دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته ی مهندسی آب گرایش مهندسی منابع آب

عنوان

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب های زیر زمینی

(مطالعه موردی: دشت اردبیل)

استاد راهنما

دکتر صابره دربندی

استاد مشاور

دکتر اسماعیل اسدی

پژوهشگر

ایمان فروزنده شهرکی

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم

به پدر و مادر عزیزم؛

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم.

این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب به من آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند.

آنان که مویشان سپید گشت تا روسفید بمانم.

الهی قاقتشان رسا باد.

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

و اما به تاسی از حدیث «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بر خود لازم می دانم از استاد راهنمای بزرگوار سرکار خانم دکتر صابره دربندی که با وجود تمام کاستی ها از جانب بنده در کلیه مراحل این تحقیق مشوق، حامی و راهنمایم بودند صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

همچنین از استاد مشاور ارجمند جناب آقای دکتر اسماعیل اسدی به خاطر راهنمایی های ارزنده ایشان در طول انجام این تحقیق خالصانه تشکر می نمایم.

از استاد عزیز جناب آقای دکتر محمد علی قربانی که قبول زحمت فرموده و داوری این تحقیق را بر عهده گرفتند سپاسگزاری می نمایم.

از تمامی اساتید بزرگواری که در طول تحصیل توفیق حضور در کلاس درسشان و بهره گیری از محضرشان را داشتم تشکر نموده و توفیق روز افزون برای ایشان آرزومندم.

از کلیه دوستان عزیزم که در طول انجام این پروژه مشوق و یاری رسان بنده بودند به خصوص آقای مهندس مسعود غریب دوست سپاسگزاری نموده و از درگاه ایزد منان موفقیت و سلامتیشان را آرزومندم.

در پایان از پدر، مادر و خواهران عزیزم که همواره مشوق و حامی ام بودند و با حمایت هایشان باعث شدند که بدون هیچ دغدغه ای به تحصیل بپردازم نهایت تشکر را داشته و از درگاه خداوند برایشان تندرستی، شادکامی و طول عمر با عزت مسالت می نمایم.

نام خانوادگی دانشجو: فروزنده شهرکی نام: ایمان

عنوان پایان نامه: ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب های زیر زمینی (مطالعه موردی: دشت اردبیل)

استاد راهنما: دکترصابره دربندی استاد مشاور : دکتر اسماعیل اسدی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته : مهندسی آب گرایش: مهندسی منابع آب

دانشگاه: تبریز دانشکده: کشاورزی تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۹۲ تعداد صفحه: ۱۰۵

کلید واژه ها: تغییر اقلیم، مدل LARS-WG، آب زیرزمینی، مدل برنامه ریزی ژنتیک، دشت اردبیل

چکیده: امروزه اثرات تغییر اقلیم بر بسیاری از سیستم های طبیعی به اثبات رسیده است. تمامی مدل های گردش عمومی اتمسفر(GCM) آینده گرمتری را برای کره ی زمین پیش بینی می کنند. وقوع چنین شرایطی می‌تواند باعث بروز تغییردر چرخه هیدرولوژی ، منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین نحوه‌ی دسترسی به آب در سطح یک حوضه آبریز گردد. از آنجایی که کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می شود و آب های زیرزمینی نقش غیر قابل انکاری در تامین نیازهای آبی آن ایفا می کند بایستی به طور ویژه به مساله منابع آب زیرزمینی و اثرات تغییر اقلیم بر روی آن پرداخته شود. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیر زمینی دشت اردبیل در سال های آتی می باشد. بدین منظور از داده های ثبت شده ۳۵ حلقه چاه پیزومتری طی دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۷ استفاده گردید. جهت پیش بینی متغیر های اقلیمی آینده از سناریو های مدل اقلیمیHadCM3 بهره گرفته شد. جهت انطباق مقیاس خروجی این مدل با مقیاس مورد نیاز مطالعات تغییر اقلیم، داده های ثبت شده دما و بارش توسط مدل LARS-WG ریز مقیاس شدند. سپس مدل های هوشمند شبیه سازی (برنامه ریزی ژنتیک و رگرسیون خطی) بین داده های تاریخی بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و داده های تاریخی نوسانات آب زیر زمینی بر قرار گردید و با استفاده از روابط حاصل از مدل ها ی هوشمند، تراز آب چاه ها برای سال های آتی تخمین زده شد که نتایج حاصله، بیانگر افت سطح آب کلیه چاه های پیزومتری مورد مطالعه تحت هر سه سناریو تغییر اقلیم برای دوره های آتی می باشد.

فهرست مطالب صفحه

۱ - فصل اول مقدمه ۱

۱-۱- کلیات ۲

۱-۲- اهداف تحقیق ۳

۲ - فصل دوم بررسی منابع ۵

۲-۱- مفهوم تغییر اقلیم ۵

۲-۲- چشم‌انداز تغییر اقلیم ۵

۲-۳- مدل‌سازی تغییر اقلیم و تولید سناریوهای اقلیمی در دورههای آتی ۷

۲-۴- هدف و کاربرد سناریو اقلیمی ۱۰

۲-۵- معرفی سناریوهای انتشار SRES ۱۰

۲-۶- روشهای ریزمقیاس نمایی ۱۱

۲-۷- انواع مدل های ریز مقیاس نمایی ۱۲

۲-۷-۱- ریز مقیاس نمایی دینامیکی ۱۳

۲-۷-۲- ریز مقیاس نمایی آماری ۱۳

۲-۷-۲-۱- روش های مبتنی بر الگوی آب و هوا ۱۴

۲-۷-۲-۲- روش مولدهای هواشناسی ۱۵

۲-۷-۲-۳- روش رگرسیونی ۱۵

۲-۸- مدل‌سازی پاسخ های هیدرولوژیکی به تغییر اقلیم ۱۶

۲-۹- معرفی مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG ۱۸

۲-۱۰- پیشینه مطالعات تغییر اقلیم در جهان و ایران ۲۱

۲-۱۱- پیشینه مطالعات مدل برنامه‌ریزی ژنتیک و مدل رگرسیون خطی ۳۱

۳ - فصل سوم مواد و روش ها ۳۷

۳-۱- منطقه مورد مطالعه ۳۷

۳-۱-۱- توصیف کلی منطقه ۳۷

۳-۱-۲- عوامل موثر بر آب و هوای دشت اردبیل ۳۷

۳-۱-۳- عناصر اقلیمی دشت اردبیل ۳۸

۳-۲- داده های مورد استفاده ۳۹

۳-۳- آماده سازی اولیه داده‌ها ۴۲
۳-۳-۱- آزمون همگنی داده‌ها ۴۲

۳-۴- سناریوهای اقلیمی ۴۳
۳-۴-۱- مدل‌های GCM و سناریوهای انتشار ۴۳
۳-۴-۲- توصیف مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG 5 ..... ۴۵
۳-۴-۲-۱ فرآیند تولید دادههای اقلیمی توسط LARS-WG ۴۶
۳-۴-۲-۱-۱- گام اول : واسنجی مدل ۴۷
۳-۴-۲-۱-۲- گام دوم : صحت سنجی مدل ۵۲
۳-۴-۲-۱-۳- گام سوم (Generator) تولید داده‌های آب و هوایی ۵۴

۳-۵- برنامه‌ریزی ژنتیک ۵۵
۳-۵-۱- الگوریتم ژنتیک ۵۵
۳-۵-۲- توصیف مدل برنامه‌ریزی ژنتیک ۵۶
۳-۵-۲-۱- اصول پایه برنامه‌ریزی ژنتیک ۵۷
۳-۵-۲-۲- جنبه‌های منحصر به فرد برنامه‌ریزی ژنتیک ۵۷
۳-۵-۲-۳- انتخاب متغیرهای ورودی در برنامه GeneXproTools4 بوسیله برنامه‌ریزی ژنتیک ۵۸

۳-۶- معیار ارزیابی مدل ها ۵۸

۴- فصل چهارم نتایج و بحث ۶۱

۴-۱- نتایج مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG ۶۱
۴-۱-۱- نتایج مدل HadcM3 تحت سناریوهای A2 ، A1B و B1 ..... ۶۸

۴-۲- نتایج مدل برنامه ریزی ژنتیک ۷۶

۴-۳- نتایج شبیه سازی نوسانات سطح آب چاه ها با استفاده از مدل رگرسیون خطی ۸۳

۴-۴- مقایسه نوسانات دوره تاریخی سطح آب زیر زمینی با نوسانات دوره های آتی آن ۸۷

۴-۵- نتیجه گیری ۹۵

۴-۶- پیشنهادات ۹۷

۵- فهرست منابع ۹۸

فهرست جدول‌ها صفحه

جدول۲-۱- مشخصات مدل گردش عمومی جو HadCM3 ..... ۸

جدول ۲-۲- فهرست پیش بینی کننده های مرکز ملی پیش بینی های محیطی..... ۹

جدول۳-۱- مشخصات آماری داده های هواشناسی ایستگاه اردبیل برای دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۷..... ٤٠

جدول ۳-۲-مشخصات چاه های پیزومتری اندازه گیری سطح آب..... ٤١

جدول۳-۳-مشخصات ۱۰ مدل GCM مربوط به گزارش ارزیابی چهارم IPCC..... ٤٤

جدول ۴-۱- سری روزهای تر و خشک ایستگاه هواشناسی اردبیل برای فصول مختلف..... ٦٢

جدول ۴-۲- مقادیر آزمون کای- دو برای توزیع بارش‌های روزانه ماه های مختلف..... ٦٣

جدول ۴-۳- مقادیر بارش واقعی و مدل شده(mm) ، انحراف معیار(mm) ، مقادیر t , F و احتمال ٦٤

جدول ۴-۴- مقادیر آزمون کای – دو برای توزیع دماهای حداقل روزانه..... ٦٤

جدول ۴-۵- میانگین دمای حداقل ماهانه واقعی، مدل شده، انحراف معیار و مقادیر t (دما بر حسب c°)..... ٦٥

جدول ۴-۶- مقادیر آزمون کای – دو برای توزیع دماهای حداکثر روزانه..... ٦٦

جدول ۴-۷- میانگین دمای حداکثر ماهانه واقعی، مدل شده، انحراف معیار و مقادیر t (دما بر حسب c°)..... ٦٧

جدول ۴-۸- مقادیر آزمون کای – دو برای توزیع دوره‌های داغ و یخبندان..... ٦٧

جدول ۴-۹- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۳۰-۲۰۱۱..... ٦٩

جدول ۴-۱۰- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۶۵-۲۰۴۶..... ٦٩

جدول ۴-۱۱- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۹۹-۲۰۸۰..... ٦٩

جدول ۴-۱۲- تغییرات میانگین سالانه اقلیم در ایستگاه هواشناسی اردبیل (مدل HadcM3 با سناریو A2)..... ٧٠

جدول ۴-۱۳- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۳۰-۲۰۱۱..... ٧١

جدول ۴-۱۴- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۶۵-۲۰۴۶..... ٧١

جدول ۴-۱۵- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۹۹-۲۰۸۰..... ۷۲

جدول ۴-۱۶- تغییرات میانگین سالانه اقلیم در ایستگاه هواشناسی اردبیل (مدل HadcM3 با سناریو A1B)..... ۷۲

جدول ۴-۱۷- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۳۰-۲۰۱۱..... ۷٤

جدول ۴-۱۸- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۶۵-۲۰۴۶..... ۷٤

جدول ۴-۱۹- مشخصات آماری پارامترهای تولیدی دوره اقلیمی ۲۰۹۹-۲۰۸۰..... ۷٤

جدول ۴-۲۰- تغییرات میانگین سالانه اقلیم در ایستگاه هواشناسی اردبیل (مدل HadcM3 با سناریو B1)..... ۷۵

جدول ۴-۲۱-الگوهای مختلف مورد استفاده در مدل برنامه‌ریزی ژنتیک..... ۷۷

جدول ۴-۲۲- مولفه های آماری مربوط به مدل های تخمین سطح آب زیرزمینی..... ۷۸

جدول ۴-۲۳- نتایج ارزیابی با استفاده از مدل رگرسیون خطی..... ۸۳

جدول ۴-۲۴- مقادیر متوسط سطح آب چاه ها(m) در دوره تاریخی و دوره های آتی..... ۸۸

جدول ۴-۲۵- میزان تغییرات سطح آب چاه ها در دوره های آتی نسبت به دوره تاریخی..... ۸۹

فهرست شکل ها صفحه

شکل۲-۱-تغییرات مشاهده شده در مقادیر متوسط آ. دمای سطح زمین، ب. متوسط سطح آب دریاها و پ. پوشش برف.٦

شکل ۲-۲-چهار خانواده اصلی سناریوهای انتشار SRES (IPCC-TGICA، ۲۰۰۷)..... ۱۱

شکل ۳-۱-موقعیت دشت اردبیل و چاه های پیزومتری اندازه گیری سطح آب..... ٤٠

شکل ۳-۲-صفحه نخست برنامه LARS-WG..... ٤٦

شکل ۳-۳-فایل st.* شامل مشخصات ایستگاه و فایل داده‌های مشاهداتی ایستگاه ٤٧

شکل ۳-۴-بخشی از فایل wgx.*..... ٤٩

شکل ۳-۵-بخشی از فایل stx.*..... ٥٠

شکل۳-۶-بخشی از فایلtst.*..... ٥٢

شکل ۳-۷-نمونه‌ای از فایل سناریوی تغییر اقلیم (HADCM3-B1.sce)..... ٥٥

شکل ۳-۸-ساختار درختی معرف رابطه $[\sqrt{b^2-4ac}-b]/2a$..... ٥٧

شکل ۴-۱-مدل سازی موفق بارش ماهانه ایستگاه هواشناسی اردبیل توسط مدل LARS-WG..... ٦٣

شکل۴-۲-مدل سازی موفق دمای حداقل ماهانه (سانتی گراد) درایستگاه هواشناسی اردبیل توسط مدل LARS-WG.٦٥

شکل۴-۳-مدل سازی موفق دمای حداکثر ماهانه (سانتی گراد) درایستگاه هواشناسی اردبیل توسط مدل LARS-WG.٦٦

شکل ۴-۴-سریهای زمانی بارش روزانه تولیدی سه دوره‌ی اقلیمی توسط مدل HadcM3 با سناریو A2..... ٧١

شکل ۴-۵-سریهای زمانی بارش روزانه تولیدی سه دوره‌ی اقلیمی توسط مدل HadcM3 با سناریو A1B..... ٧٣

شکل ۴-۶-سریهای زمانی بارش روزانه تولیدی سه دوره‌ی اقلیمی توسط مدل HadcM3 با سناریو B1..... ٧٦

شکل۴-۷: نمودار درختی معرف رابطه (۴-۱) ٨٢

شکل۴-۸-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۷..... ٩٠

شکل۴-۹-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۳۰- ۲۰۱۱ تحت سناریو A2..... ٩٠

شکل۴-۱۰-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریو A2.....۹۱
شکل۴-۱۱-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ تحت سناریو A2.....۹۱
شکل۴-۱۲-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریو A1B.....۹۲
شکل۴-۱۳-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریو A1B.....۹۲
شکل۴-۱۴-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ تحت سناریو A1B.....۹۳
شکل۴-۱۵-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریو B1.....۹۳
شکل۴-۱۶-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریو B1.....۹۴
شکل۴-۱۷-مقادیر متوسط تراز آب پیزومترها برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ تحت سناریو B1.....۹۴

فصل اول

مقدمه

۱– مقدمه

۱–۱–کلیات

اثرات پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم که ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای در اتمسفر ، تغییر کاربری اراضی و... می باشد، بر بسیاری از سیستم های طبیعی از جمله افزایش خشکسالی ها، کاهش سطح آب های آزاد، تغییرات فصلی در رواناب رودخانه ها و منابع آب سطحی و زیرزمینی به اثبات رسیده است. تمامی مدل های گردش عمومی اتمسفر(GCM)[1] آینده گرمتر و کم بارش تری رابرای کره ی زمین پیش بینی می کنند. وقوع چنین شرایطی می‌تواند فرآیندهای هیدرولوژیکی را تحت تاثیر قرار داده و از این طریق در چرخه هیدرولوژیکی و منابع آب و همچنین نحوه‌ی دسترسی به آب در سطح یک حوضه آبریز تغییراتی را ایجاد نماید. گرچه کاهش گازهای گلخانه ای می تواند از تشدید پدیده تغییر اقلیم دردوره های آتی بکاهد ، ولی باید توجه داشت که حتی اگر در حال حاضر انتشار تمامی گازهای گلخانه ای در سطح کره زمین متوقف شود، پدیده تغییر اقلیم تا اواخر قرن بیست و یکم ادامه خواهد یافت. این امر بدلیل عمر ماندگاری ۱۵۰ ساله دی اکسید کربن (به عنوان مهمترین گاز گلخانه ای) در جو کره زمین می باشد. از این رو مهمترین وظیفه جوامع علمی کشورها در برخورد با این پدیده بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم های مختلف و ارائه راهکارهای تطبیقی درمقابله با تبعات منفی این پدیده در دوره های آتی می باشد. کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، به دلیل متکی بودن به کشاورزی و صرف بیش از ۸۵ درصد منابع آبی برای آن و همچنین انعطاف پذیری کم جهت اصلاح ساختار های اقتصادی می توانند نسبت به تغییر اقلیم آسیب پذیر تر باشند. از آنجایی که تاثیرات تغییرات آب و هوایی و آلودگی های سطحی بر منابع آب زیر زمینی نسبت به منابع آب سطحی غیر مستقیم و آهسته تر می باشد پایش وضعیت این منابع و حفظ پایداری آنها تحت تاثیر این تغییرات از اهمیت بالایی برخوردار است. منابع آب زیرزمینی نقش بسیار زیادی در تامین آب مورد نیاز بشر دارند و بعد از یخچال ها، بزرگترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می دهند و استفاده از این منابع در نواحی خشک و نیمه خشکی مانند ایران، بیش از ۸۰ درصد منابع آبی است. در حال حاضر به دلیل افزایش جمعیت، الگوهای نامناسب مصرف، کمبود و هدر رفتن منابع آب سطحی، شیوه های مدیریتی ضعیف و پدیده تغییر اقلیم، منابع آب زیرزمینی موجود؛ تحت فشار مضاعف می باشند. بنابراین در نظر گرفتن طیف وسیعی از این اثرات برای اتخاذ برنامه ریزی های مناسب و اقدامات مدیریتی در سیستم‌های منابع آب از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن لازم است بررسی دقیقی از نوسانات سطح آب زیرزمینی انجام شود . با بررسی دقیق نوسانات سطح آب

[1] Global Circulation Models

زیرزمینی می توان از آن در برنامه ریزی تأمین آب قابل اعتماد و نیزدرمدیریت منابع آب استفاده نمود. لذا بررسی بارندگی و تغییرات آن بر سطح آب زیرزمینی ضروری است.

۱-۲- اهداف تحقیق

هدف کلی این مطالعه ارزیابی اثرات تغییراقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل می باشد. اهداف جزئی‌تر شامل موارد زیر می‌شوند:

- ریزمقیاس کردن متغیرهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی اردبیل
- تحلیل توانمندی نرم افزار LARS-WG در شبیه سازی داده‌های اقلیمی دوره گذشته
- محاسبه میزان تغییرات بارش و دمای منطقه مورد مطالعه طی دوره های آتی توسط سناریو های مدل اقلیمی رایج HadCM3
- بررسی توانایی مدل هوشمند برنامه ریزی ژنتیک در شبیه سازی داده ها در مقایسه با نتایج به دست آمده از یک مدل منطقی قابل قبول دیگر به نام روش رگرسیون خطی
- تخمین سطح آب چاه ها برای دوره های آتی و مقایسه آن با دوره تاریخی

فصل دوم

بررسی منابع

۲- بررسی منابع

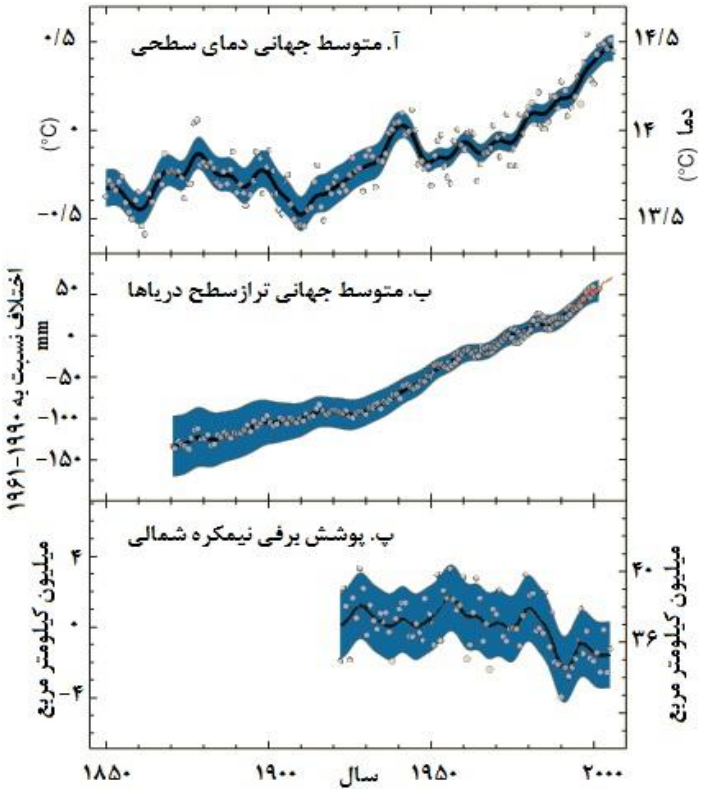
۲-۱- مفهوم تغییر اقلیم

تعاریف مختلفی برای تغییر اقلیم وجود دارد. تغییر اقلیم را می توان به شکل ساده «تغییر در مولفه‌ها یا متغیر های اقلیمی با گذشت زمان» تعریف کرد (USAID[1]، ۲۰۰۷). در یک تعریف دقیق‌تر، از دیدگاه هیئت بین دولتی تغییراقلیم، تغییر اقلیم یعنی: هرگونه تغییر در وضعیت اقلیمی که از طریق تغییرات در مقادیر میانگین یا تغییرپذیری در مشخصات آن قابل شناسایی باشد (بوسیله آزمون‌های آماری) و برای دوره زمانی معینی (معمولا یک دهه یا بیش‌تر) ادامه یابد. این تعریف شامل هر نوع تغییر اقلیم رخ داده در طول زمان خواه به صورت طبیعی خواه با دخالت بشر می‌شود. و از این نظر متفاوت از تعریف سازمان ملل در چهارچوب تغییر اقلیم (UNFCCC[2]) می‌باشد که تنها آن دسته از تغییرات در اقلیم که از فعالیت مستقیم یا غیر مستقیم بشر بوجود آمده و ترکیب اتمسفری جهان را بر هم می‌زند را به عنوان تغییر اقلیم دانسته است (IPCC، ۲۰۰۷a).

۲-۲- چشم‌انداز تغییر اقلیم

تغییر اقلیم مساله‌ای بسیار جدی است که تمام دنیا با آن مواجه هستند و به پیش‌بینی اغلب دانشمندان این عرصه در صورت وقوع تبعات بسیار سخت و غیر قابل جبرانی را به بار خواهد آورد. اکنون وقوع پدیده تغییر اقلیم به طور گسترده ای پذیرفته شده و حتی تغییرات بیش‌تر آن نیز بسیار محتمل است. مهم‌ترین نشانه تغییر اقلیم که امروزه همراه و گاه معادل با مفهوم تغییر اقلیم از آن یاد می‌شود «گرمایش سیستم اقلیمی[3]» است. براساس گزارش هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC)، گرمایش سیستم آب و هوا امری بدیهی است، آنچنان که در حال حاضر نیز از روی داده‌های مشاهداتی، افزایش متوسط دمای هوا و اقیانوس‌ها، وسعت میزان ذوب برف و یخ‌ها و همچنین بالا آمدن متوسط سطح آب دریاها کاملا مشهود می‌باشد (شکل ۲-۱). روند خطی افزایش دمای ۰/۷۴ (۰/۵۶ تا ۰/۹۲) درجه سلسیوس در بازه (۲۰۰۵-۱۹۰۶) بیش‌تر از مقدار نظیر ۰/۶ (۰/۴ تا ۰/۸) درجه سلسیوس ارائه شده در شکل ۲-۱ برای دوره ۱۰۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۰۱) می‌باشد. همچنین روند خطی گرمایش در طول دوره ۵۰ ساله ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ با متوسط افزایش ۰/۱۳ (۰/۱ تا ۰/۱۶) درجه سلسیوس در هر ده سال تقریبا دو برابر مقدار نظیر برای دوره ۱۰۰ ساله ۱۹۰۶ تا ۲۰۰۵ است (IPCC، ۲۰۰۷a).

[1] United States Agency for International Development
[2] United Nations Framework Convention on Climate Change
[3] Warming of the climate system



شکل۲-۲-۱- تغییرات مشاهده شده در مقادیر متوسط آ. دمای سطح زمین، ب. متوسط سطح آب دریاها و پ. پوشش برفی بین ماه‌های مارس- آوریل در نیمکره شمالی (نمودارهای خطی نشانگر داده‌های متوسط ده ساله و نقطه‌ای‌ها مربوط به داده‌های سالانه هستند. همچنین نواحی سایه زده شده مربوط به بازه‌های عدم قطعیت می‌باشند. کلیه اختلافات نسبت به میانگین‌های مربوطه در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ محاسبه شده‌اند. (IPCC،a ۲۰۰۷)

مطالعات مختلف در جهت شناسایی عوامل رخداد تغییر اقلیم نشان می‌دهند که بیشتر افزایش متوسط دمای سطحی جهان در ۵۰ سال اخیر مربوط به فعالیت‌های بشر بوده است (IPCC، ۲۰۰۱). تخمین زده می‌شود، در قرن بیستم، متوسط سطح دریاهای جهان ۱۲ تا ۲۲ سانتی متر بالا آمده باشد، این بالا آمدگی در اثر ذوب پوشش برفی و یخچال‌های کوهستانی (هر دو به طور متوسط در هر دو نیمکره کاهش یافته‌اند) اتفاق افتاده است (IPCC، ۲۰۰۷b). همچنین مشاهدات قرن اخیر حاکی از تغییرات مقدار، شدت، فراوانی و نوع بارش‌ها در سطح جهان می‌باشد (IPCC، ۲۰۰۷b).

در این میان توجه به نقش و تلاش‌های هیئت بین دولتی تغییر اقلیم نیز ارزشمند خواهد بود. این هیئت در سال ۱۹۸۸ توسط «سازمان هواشناسی جهانی[1]» و «برنامه محیط زیستی سازمان ملل متحد[2]» تاسیس شد. وظیفه IPCC بررسی اطلاعات تکنیکی، اقتصادی- اجتماعی و اطلاعات پایه علمی فراگیر، هدف‌دار، عینی و شفاف در ارتباط با شناخت مبنای علمی تغییر اقلیم ایجاد شده توسط انسان، اثرات

[1] World Meteorological Organization
[2] United Nations Environment Programme

بالقوه و گزینه های موجود برای سازگاری یا تقلیل اثرات آن می‌باشد. در میان مطالعات مختلفی که توسط IPCC به انجام رسیده است، آخرین آن که در سال ۲۰۰۷ انتشار یافته، پیش‌بینی کرده است در پایان قرن کنونی دمای سطح جهان به میزان ۰/۶ تا ۴ درجه سلسیوس و بالا آمدن سطح دریاها به ۰/۱۸ تا ۰/۵۹ متر افزایش یابد (IPCC، ۲۰۰۷b).

۲-۳- مدل‌سازی تغییر اقلیم و تولید سناریوهای اقلیمی در دوره‌های آتی

به منظور برآورد اثرات اقلیمی انتشار گازهای گلخانه‌های ناشی از فعالیت‌های بشر، باید از یک مدل ریاضی استفاده نمود. روش های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی وجود دارد ولی به منظور شبیه سازی اقلیم کره زمین، فرآیندهای اصلی اقلیم مرتبط با جو، اقیانوس، سنگ کره، یخ پوسته و زیست کره در مدل های فرعی جداگانه ای شبیه سازی شده، سپس تمام مدل های مربوط به جو و اقیانوس با یکدیگر جفت شده و مدل های گردش عمومی جو ـ اقیانوس تشکیل می شوند (ویلبی و هاریس، ۲۰۰۶). برای بررسی وضعیت اقلیم گذشته کره زمین مقادیر مشاهداتی گازهای گلخانه ای، نوسانات تابش خورشیدی و ذرات معلق ناشی از فوران های آتشفشانی تا سال ۲۰۰۰ به عنوان ورودی مدل های گردش عمومی ارائه شده و متغیرهای اقلیمی به صورت سری زمانی شبیه سازی شده اند. پس از شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در دوره های گذشته توسط مدل های گردش عمومی، به منظور شبیه سازی وضعیت این متغیرها در دوره های آتی نیاز به معرفی وضعیت انتشار گازهای گلخانه ای در این دوره ها می باشد. به این منظور ابتدا میزان انتشار گازهای گلخانه ای ارائه شده در سناریوهای انتشار توسط مدل های دیگر به غلظت و نهایتاً به میزان نیروی تابشی تبدیل شده و این مقادیر به عنوان ورودی مدل های گردش عمومی ارائه می شوند که نتایج ناشی از شبیه سازی تحت سناریوهای انتشار سری زمانی متغیرهای اقلیمی را تا سال ۲۱۰۰ ارائه می دهد. در سال ۱۹۹۸ هیئت بین الدول تغییر اقلیم کمیته ای به منظور جمع آوری خروجی مدل های آب و هوای جهانی به نام DDC[1] تشکیل داد و خروجی مدل ها تحت سناریوهای مختلف در سایت IPCC قرار گرفت. یکی از اهداف عمده این مرکز جمع آوری خروجی مدل های گردش عمومی به منظور استفاده در تحقیقات مرتبط با تغییر اقلیم می‌باشد.

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل های سه بعدی جفت شده جو ـ اقیانوس(AOGCM) و مدل گردش عمومی جو یا مدل اقلیم جهانی (GCM[2]) است(میتچل، ۲۰۰۳؛ ویلبی و هاریس، ۲۰۰۶). در حقیقت GCM مدل توصیفی ریاضی از سیستم اقلیمی کره زمین است که

[1] Data Distribution Center

[2] General Circulation Model/Global Climate Model

در ابتدا زمین را به دو لایه (بالاتر و پایین‌تر از سطح دریا) و سپس هر لایه را به شبکه‌هایی کوچک‌تر موسوم به «سلول» تقسیم می‌کند.

مراکز تحقیقاتی مختلفی در سرتاسر دنیا علی الخصوص در کشورهای پیشرفته نسخه‌های مدل گردش عمومی خود را تولید و بسط داده‌اند، اما کلیه پیش‌بینی‌های این مدل‌ها دارای منابع عدم قطعیت هستند برای مثال، از آنجایی‌که انتشارات آتی گازهای گلخانه‌ای نامعلوم است؛ بنابراین سناریوهای مختلف می توانند نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشند. می‌توان گفت عمده‌ترین منابع عدم قطعیت به خود این مدل‌ها مربوط می‌شود. این مساله زمانی روشن‌تر می‌شود که مدل‌های مختلف گردش عمومی، به دلیل استفاده از روش‌های مختلف جهت ارائه جنبه‌های سیستم اقلیمی، با وجود استفاده از سناریوهای مشابهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای باز هم پیش‌بینی‌های کاملا متفاوتی را ارائه می دهند (رابرت و کولین، ۲۰۰۷). که در این تحقیق از خروجی مدل HadCM3 از مرکز تحقیقات و پیش بینی اقلیم هادلی انگلستان استفاده خواهد شد.

متغیرهای پیش بینی کننده جوی در این مدل شامل: دما، مولفه های افقی سرعت باد، فشار سطح و ظرفیت آب مایع بوده و متغیرهای پیش بینی کننده اقیانوسی شامل: دما، شوری، مولفه های سرعت باد در جو و عمق لایه اختلاط می باشد. سایر مشخصات این مدل درجدول ۲-۱ ارائه می گردد.

جدول۲-۱-مشخصات مدل گردش عمومی جو HadCM3

مدل	سناریوی انتشار	طول دوره شبیه سازی (سال)	دوره شبیه سازی گازهای گلخانه ایی و ذرات معلق در گذشته	دقت تفکیک اقیانوسی (طول × عرض)	دقت تفکیک جوی (طول × عرض)
HadCM3	A2, A1B, B1	دوره کنترل: ۲۴۰ سناریوهای انتشار: ۱۹۵۰-۲۰۹۹	CO_2:۱۸۶۰-۱۹۸۹ SO_4:۱۸۶۰-۱۹۸۹	۱/۲۵×۱/۲۵	۲/۵×۳/۷۵

برای بررسی تغییر اقلیم به وسیله مدل های ریز مقیاس نمایی علاوه بر خروجی مدل های گردش عمومی به خروجی های مرکز ملی پیش بینی های محیطی (NCEP[1]) نیز نیاز است. این خروجی ها در سال ۱۹۹۱ به منظور تولید داده های شبکه بندی شده و فراهم نمودن نیاز محققان اقلیم در قالب پروژه هایی با عنوان "تحلیل دوباره[2]" معرفی شد. خروجی های مرکز ملی پیش بینی های محیطی شامل بازیافت

[1] National Center for Environmental Prediction
[2] Reanalysis

داده های زمینی، دریایی، رادیویی، هوایی، ماهواره ایی و دیگر داده های ثبت شده و کنترل کیفیت و شبکه بندی آن ها با وضوح مکانی افقی ۲۱۰ کیلومتر بوده که "تحلیل دوباره" بر پایه داده های ۴۰ ساله بدون تغییر در آرشیو داده ها (۱۹۹۶-۱۹۵۷) بررسی تغییر اقلیم را ممکن می کند. ابعاد شبکه های مرکز ملی، $^{\circ}$۱/۸۷۵ عرض و طول جغرافیایی و ابعاد شبکه مدل آب و هوای جهانی $^{\circ}$۲/۵ عرض و $^{\circ}$۳/۷۵ طول جغرافیایی است (ویلبی و همکاران، ۱۹۹۹).

داده های پیش بینی کننده مورد استفاده در فرآیند تحلیل دوباره اخذ شده از بانک اطلاعاتی NCEP می‌باشد. این اطلاعات در محدوده جغرافیایی ۴۶ تا ۴۷ درجه شمالی و ۳۷ تا ۳۸ درجه شرقی از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ بوده و شامل مقادیر مشخص شده در جدول ۲-۲ می باشند. لازم به ذکر است که در بانک اطلاعاتی مذکور داده های با دقت ۲/۵ در ۲/۵ درجه موجود می باشد.

جدول ۲-۲ فهرست پیش بینی کننده های مرکز ملی پیش بینی های محیطی

شماره	نام متغیر	شماره	نام متغیر
۱	فشار در تراز متوسط سطح دریا	۱۴	واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال
۲	نیروی جریان هوا در سطح زمین	۱۵	قدرت جریان هوا در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال
۳	سرعت مداری در سطح زمین	۱۶	سرعت مداری در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال
۴	سرعت نصف النهاری در سطح زمین	۱۷	سرعت نصف النهاری در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال
۵	چرخندگی در سطح زمین	۱۸	چرخندگی در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال
۶	واگرایی در سطح زمین	۱۹	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال
۷	مسیر باد در سطح زمین	۲۰	مسیر باد در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال
۸	قدرت جریان هوا در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال	۲۱	واگرایی در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال
۹	سرعت مداری در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال	۲۲	رطوبت نسبی در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال
۱۰	سرعت نصف االنهاری در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال	۲۳	رطوبت نسبی در تراز ۸۵۰ هکتو پاسکال
۱۱	چرخندگی در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال	۲۴	رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین
۱۲	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال	۲۵	رطوبت ویژه سطح زمین
۱۳	مسیر باد در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکال	۲۶	متوسط دما در ارتفاع ۲ متری