معادلات به روش تحلیلی امکان‌پذیر نیست بنابراین دانشمندان به روشهای عددی برای حل این معادلات متوسل شده‌اند. ریچاردسون در سال ۱۹۲۲ اولین مدل عددی اقلیم را معرفی کرد [۱]. تا چندین سال این معادلات توسط دست و پا دقت پائین حل می‌شد، تا اینکه در دهه ۱۹۷۰ با ظهور کامپیوترها تحول عظیمی در مدل کردن اقلیم به وجود آمد. مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) به مدل‌های کامپیوتری گفته می‌شود که معادلات حاکم بر جو را حل می‌کنند. اتمسفر در سه جهت مکانی شبکه‌بندی شده و در فواصل زمانی مختلف (با توجه به مدل)، محاسبات در گره‌ها انجام می‌شود. در شکل ۱-۵ شبکه‌بندی رایج در مدل‌های GCM نشان داده شده است.

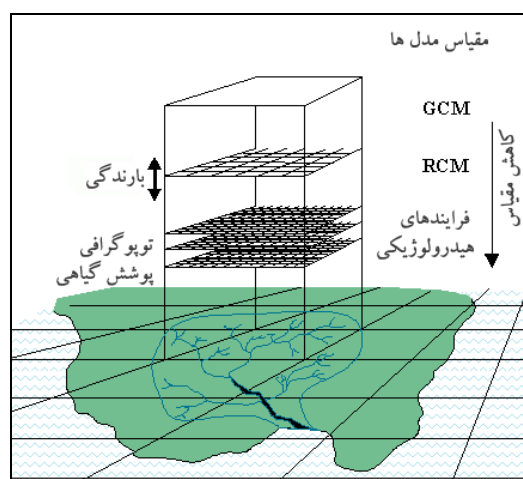


شکل ۱-۵: نحوه شبکه بندی اتمسفر در مدل‌های جهانی اقلیم [۵]

¹ Global Climate Models

² Downscaling

فاصله گره‌ها در مدل‌های مختلف، متفاوت است، مثلاً مدل CGCM1، دارای شبکه‌ای با ابعاد $3/7^\circ$ عرض و $3/7^\circ$ طول جغرافیایی (حدود ۴۰۰ کیلومتر در خط استوا) و مدل HadCM3 دارای شبکه‌ای با ابعاد $2/5^\circ$ عرض و $3/75^\circ$ طول جغرافیایی (حدود 400×278 کیلومتر در خط استوا) است [۵]. همانطور که مشاهده می‌گردد این شبکه‌ها دارای ابعاد بزرگی هستند (حدود ۵۰,۰۰۰ کیلومتر مربع) [۶]. بنابراین خروجی مدل‌های GCM قابل استفاده برای مطالعات محلی^۱ و مطالعات کاربردی (مثلاً مطالعات هیدرولوژیکی) نیستند. پس باید به نحوی دقت مدل‌های GCM را بالا ببریم، اما همانطور که می‌دانیم با افزایش دقت (کاهش ابعاد شبکه‌های GCM)، مسئله ما پیچیده‌تر شده و حجم محاسبات به شدت افزایش می‌یابد، بنابراین به جای افزایش دقت مدل GCM، مقیاس خروجی‌ها را کاهش می‌دهیم؛ به این کار کاهش مقیاس گفته می‌شود. در واقع ما خروجی‌های GCM را با استفاده از روش‌های کاهش مقیاس طوری تغییر می‌دهیم که بتوانیم تغییرات اقلیمی ناشی از گرم شدن هوا را در نقاط و نواحی داخل شبکه GCM پیش‌بینی و بررسی کنیم. در شکل ۱-۶ مفهوم کاهش مقیاس نشان داده شده است.



شکل ۱-۶ نمایی کلی از نحوه عملکرد کاهش مقیاس [۷]

همانطوری که مشاهده می‌شود با کاهش مقیاس جزئیات بیشتری مدل خواهند شد.

در کل روش‌های کاهش مقیاس به ۴ دسته تقسیم می‌شوند [۸]:

۱. روش‌های رگرسیونی^۲
۲. روش‌های مبتنی بر الگوی آب و هوا^۳
۳. روش‌های تصادفی

^۱ Local impact studies

^۲ regression methods

^۳ weather pattern-based approaches

۴. مدل‌های اقلیم نواحی محدود (LAM¹)

البته در عمل روش‌های دیگری وجود دارد که ترکیبی از چندین روش هستند و دسته‌بندی بالا جهت سهولت کار صورت گرفته است.

۱-۵ مرور مطالب

مطالب این پایان‌نامه به صورت زیر نوشته شده‌اند: در ادامه در فصل دوم، روش‌ها و مطالعات انجام گرفته قبلی و مرتبط با این پایان‌نامه، توضیح داده شده‌اند. فصل سوم مقدمات مورد نیاز برای ریزمقیاس‌نمایی و روش رگرسیون خطی ارائه شده است. سپس در فصل چهارم روش‌های شبکه عصبی، منطق فازی و ترکیب آنها ارائه شده است. در فصل پنجم به بررسی نتایج به دست آمده از روشهای ارائه شده در فصل سوم و چهارم می‌پردازیم و بهترین آنها انتخاب می‌شود و سپس خروجی روش انتخاب شده برای سی سال آینده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت، در فصل آخر به نتیجه‌گیری و کارهای آتی می‌پردازیم.

¹ Limited-Area climate Models

فصل دوم

مروری بر کارهای پیشین

۱-۲ مقدمه

نسل کنونی مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) به علت قدرت تفکیک پذیری پائین^۱، قابل استفاده در مطالعات کاربردی با ابعاد کوچکتر از ابعاد خود نیستند. برای مثال اغلب مطالعات هیدرولوژیکی با فرآیندهای کوچک مقیاس و زیر حوضه‌ای^۲ سروکار دارند که مقیاس آنها بسیار کوچکتر از مقیاسی است که مدل‌های GCM به ما می‌دهند. مدل‌های جهانی اقلیم محاسبات دینامیک سیالات را در مقیاس قاره‌ای به خوبی انجام می‌دهند ولی فرآیندهای کوچک مقیاس را پارامتری^۳ می‌کنند. پارامتری کردن به معنی جایگزین کردن یک فرآیند کوچک مقیاس یا پیچیده (به حدی پیچیده که قابل مدل کردن نیست) با یک فرآیند ساده‌تر یا مدل شده در GCM است [۷].

به خاطر این مشکل شناخته شده، برنامه^۴ IGBP و پروژه^۵ GCIP به منظور بررسی اثرات متقابل و پیچیده بیولوژیکی و فیزیکی اجزاء کره زمین و واکنش آنها به فعالیت‌های بشری، پایه‌ریزی شدند. تمرکز اصلی یکی از بخش‌های پروژه IGBP به نام^۶ BAHC، بر روی ابداع روشی برای تولید داده‌های هواشناسی لازم جهت مدل سازی فرآیندهای زیست

^۱ Coarse resolution

^۲ Subcatchment

^۳ Parameterization

^۴ International Geosphere-Biosphere Programme

^۵ GEWEX Continental Scale International Project

^۶ Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle

هیدرولوژیکی^۱ بود [۹]. در این راستا، کاهش مقیاس به عنوان روشی برای درون‌یابی متغیرهای جوی بزرگ مقیاس و استخراج داده‌های کوچک مقیاس هواشناسی، ابداع شد [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]. پایه و اساس این روش این فرض است که بین فرآیندهای جوی با مقیاس‌های متفاوت می‌توان رابطه‌ای پیدا کرد. از اوایل دهه ۱۹۹۰ بر پایه مطالعات گذشته در زمینه هواشناسی [۱۱] و هیدرولوژی [۱۴] تعداد زیادی از چنین روابطی به دست آمد. از الگوهای آب و هوایی بزرگ مقیاس برای مدل کردن بسیاری از پارامترهای هواشناسی استفاده شده است؛ که می‌توان به مواردی چون: مدل‌سازی وقوع بارندگی در واشنگتن (هیوجز و گاتورپ ۱۹۹۴) [۱۵]، الگوی زمان-مکان بارندگی روزانه در حوضه رور (باردوسی و پلات ۱۹۹۱) [۱۶] و نبراسکای شرقی (ماتیوسکی و همکاران ۱۹۹۳) [۱۷]، دمای میانگین و بارندگی ماهانه در ایالت آرگون (ویگلی و همکاران ۱۹۹۰) [۱۱]، وقوع بارندگی شدید و خشکی در حوضه رودخانه دلور (هی و همکاران ۱۹۹۱) [۱۲]، وقوع بارندگی‌های نادر در جزایر بریتانیا (ویلی ۱۹۹۸) [۱۸]، بارندگی زمستانه در ابریا (ون استروچ و همکاران ۱۹۹۳) [۱۹]، و تخمین نرخ تبخیر از تشتک در جنوب لوئیزیانا (مک‌کیب و مولر ۱۹۸۷) [۲۰] اشاره نمود. دسته دوم روابط بین الگوهای چرخش^۲ و سری‌های زمانی، از جمله مطالعات سیل در آریزونا (داک‌اشتن و همکاران ۱۹۹۳) [۲۱]، تحلیل سیل در رودخانه کلن (ویلی و همکاران ۱۹۹۴) [۲۲]، تغییرات سطح آب دریای ژاپن (موچانگ و همکاران ۱۹۹۵) [۲۳] و دریای بالتیک (هین و همکاران ۱۹۹۶) [۲۴]، و اسیدی شدن آب سطحی در شرق میدلند (ویلی ۱۹۹۳) [۲۵] بود.

۲-۲ تقسیم بندی روش‌های کاهش مقیاس

روش‌های کاهش مقیاس با توجه به متغیرهای استفاده شده به سه دسته تقسیم می‌شوند [۲۶]:

- کاهش مقیاس با استفاده از متغیرهای سطحی^۳ (کیم و همکاران ۱۹۸۴، ویلکس ۱۹۸۹) [۲۷، ۲۸]: به این معنی که داده‌های بزرگ مقیاس با استفاده از میانگین‌گیری در یک منطقه بدست آمده و داده‌های کوچک مقیاس نیز داده‌های ثبت شده در یک ایستگاه هستند.
- روش PP^۴ (زوریتا و همکاران ۱۹۹۲) [۲۹]: در این روش داده‌های بزرگ مقیاس مقادیر مشاهده شده در قسمت تروپوسفر^۵، و داده‌های کوچک مقیاس مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی هستند.

^۱ Ecohydrological

^۲ Circulation patterns

^۳ Surface variables

^۴ The Perfect Prog

^۵ Troposphere