

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب

بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای مناطق مختلف کشور ایران بر اساس

سناریوهای RCP

نگارنده: شهاب دولاییان

استاد راهنما

دکتر سعید گلیان

تیر ۱۳۹۶

تقدیم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم، از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

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

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

تقدیر و تشکر

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. بر حسب وظیفه از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر گلین که به عنوان استاد راهنما همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند و با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این پژوهش بر من دریغ ننمودند، کمال تشکر را دارم.

هم چنین از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر امینی و جناب آقای دکتر عجمی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند، بسیار سپاسگزارم.

شهاب دولابیان

تیر ماه ۱۳۹۶

چکیده

در عصر حاضر، با افزایش فعالیت های صنعتی و نادیده گرفته شدن مسائل زیست محیطی، اثرات تغییر اقلیم بیشتر نمایان شده و این پدیده را به عنوان یک معضل جهانی مطرح ساخته است. تغییر اقلیم بر روی وقایع حدی از جمله سیلاب و خشکسالی اثر می گذارد. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل های گردش عمومی جو می باشند. با توجه به اهمیت این مدل ها از جهت ابزار اصلی مطالعات تغییر اقلیم و نیز تعددشان، انتخاب بهترین مدل برای هر منطقه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در این پژوهش، برای شش منطقه از کشور ایران، از خروجی ۲۵ مدل گردش عمومی جو از سری مدل های CMIP5 به منظور بررسی عملکرد و صحت سنجی این مدل ها در پیش بینی پارامترهای اقلیمی دما و بارش در دوره تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۸۱) استفاده شده است. سپس انتخاب مدل های برتر به صورت فصلی و با استفاده از معیارهای عملکردی ضریب تشخیص، خطای جذر میانگین مربعات و ضریب نش ساتکلایف صورت گرفته است. در نهایت سناریوهای انتشار آینده (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) برای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) با استفاده از روش تناسبی ریزمقیاس شده اند. نتایج حاکی از سیر صعودی دما در تمامی مناطق مورد مطالعه می باشد. افزایش دما تحت سناریوی RCP2.6 کمترین درصد و تحت سناریوی RCP8.5 بیشترین درصد را در تمامی مناطق نشان می دهد. بر خلاف دما، رژیم بارش در مناطق و سناریوهای مختلف، متفاوت می باشد. به طور کلی میانگین مجموع بارش سالیانه در دوره آتی نسبت به دوره تاریخی، در مناطق مختلف افزایش (به عنوان مثال منطقه جنوب غربی تحت تمامی سناریوها)، کاهش (به عنوان مثال منطقه جنوب شرقی تحت تمامی سناریوها) و عدم تغییر (به عنوان مثال منطقه شمال غربی تحت سناریوی RCP4.5) را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل های گردش عمومی جو CMIP5، سناریوهای انتشار RCPs، ریزمقیاس نمایی تناسبی.

فهرست مطالب

۱	فصل اول (کلیات)
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- شناخت عوامل اقلیمی
۴	۳-۱- تغییر اقلیم
۸	۴-۱- مدل های گردش عمومی جو
۱۰	۵-۱- سناریوهای انتشار
۱۷	۶-۱- ریزمقیاس نمایی
۱۸	۷-۱- اهمیت موضوع
۱۸	۸-۱- اهداف مطالعه
۲۱	فصل دوم (پیشینه و سابقه تحقیق)
۲۲	۱-۲- مقدمه
۲۳	۲-۲- تحقیقات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم، با استفاده از سناریوهای SRES
۲۳	۱-۲-۲- پیشینه پژوهش در خارج از کشور
۲۶	۲-۲-۲- پیشینه پژوهش در داخل از کشور
۲۸	۳-۲- تحقیقات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم، با استفاده از سناریوهای RCPs
۲۸	۱-۳-۲- پیشینه پژوهش در خارج از کشور
۳۲	۲-۳-۲- پیشینه پژوهش در داخل از کشور
۳۴	۴-۲- جمع بندی
۳۷	فصل سوم (مواد و روش ها)
۳۸	۱-۳- مقدمه
۳۸	۲-۳- داده های مشاهداتی و مناطق مورد مطالعه

- ۳-۳- استخراج خروجی مدل های گردش عمومی جو (GCMs) ۴۲
- ۳-۴- استخراج خروجی سناریوهای انتشار RCPs ۴۵
- ۳-۵- ریزمقیاس نمایی سناریوها به روش عامل تغییر (Change Factor) ۴۶
- ۳-۶- معیار های عملکردی ۴۸
- فصل چهارم (نتایج و بحث) ۵۱
- ۴-۱- مقدمه ۵۲
- ۴-۲- بررسی معیارهای عملکردی برای مدل های برتر در دوره تاریخی ۵۲
- ۴-۳- ارزیابی مدل های برتر در شبیه سازی بارش و دمای مناطق مورد مطالعه در دوره تاریخی ۵۵
- ۴-۴- بررسی تغییرات دما در آینده ۵۸
- ۴-۴-۱- بررسی تغییرات دمای ایستگاه تریث حیدریه (منطقه شمال شرق) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 ۵۹
- ۴-۴-۲- بررسی تغییرات دمای ایستگاه بابلسر (منطقه شمال) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 ۶۱
- ۴-۴-۳- بررسی تغییرات دمای ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 ۶۴
- ۴-۴-۴- بررسی تغییرات دمای ایستگاه یزد (منطقه مرکز) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 ۶۶
- ۴-۴-۵- بررسی تغییرات دمای ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 ۶۹
- ۴-۴-۶- بررسی تغییرات دمای ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 ۷۱

- ۷۴-۵-۴- بررسی تغییرات بارش در آینده ۷۴
- ۷۴-۵-۴-۱- بررسی تغییرات بارش ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ۷۴
- ۷۴-۵-۴-۲- بررسی تغییرات بارش ایستگاه بابلسر (منطقه شمال) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ۷۷
- ۷۴-۵-۴-۳- بررسی تغییرات بارش ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ۷۹
- ۷۴-۵-۴-۴- بررسی تغییرات بارش ایستگاه یزد (منطقه مرکز) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ۸۲
- ۷۴-۵-۴-۵- بررسی تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ۸۴
- ۷۴-۵-۴-۶- بررسی تغییرات بارش ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ۸۷
- ۹۱- فصل پنجم (نتیجه گیری، پیشنهادها) ۹۱
- ۹۲-۱-۵- نتیجه گیری ۹۲
- ۹۲-۱-۱-۵- ارزیابی دما ۹۲
- ۹۳- الف - ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق) ۹۳
- ۹۳- ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال) ۹۳
- ۹۴- ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب) ۹۴
- ۹۴- د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز) ۹۴
- ۹۴- ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق) ۹۴
- ۹۴- و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب) ۹۴

۹۵ ۲-۱-۵- ارزیابی بارش

۹۵ الف - ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق)

۹۶ ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال)

۹۶ ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب)

۹۶ د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز)

۹۷ ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق)

۹۷ و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب)

۹۷ ۲-۵- پیشنهادها

۹۹ فصل ششم (مراجع)

۱۰۰ ۶- مراجع

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱: دمای متوسط جهانی سطح زمین و اقیانوس ها بین سال های ۱۸۵۰ و ۲۰۱۲..... ۷
- شکل ۱-۲: نحوه مش بندی مدل های GCM..... ۹
- شکل ۱-۳: میزان واداشت تابشی و گازهای گلخانه ای برای سناریوهای RCP..... ۱۲
- شکل ۱-۴: تغییرات پیش بینی شده در متوسط دمای سالانه تا پایان قرن ۲۱..... ۱۵
- شکل ۱-۵: تغییرات پیش بینی شده در میانگین بارش تا پایان قرن ۲۱..... ۱۶
- شکل ۱-۳: موقعیت قرارگیری ایستگاه های مورد مطالعه..... ۴۱
- شکل ۱-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه تربت حیدریه در دوره تاریخی..... ۵۵
- شکل ۲-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه بابلسر در دوره تاریخی..... ۵۶
- شکل ۳-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه تبریز در دوره تاریخی..... ۵۶
- شکل ۴-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه یزد در دوره تاریخی..... ۵۷
- شکل ۵-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه ابرانشهر در دوره تاریخی..... ۵۸
- شکل ۶-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه آبادان در دوره تاریخی..... ۵۸
- شکل ۷-۴: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP2.6 ... ۵۹
- شکل ۸-۴: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP4.5 ... ۶۰
- شکل ۹-۴: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP8.5 ... ۶۰

- شکل ۴-۱۰: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه تربت حیدریه ۶۱
- شکل ۴-۱۱: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP2.6 ۶۲
- شکل ۴-۱۲: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP4.5 ۶۲
- شکل ۴-۱۳: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP8.5 ۶۳
- شکل ۴-۱۴: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه بابلسر ۶۴
- شکل ۴-۱۵: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP2.6 ۶۴
- شکل ۴-۱۶: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP4.5 ۶۵
- شکل ۴-۱۷: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP8.5 ۶۵
- شکل ۴-۱۸: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه تبریز ۶۶
- شکل ۴-۱۹: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP2.6 ۶۷
- شکل ۴-۲۰: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP4.5 ۶۷
- شکل ۴-۲۱: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP8.5 ۶۸
- شکل ۴-۲۲: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه یزد ۶۹
- شکل ۴-۲۳: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP2.6 ۶۹
- شکل ۴-۲۴: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP4.5 ۷۰
- شکل ۴-۲۵: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP8.5 ۷۰
- شکل ۴-۲۶: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه ایرانشهر ۷۱

- شکل ۴-۲۷: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP2.6 ۷۲
- شکل ۴-۲۸: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP4.5 ۷۲
- شکل ۴-۲۹: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP8.5 ۷۳
- شکل ۴-۳۰: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه آبادان ۷۴
- شکل ۴-۳۱: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP2.6 ۷۵
- شکل ۴-۳۲: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP4.5 ۷۵
- شکل ۴-۳۳: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP8.5 ۷۶
- شکل ۴-۳۴: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه تربت حیدریه ۷۷
- شکل ۴-۳۵: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP2.6 ۷۷
- شکل ۴-۳۶: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP4.5 ۷۸
- شکل ۴-۳۷: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP8.5 ۷۸
- شکل ۴-۳۸: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه بابلسر ۷۹
- شکل ۴-۳۹: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP2.6 ۸۰
- شکل ۴-۴۰: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP4.5 ۸۰
- شکل ۴-۴۱: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP8.5 ۸۱
- شکل ۴-۴۲: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه تبریز ۸۲
- شکل ۴-۴۳: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP2.6 ۸۲
- شکل ۴-۴۴: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP4.5 ۸۳

- شکل ۴-۴۵: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP8.5 ۸۳
- شکل ۴-۴۶: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه یزد ۸۴
- شکل ۴-۴۷: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP2.6 ۸۵
- شکل ۴-۴۸: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP4.5 ۸۵
- شکل ۴-۴۹: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP8.5 ۸۶
- شکل ۴-۵۰: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه ایرانشهر ۸۷
- شکل ۴-۵۱: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP2.6 ۸۷
- شکل ۴-۵۲: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP4.5 ۸۸
- شکل ۴-۵۳: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP8.5 ۸۸
- شکل ۴-۵۴: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه آبادان ۸۹

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۱: میانگین جهانی افزایش دما در اواسط و اواخر قرن ۲۱ نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۶-۲۰۰۵) ۱۵
- جدول ۱-۳: نام و مشخصات جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در دوره (۱۹۸۱-۲۰۰۰) .. ۴۲
- جدول ۲-۳: مشخصات مدل های گردش عمومی جو مورد استفاده در تحقیق حاضر ۴۳
- جدول ۳-۳: مشخصات سناریوهای انتشار RCPs ۴۶
- جدول ۱-۴: نتایج آماری داده های شبیه سازی شده دما برای مدل های برتر در دوره تاریخی ۵۳
- جدول ۲-۴: نتایج آماری داده های شبیه سازی شده بارش برای مدل های برتر در دوره تاریخی ۵۴

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در سال های اخیر، با افزایش جمعیت و فعالیت های بشری، انتشار گازهای گلخانه ای از جمله دی اکسید کربن افزایش یافته و تغییراتی در اکوسیستم کره زمین در حال رخ دادن است. طبق تعریف، پدیده تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک دوره زمانی بلند مدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است. تحقیقات متعددی که در زمینه تغییر اقلیم صورت گرفته، نشان داده است که گرم شدن کره زمین همراه با تغییر الگوهای بارش و بروز رخداد های آب و هوایی حاد در حال پیدایش است. تغییرات محیطی کره زمین، اثرات و پیامدهای بسیاری را برای اکوسیستم های طبیعی و کشاورزی و در نهایت جامعه در بر خواهد داشت. امروزه موضوع تغییر اقلیم جهانی در اثر فعالیت های بی رویه انسان بیش از هر زمان دیگری مورد بحث کارشناسان و سیاستگذاران در عرصه های بین المللی است. بدون تردید عوارض ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای که با گرم شدن دمای کره زمین همراه است، می تواند بر کلیه فعالیت های آتی بشر در زمینه های مختلف بویژه منابع آب موثر واقع شود. در دهه های اخیر، شدیدترین پدیده های بارندگی رخ داده است و بخش هایی از جهان، پدیده های هواشناسی مانند سیلاب های شدید، خشکسالی ها و امواج گرما را تجربه کرده اند. در حال حاضر، فعالیت های انسانی از جمله مهمترین علل تغییرات اقلیمی در جهت برهم زدن تعادل کره زمین می باشد. اخیرا مدل های عددی زیادی برای مدل سازی شرایط آب و هوایی در دهه های آینده با در نظر گرفتن شرایط مختلف دخالت بشر توسعه داده شده است. این مدل ها قادر به پیش بینی تغییرات اقلیمی در کره زمین تا پایان قرن ۲۱ هستند. مدل های تغییر اقلیم شدید در فرکانس و شدت این پدیده ها را تحلیل می نماید.

۱-۲- شناخت عوامل اقلیمی

اقلیم به شرایط آب و هوایی یک منطقه جغرافیایی نظیر دما، رطوبت، فشار اتمسفر، باد، بارش و سایر مشخصه های هواشناسی در مدت زمانی نسبتا طولانی نسبت داده می شود. در هواشناسی معمولا

شرایط حال حاضر آب و هوا مورد بررسی قرار می‌گیرد، در حالی که در اقلیم شناسی مشخصه های درازمدت آب و هوا مورد توجه است.

اقلیم تا آنجا که با آسایش انسان رابطه برقرار می‌کند، نتیجه عواملی همچون تابش آفتاب، دمای هوا، رطوبت هوا، وزش باد و میزان بارندگی است.

- **تابش آفتاب:** تابش اشعه خورشید به سطح زمین باعث ایجاد گرمای طبیعی می‌شود.
- **دمای هوا:** میزان گرما و سرمای سطح زمین عامل اصلی تعیین کننده درجه حرارت هوای بالای آن است. هوا عبور دهنده کلیه طیف های نور خورشید بوده و در اثر دریافت اشعه خورشید، دمای آن به طور مستقیم افزوده نمی‌گردد، اما لایه های هوا به وسیله تماس با سطح زمین که در اثر دریافت اشعه خورشید گرم شده اند، گرم می‌شوند و سپس لایه های گرم شده هوا، گرمای خود را بوسیله جابجایی به لایه های دیگر منتقل میکنند. جریان هوا و باد نیز باعث تماس بیشتر توده های عظیم هوا با سطح زمین شده و بدین طریق باعث گرمی هوا می‌شوند. عکس این مطلب در زمستان و شب رخ می‌دهد. بدین ترتیب که هوا در اثر تماس با سطح زمین گرمای خود را از دست می‌دهد و سرد می‌شود. در نتیجه میزان تغییرات روزانه و سالانه درجه حرارت هوا به تغییرات درجه حرارت سطح مورد تماس آن بستگی دارد. با توجه به این که سطح دریاها خیلی آهسته تر از سطح زمین تحت تاثیر آفتاب گرم می‌شوند، لذا میانگین درجه حرارت هوای بالای خشکی ها در تابستان بالا تر و در زمستان پایین تر از میانگین درجه حرارت هوای بالای دریاهاست. ارتفاع از سطح دریا نیز تعیین کننده درجه حرارت هوا می‌باشد و در یک عرض جغرافیایی مشخص، مناطقی که در ارتفاع بیشتری قرار دارند سرد تر از مناطق پایین تر هستند.

- **رطوبت هوا:** منظور از رطوبت هوا مقدار آبی است که به شکل بخار در هوا وجود دارد، که این بخار از طریق تبخیر آب سطح اقیانوس ها و دریاها و همچنین سطوح مرطوبی

چون گیاهان وارد هوا می شود. هرچه هوا گرم تر باشد بخار آب بیشتری را در خود نگه می دارد. به عنوان مثال ظرفیت پذیرش بخار آب در هوایی که دمای آن ۱۸ درجه سیلسیوس است سه برابر هوایی است که دمای آن ۲ درجه سیلسیوس می باشد. همچنین با کم شدن ارتفاع تراکم بخار آب در هوا زیاد می شود.

- **باد:** به حرکت و جریان هوا باد گفته می شود. بادهای عموماً بر اساس قدرتشان، سرعت، نوع نیرویی که موجب بوجود آوردنش است و محل جغرافیایی که رخ می دهند و یا اثر می گذارند، دسته بندی می شوند.

- **باران:** آبی است که پس از سرد شدن بخار آب موجود در جو، بوجود آمده و بر زمین می ریزد.

۱-۳- تغییر اقلیم

تغییر اقلیم، تغییر متوسط شرایط جوی در یک مکان یا ناحیه خاص می باشد. تشخیص تغییرات اقلیمی از تغییر پذیری اقلیمی، به خصوص در اقلیم های فصلی بسیار مشکل است. تغییر اقلیم نشان دهنده تغییرات غیر عادی در اقلیم درون اتمسفر زمین و پیامدهای ناشی از آن در قسمت های مختلف کره زمین می باشد. تغییرات اقلیمی به نوسانات درون محیط زمین، فرآیندهای طبیعی موجود در اطراف آن، و تأثیر فعالیت بشر بر آن برمی گردد. عوامل خارجی که می تواند اقلیم را شکل دهد اغلب نیروهای اقلیمی نامیده می شوند که شامل فرآیندهایی همچون نوسانات در تابش خورشیدی، گردش (وضعی) زمین، و مقادیر (تمرکز) گاز گلخانه ای می باشند. از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **نوسانات درون اقلیم زمین:** آب و هوا در آن و به خودی خود، یک سیستم پویای غیرخطی نامنظم است، اما در بسیاری از موارد مشاهده می شود که اقلیم (یعنی وضعیت میانگین آب و هوا) به درستی ثابت و قابل پیش بینی است. این مسئله شامل دمای متوسط، میزان بارش، روزهای آفتابی و بسیاری متغیرهای دیگری می شود که در هر

مکانی می‌توان آن را سنجش نمود. اما تغییراتی نیز درون محیط زمین وجود دارند که می‌تواند بر اقلیم آن تاثیر بگذارد.

- **یخبندان:** توده‌های یخی به عنوان یکی از حساس‌ترین شاخص‌های تغییر اقلیم شناخته می‌شوند، که عمدتاً طی دوره سرد شدن اقلیم افزایش می‌یابند (مانند دوره کوتاه یخبندان) و در طول گرم شدن آب و هوا در مقیاسهای متوسط زمانی شروع به پسرفت می‌کنند. افزایش و فروپاشی توده‌های یخی، هر دو به نوسان پذیری طبیعی و عمدتاً نیروهای تشدید کننده خارجی کمک می‌کند. اما طی قرن گذشته، توده‌های یخی نتوانسته‌اند به حد کافی لایه‌های یخی را مجدداً تولید کنند تا جبرانی برای یخ‌های از دست رفته طی ماه‌های تابستانی باشد.

- **گازهای گلخانه‌ای:** مطالعات اخیر، نشان می‌دهد که نیروی تابشی در اثر گازهای گلخانه‌ای عامل اصلی گرم شدن جهانی می‌باشد. گازهای گلخانه‌ای نیز نقش مهمی در درک تاریخچه اقلیمی زمین دارند. بر طبق این مطالعات، اثر گلخانه‌ای که در اثر به دام انداختن حرارت از سوی گازهای گلخانه‌ای، تولید گرما می‌کند، نقشی کلیدی در تنظیم دمای زمین دارد.

- **تکتونیک (زمین ساختی) صفحه‌ای:** در طولانی‌ترین مقیاس‌های زمانی، تکتونیک صفحه‌ای قاره‌ها را جابجا کرده، اقیانوس‌ها را شکل داده، کوه‌ها را تشکیل داده و از هم جدا می‌سازد و کلاً به عنوان فرآیندی که اقلیم در آن پدید می‌آید، تعریف شده است.

- **نوسان خورشیدی:** خورشید، به عنوان یک منبع فناپذیر، تقریباً تمام انرژی سیستم اقلیمی را تامین می‌نماید و یک بخش کامل در شکل‌گیری آب و هوای زمین می‌باشد. در طولانی‌ترین مقیاس‌های زمانی، خورشید همزمان با اینکه به روند اصلی تکامل خود ادامه می‌دهد، درخشان‌تر هم می‌شود.

از آغاز قرن ۲۰، دانشمندان تغییراتی در اقلیم مشاهده کرده اند که این تغییرات صرفاً نمی تواند به هر یک از تاثیرات طبیعی گذشته نسبت داده شود. این تغییر در اقلیم، که به عنوان گرمایش جهانی نیز شناخته شده است، می تواند سریعتر از هر تغییر دیگر ثبت شده اقلیمی توسط انسان ها اتفاق بیفتد. علت اصلی گرم شدن کره زمین افزایش غلظت گازهای گلخانه ای در جو از زمان انقلاب صنعتی در اواخر قرن ۱۸ است. افزایش میزان گازهایی که تابش حرارتی را جذب و دوباره منتشر می کنند، به طور مستقیم منجر می شود گرمای بیشتری در اتمسفر باقی بماند و در نتیجه افزایش درجه حرارت متوسط جهانی را سبب شود. این افزایش درجه حرارت همچنین منجر به اثرات دیگری بر روی سیستم اقلیمی می شود. این تاثیرات روی هم رفته، با عنوان اثرات آنтропоژنیک تغییر اقلیم (ناشی از فعالیت های انسانی) شناخته می شوند.

اقلیم و تغییراتش و فرآیندهای تاثیرگذار و تاثیرپذیر در این سامانه پیچیده به عنوان موضوعی همگانی و یکی از مباحث مهم علمی و دانشگاهی و حتی سیاسی و اقتصادی مطرح بوده است، به نحوی که در کشورهای پیشرفته به عنوان یکی از محورهای اساسی توسعه به شمار می رود. در این میان جغرافیدانان و سایر کارشناسان مرتبط با موضوع، با بهره گیری از فناوری های رایانه ای و بازسازی رویدادهای گذشته و روابط متقابل پدیده ها و توصیف و تشریح وضع موجود جهت نمایش و درک اصولی و سیستماتیک از واقعیت ها و فرآیند های کره زمین و رویدادهای آینده و نیز پیامدهای احتمالی اجتماعی و اقتصادی، این تغییرات را برای مدیریت بهینه کره زمین با تولید انواع مدل های اقلیمی شبیه سازی و پیش بینی می کنند. به منظور بررسی دقیق تر پدیده تغییر اقلیم و طرح آثار زیانبار و مخرب این پدیده برای نسل کنونی و نسل های آینده، در سال ۱۹۸۸ هیات بین الدوله تغییر اقلیم (IPCC)^۱ تشکیل شد. این گروه با همکاری برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (UNEP)^۲ و سازمان هواشناسی جهانی (WMO)^۳ تشکیل گردید. وظیفه اصلی IPCC تحقیق و بررسی در رابطه با مقوله های علمی و

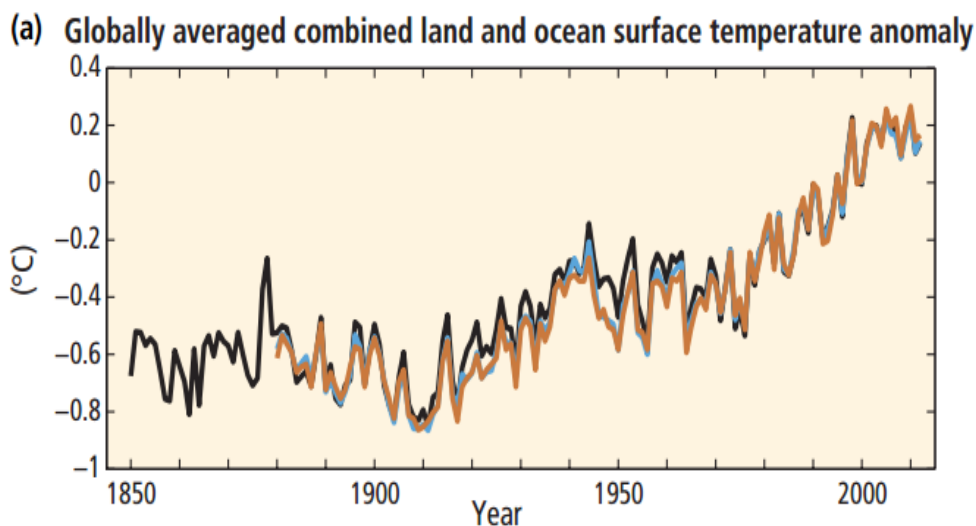
^۱ Intergovernmental Panel on Climate Change

^۲ United Nations Environment Programme

^۳ World Meteorological Organization

فنی و خطرات بالقوه تغییرات آب و هوا و همچنین اثرات آن در سطح جهان و تعیین سیاست های مقابله با آن بود. سه کارگروه توسط IPCC ایجاد شد. گروه کاری اول به مطالعه ارزیابی اطلاعات علمی، اقتصادی، اجتماعی و فنی برای درک پدیده تغییر اقلیم می پردازد، گروه کاری دوم تاثیرات بالقوه تغییر اقلیم، تطبیق با این پدیده و آسیب پذیری سیستم های مختلف تحت آن را بررسی و ارزیابی می کند و گروه کاری سوم کاهش اثرات ناشی از این پدیده را مورد بررسی قرار می دهد.

طبق گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم (AR5)^۱، هر یک از سه دهه گذشته به ترتیب گرم تر از دهه های قبل از ۱۸۵۰ میلادی بوده اند. با اطمینان بالایی در نیمکره شمالی، دوره ۲۰۱۲-۱۹۸۳ گرم ترین دوره ۳۰ ساله از ۱۴۰۰ سال گذشته است. شکل ۱-۱ تغییرات غیر متعارف مشاهده شده در دمای سطح زمین را در دوره ۲۰۱۲-۱۸۵۰ نشان می دهد [۱].



شکل ۱-۱: دمای متوسط جهانی سطح زمین و اقیانوس ها بین سال های ۱۸۵۰ و ۲۰۱۲

تغییرات مشاهده شده در بارش سالانه در سطح زمین نیز نشان می دهد که تغییرات در مقدار، شدت، فراوانی و نوع بارش اتفاق می افتد. این جنبه های بارش قاعدتا تغییر پذیری طبیعی بزرگی را نشان می دهند و ال نینو و دیگر نوسانات آب و هوایی طبیعی تاثیر قابل توجهی دارند. در طول قرن

¹ The Fifth Assessment Report on Climate Change

گذشته، با این حال، روندهای بلند مدت مشخصی در میزان بارش مشاهده شده است. شرق آمریکای شمالی و جنوبی، شمال اروپا و شمال و مرکز آسیا به طور قابل توجهی مرطوب تر، اما در ساحل، جنوب آفریقا، دریای مدیترانه و جنوب آسیا خشک تر شده است. علاوه بر این، افزایش گسترده در وقوع بارش های سنگین مشاهده شده است، حتی در مکان هایی که مقادیر کل بارش کاهش یافته است [۱].

جهت شناخت پیامدهای گرمایش جهانی ضروری است تا شرایط آبی و هوایی شبیه سازی شوند. معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل های سه بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM)^۱ هستند.

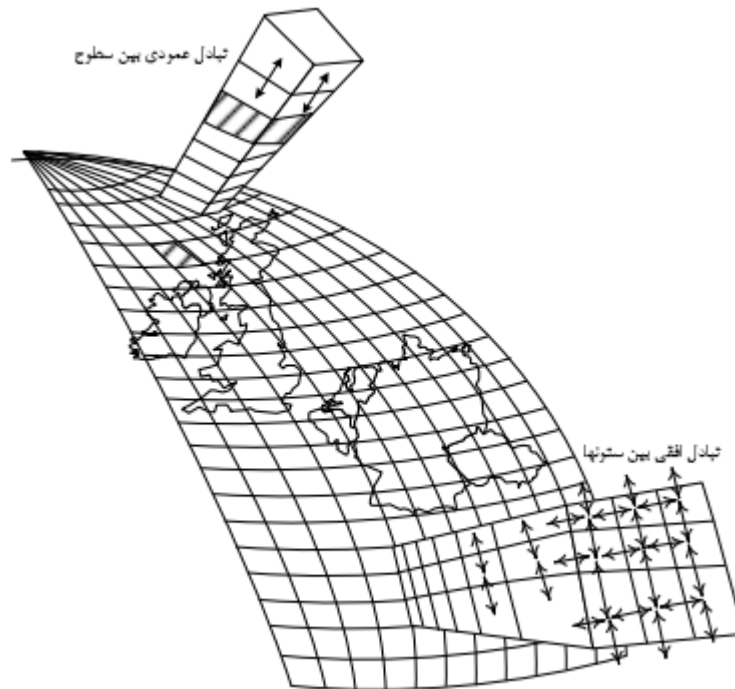
۱-۴- مدل های گردش عمومی جو

این مدل ها بر پایه قوانین فیزیکی که بوسیله روابط ریاضی ارائه می شوند، استوار می باشند. این روابط در یک شبکه سه بعدی با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ لایه در اتمسفر و تا ۳۰ لایه در اقیانوس، در سطح کره زمین حل می گردند. برای استفاده از مدل های گردش عمومی، جو به شبکه ای از عناصر حجمی مانند شکل ۱-۲ تقسیم بندی شده و سپس در هر یک از این احجام معادلات زیر حل می شود:

- **معادله بقای انرژی:** مطابق با این معادله، انرژی برابر با افزایش انرژی داخلی به علاوه کار انجام شده است.
- **معادله بقای اندازه حرکت:** مطابق با این معادله، نیرو برابر با حاصل ضرب جرم در سرعت است.
- **معادله بقای جرم:** این معادله بیان می کند که مجموع چگالی ضرب در سرعت باد (برابر با جرم) در هر سه بعد برابر با صفر است.

¹ Atmosphere-Ocean General Circulation Model

- معادله قانون گاز کامل: طبق این قانون، حاصل ضرب فشار در حجم، برابر با ثابت گاز در دمای مطلق است.



شکل ۱-۲: نحوه مش بندی مدل های GCM

مدل های تغییر اقلیم پیش بینی می کنند که اقلیم های مختلف کره زمین و پدیده های زیست شناختی آن می توانند تحت تاثیر افزایش غلظت دی اکسید کربن و در پی آن افزایش تدریجی دمای سطحی قرار گیرند. هدف مدل های گردش عمومی جو، پیش بینی تحول زمانی جو می باشد. در ارتباط با این مدل ها دو دیدگاه عمده وجود دارد:

- ۱- دیدگاهی که هدف آن استفاده از اینگونه مدل ها برای پیش بینی فصلی (از یک ماه آینده تا کمتر از یکسال) می باشد. البته اخیرا در مرکز هادلی انگلیس و سازمان هواشناسی ژاپن همین روش را برای پیش بینی های کمتر از ۵ سال نیز استفاده می کنند، اما برای مناطق حاره ای که تاثیرپذیری بیشتری از دمای پهنه های اقیانوسی دارند، در واقع دو مرکز یاد شده با استفاده از فقط داده های شرایط مرزی اقیانوسی اقدام به پیش بینی ۲ تا ۵ سال اقلیم می کنند.

۲- دومین دیدگاه استفاده از این مدل ها برای پیش بینی اقلیم در مقیاس دهه تا سده می باشد که نمونه های آن هم اکنون در مراکز مختلف اقلیمی در حال اجرا می باشد و هم اکنون اقلیم کره زمین را تا ۲۱۰۰ میلادی با استفاده از همین مدل ها شبیه سازی نموده اند.

یکی از محدودیت های اصلی در استفاده از خروجی های اقلیمی مدل های چرخه عمومی این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آنها با دقت مورد نیاز مدل های منطقه ای و هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل ها در حدود ۲۰۰ کیلومتر است، که این دقت خصوصاً برای بررسی مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما مناسب نمی باشد. با استفاده از روش کوچک مقیاس کردن، می توان خروجی های این مدل ها را به متغیرهای سطحی در مقیاس حوزه مورد مطالعه تبدیل نمود.

۱-۵- سناریوهای انتشار

با توجه به این که مهمترین ورودی مدل های گردش عمومی جو (GCMs)، میزان انتشار گازهای گلخانه ای در دوره های آتی بوده و از طرفی تعیین میزان انتشار این گازها در دوره های آتی به طور قطعی امکان پذیر نمی باشد، از این رو سناریوهای مختلفی که در برگیرنده چگونگی تغییرات این گازها در آینده می باشد، ارائه شده که آن ها را سناریوهای انتشار^۱ می نامند. سری اول سناریوهای انتشار در سال ۱۹۹۲ توسط IPCC ارائه شد، که بیانگر افزایش مقادیر گازهای گلخانه ای با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰ بود. سری دوم سناریوهای انتشار در سال ۱۹۹۵ ارائه شد. در سال ۱۹۹۶ به منظور به روز رسانی، سری جدید سناریوهای انتشار با نام SRES^۲ در یک گزارش ویژه توسط IPCC ارائه شد. در این گزارش ۴۰ سناریو برای آینده جهان ارائه شده است که در چهار شاخه اصلی یا خانواده سناریوهای (B1، B2، A2 و A1)، قرار می گیرند. سناریوهای SRES در گزارش های سوم (TAR^۳) و چهارم (AR4^۴) هیات

¹ Emission Scenario

² Special Report on Emission Scenarios

³ Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

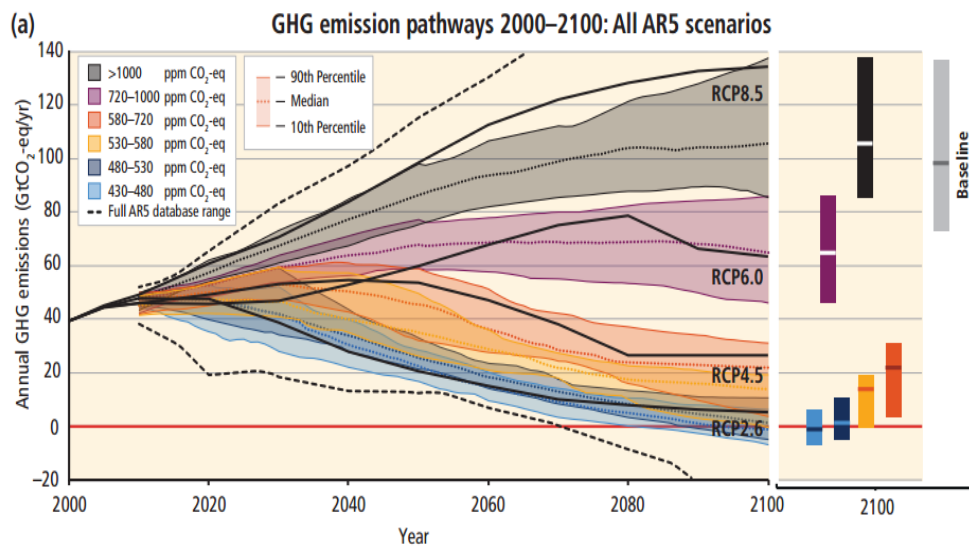
⁴ Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

بین الدوله تغییر اقلیم، که به ترتیب در سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۷ چاپ شدند، مورد استفاده قرار گرفتند. این سری از سناریوها بنا به دلایلی و به منظور بهبود سناریوهای IS92^۱ که در سال ۱۹۹۵ در گزارش قبلی IPCC مورد استفاده قرار گرفتند، طراحی شدند. هیات بین الدوله تغییر اقلیم (IPCC)، در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (AR5)، از سناریوهای جدید RCP^۲ به عنوان نماینده های چهار خط سیر کلیدی گازهای گلخانه ای با نام های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 استفاده نموده است. این سناریوها در سال ۲۰۱۴ توسط یک کمیته علمی و زیر نظر هیات بین الدوله تغییرات اقلیمی با هدف مهیا نمودن مجموعه ای از اطلاعاتی که از نتایج آن بتوان عوامل اصلی تغییرات اقلیمی را ردیابی نمود و نتایج آن را بر مدل های اقلیمی اعمال کرد، بوجود آمده اند. سناریوهای فوق بر اساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی و خط مشی ها در آینده است که در هر شرایط می تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه ای و تغییرات اقلیمی گردد. نام گذاری سناریوهای خانواده RCP، بر اساس میزان سطح واداشت های تابشی ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای تا پایان قرن ۲۱ شامل مقادیر ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ وات بر متر مربع انجام شده است. نتایج این سناریوها از سال ۱۸۵۰ تا پایان قرن ۲۱ را پوشش می دهد و تا سال ۲۹۰۰ نیز فرموله شده است. میزان واداشت تابشی و گازهای گلخانه ای (GHG^۳) برای سناریوهای جدید انتشار بر اساس گزارش پنجم هیات بین الدوله تغییر اقلیم در شکل ۱-۳ نشان نشان داده شده است [۱].

^۱ IPCC Second Assessment Report

^۲ Representative Concentration Pathways

^۳ GreenHouse Gas



شکل ۱-۳: میزان واداشت تابشی و گازهای گلخانه ای برای سناریوهای RCP

مشخصات این سناریوها بشرح ذیل می باشد:

- **سناریوی انتشار RCP2.6:** این سناریو توسط تیم مدل سازی IMAGE^۱ از موسسه ارزیابی های محیطی هلند طراحی شده است. در این سناریو میزان جمعیت تا سال ۲۱۰۰ حدود ۷ میلیارد نفر پیش بینی شده است. میزان غلظت دی اکسید کربن، تا سال ۲۱۰۰ میلادی ۴۹۰ (قسمت در میلیون) و اثر گازهای گلخانه ای بر واداشت های تابشی تا ۲/۶ وات بر متر مربع تخمین زده شده است. در این سناریو به دلیل رشد تکنولوژی های جدید، به طور کلی میزان استفاده از انرژی و سوخت های فسیلی کمتر ولیکن استفاده از انرژی های نو در این سناریو بیش از سایر سناریوها در نظر گرفته شده است. بنابراین این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش

¹ The IMAGE-team responsible for developing the RCP 2.6 are: Detlef P. van Vuuren, Elke Stehfest, Jasper van Vliet, Michel den Elzen, Angelica Mendoza-Beltran, Morna Isaac, Sebastiaan Deetman, Rineke Oostenrijk and Tom Kram.

یافته و به ۲/۶ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت

تابشی بایستی گازهای گلخانه ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند [۲].

- سناریوی انتشار RCP4.5: این سناریو توسط گروه مدل سازی MiniCAM^۱ طراحی

شده است. میزان غلظت دی اکسید کربن در این سناریو تا سال ۲۱۰۰ میلادی ۷۵۰

(قسمت در میلیون) تخمین زده شده است و واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه ای

تا قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع ثابت می ماند. در این سناریو میزان

رشد جمعیت کمتر از سناریوی RCP2.6 تخمین زده شده است اما در دیگر پارامترهای

موثر در تغییرات اقلیمی (مانند نرخ استفاده از انرژی های نو، رشد تکنولوژی و غیره)

نسبت به سناریوی RCP2.6 ضعیف تر در نظر گرفته شده است. در نتیجه سهم انتشار

گازهایی گلخانه ای تحت این سناریو در واداشت های تابشی بیش از سناریوی RCP2.6

می باشد [۳].

- سناریوی انتشار RCP6.0: این سناریو توسط گروه مدل سازی AIM^۲ در موسسه ملی

مطالعات محیطی ژاپن طراحی شده است. در این سناریو میزان جمعیت جهانی حدود ۳

میلیارد نفر تخمین زده شده است که اندکی کمتر از میزان در نظر گرفته شده در سناریوی

A2 از سری سناریوهای SRES است. میزان غلظت دی اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰

میلادی ۸۵۰ (میلیون در قسمت) و اثر گازهای گلخانه ای بر واداشت های تابشی تا ۶

وات بر متر مربع تخمین زده شده است. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰

به دلیل استفاده از فناوری های نو و سیاست های کاهش گازهای گلخانه ای، ثابت می

ماند [۴].

¹ The MiniCAM-team responsible for developing the RCP 4.5 are: Allison Thomson, Katherine Calvin, Steve Smith, Page Kyle, April Volke, Pralit Patel, Sabrina Delgado, Ben Bond-Lamberty, Marshall Wise, Leon Clarke and Jae Edmonds

² The AIM-team responsible for developing the RCP 6.0 are: Toshihiko Masui, Yasuaki Hijioka, Sawako Ishiwatari, Tsuguki Kinoshita, Ken'ichi Matsumoto, Toru Nozawa, and Mikiko Kainuma in collaboration with Etsushi Kato at Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC).

• سناریوی انتشار RCP8.5: این سناریو توسط تیم مدل سازی MESSAGE¹ و موسسه IIASA² به سرپرستی پروفیسور ریاحی در موسسه بین المللی آنابیز سیستم های کاربردی IIASA واقع در کشور اتریش، توسعه و طراحی شده است. در صورت عدم اتخاذ هیچ گونه سیاست های کاهش آثار و مقابله با پیامد های اقلیم، پیش بینی شده که آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. میزان جمعیت برای سال ۲۱۰۰ در این سناریو حدود ۱۲ میلیارد نفر خواهد بود که این میزان، جمعیتی بین سناریوی A1 و A2 از سری سناریوهای SRES می باشد. در این سناریو میزان غلظت دی اکسید کربن، تا سال ۲۱۰۰ میلادی، ۱۹۶۰ (قسمت در میلیون) تخمین زده شده است. ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می گردد. با توجه به میزان جمعیت در نظر گرفته شده در این سناریو و نیاز جمعیت ساکن در کره زمین به تامین انرژی، استفاده از انواع انرژی (به جز انرژی زیستی) و میزان انتشار گازهای گلخانه ای در این سناریو بیش از دیگر سناریوها در نظر گرفته شده است [۵].

به طور کلی سناریوهای اقلیمی، پیش بینی کننده وضعیت آینده نمی باشند، بلکه می توان این گونه تعریف کرد که سناریوهای اقلیمی یک تصویر کلی از آینده ممکن برای اقلیم می باشند.

طبق نتایج پنجمین گزارش ارزیابی تغییر اقلیم (AR5)، روندها و تاثیرات پیش بینی شده تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP به شرح ذیل می باشد:

تغییرات پیش بینی شده در متوسط دمای سطح زمین: تغییر دمای سطح زمین در جهان در پایان قرن ۲۱ به احتمال زیاد، بیش از ۱/۵ درجه سلسیوس نسبت به سطوح قبل از صنعتی شدن برای تمام سناریوهای RCP به جز RCP2.6 می باشد. این تغییر برای RCP6 و RCP8.5 احتمالاً بیش از ۲

¹ The MESSAGE-team responsible for developing the RCP 8.5 are: Keywan Riahi, Volker Krey, Shilpa Rao, Vadim Chirkov, Cheolhung Cho, Peter Kolp, Nebojsa Nakicenovic in collaboration with colleagues from other IIASA Programs: Janusz Cofala, Guenther Fischer, Arnulf Gruebler, Georg Kindermann, Zbigniew Klimont, Peter Rafaj, Wolfgang Schoepp

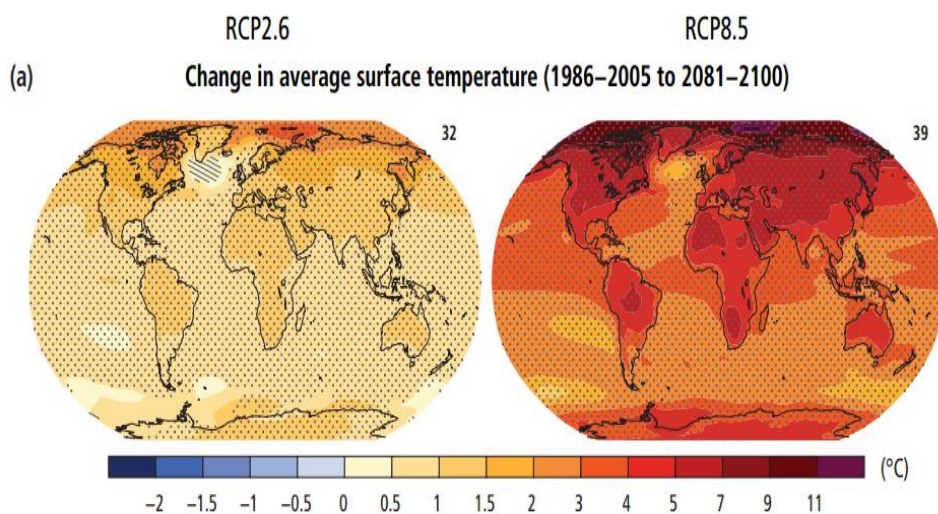
² International Institute for Applied Systems Analysis

درجه سلسیوس می باشد. جدول ۱-۱ میانگین جهانی افزایش دما در اواسط و اواخر قرن ۲۱ را نسبت به دوره تاریخی ۱۹۸۶-۲۰۰۵ نشان می دهد [۱].

جدول ۱-۱: میانگین جهانی افزایش دما در اواسط و اواخر قرن ۲۱ نسبت به دوره تاریخی ۱۹۸۶-۲۰۰۵

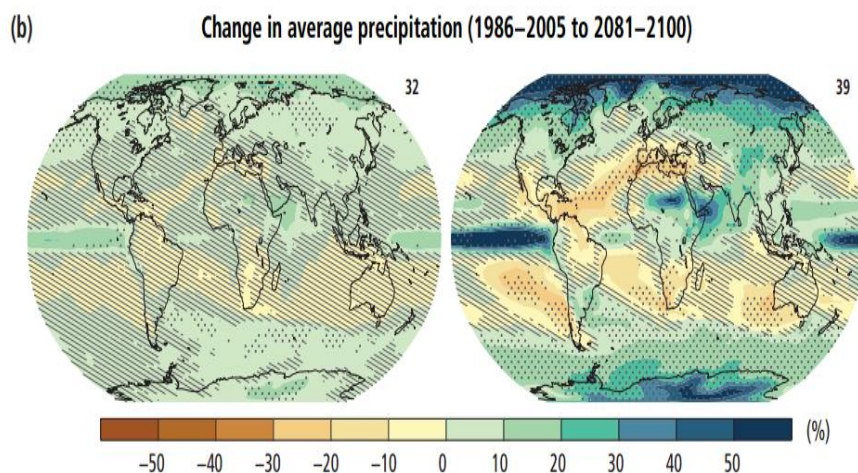
Scenario	Mean and Range (2046-2065)	Mean and Range (2081-2100)
RCP2.6	1.0 (0.4 to 1.6)	1.0 (0.3 to 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 to 2.0)	1.8 (1.1 to 2.6)
RCP6.0	1.3 (0.8 to 1.8)	2.2 (1.4 to 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 to 2.6)	3.7 (2.6 to 4.8)

طبق تمامی سناریوهای RCP، متوسط دمای جهانی، تا پایان قرن ۲۱، افزایش ۰/۳ تا ۴/۸ درجه سلسیوس خواهد داشت. شکل ۱-۴ تغییرات تغییرات پیش بینی شده در متوسط دمای سالانه تحت دو سناریوی انتشار کم (RCP2.6) و انتشار زیاد (RCP8.5) در دوره زمانی آتی (۲۰۸۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۶-۲۰۰۵) را نشان می دهد [۱].



شکل ۱-۴: تغییرات پیش بینی شده در متوسط دمای سالانه تا پایان قرن ۲۱

تغییرات پیش بینی شده در میانگین بارش: IPCC پیش بینی می کند که در طول قرن ۲۱، اختلاف در بارش بین مناطق مرطوب و خشک و بین فصول تر و خشک افزایش خواهد یافت. این بدان معناست که گرم شدن کره زمین خطرات خشک سالی و سیل را افزایش می دهد. وقایع شدید بارندگی به احتمال زیاد در بیشتر سرزمین ها در عرض های میانی و در مناطق مرطوب گرمسیری شدیدتر و مکررتر می شوند. شکل ۱-۵ تغییرات پیش بینی شده در متوسط بارش سالانه را تا پایان قرن ۲۱ تحت سناریوهای مختلف نشان می دهد. در سناریوی با انتشار کم (RCP2.6، نقشه سمت چپ) تغییرات در میانگین بارش سالانه از ۲۰ درصد در مقایسه با سطوح مربوط به سال های ۱۹۸۶-۲۰۰۵ تجاوز نخواهد کرد. با این حال، تحت سناریوی RCP8.5 (نقشه سمت راست) تغییر قابل توجهی در بارش سالانه انتظار می رود. عرض های جغرافیایی بالا و اقیانوس استوایی آرام، افزایش متوسط بارش سالانه را تجربه خواهد کرد، در حالی که در بسیاری از مناطق در عرض های میانی و مناطق خشک نیمه گرمسیری، متوسط بارش کاهش خواهد یافت [۱].



شکل ۱-۵: تغییرات پیش بینی شده در میانگین بارش تا پایان قرن ۲۱

۱-۶- ریزمقیاس نمایی

علیرغم افزایش قدرت تفکیکی افقی مدل های گردش عمومی جو، تاکنون هیچ یک از این مدل ها قادر به مدل سازی متغیرهای هواشناسی در مقیاس نقطه ای ایستگاه های هواشناسی نبوده اند. به همین دلیل از روش های مختلف دینامیکی، آماری و تناسبی برای ریزگردانی برون داد مدل های گردش عمومی جهت شناخت رفتار جو در مقیاس ریزتر استفاده می شود. در روش های دینامیکی معادلات حرکت هوا و معادلات ترمودینامیکی در شبکه های منظم محاسباتی و از طریق دریافت داده های شرایط مرزی از مدل جهانی، توسط مدل منطقه ای اقلیمی حل می شوند. از مدل های منطقه ای می توان به مدل های RegCM^۱، WRF^۲، MM5^۳ و PRECIS^۴ اشاره کرد. روش های دینامیکی به طور کلی هزینه بر بوده که در ایران کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. در روش های آماری با استفاده از داده های مشاهداتی دوره آماری و برون داد مدل گردش عمومی در دوره مشابه، یک ارتباط آماری بین رفتار متغیر هواشناسی در ایستگاه هواشناسی با همان متغیر در شبکه مدل گردش عمومی که ایستگاه مذکور را پوشش می دهد، تعیین می شود. سپس این رفتار آماری به آینده تعمیم داده می شود، به نحوی که با اعمال این رفتار به برون داد مدل گردش عمومی در دوره آینده، اقلیم ایستگاه مدنظر در مقیاس زمانی و مکانی در آینده پیش بینی می گردد. از روش های آماری می توان به شبکه عصبی مصنوعی، مدل SDSM^۵، مدل LARS-WG^۶، روش مولد های رگرسیونی، روش همبستگی CCA^۷ و روش کریجینگ اشاره کرد. یکی دیگر از روش های ریزمقیاس نمایی، روش تناسبی می باشد. این روش که عامل تغییر^۸ یا دلتا نام دارد یکی از ساده ترین روش های ریزمقیاس نمایی، بالاخص برای سناریوهای RCP که در این ایام مدل های SDSM و LARS-WG برای آن ها به روز رسانی نشده اند، می باشد. در این روش،

^۱ Regional Climate Model

^۲ Weather Research Forecast

^۳ Mesoscale Model ver.5

^۴ Providing Regional Climate for Impact Studies

^۵ Statistical DownScaling Model

^۶ Long Ashton Research Station Weather Generator

^۷ Canonical Correlation Analysis

^۸ Change Factor

عامل تغییر نسبت بین شبیه سازی اقلیم آتی به اقلیم حاضر در یک مدل گردش عمومی می باشد که به داده های مشاهداتی اعمال می شود. در محاسبه این نسبت داده های مشاهداتی هیچ تاثیری ندارند. این روش در فصل سوم به طور مفصل شرح داده خواهد شد.

۷-۱- اهمیت موضوع

تغییر اقلیم در دوره های گذشته تأثیرات گسترده ای را بر سامانه های اقلیم کره زمین داشته است. افزایش درجه ی حرارت، ذوب شدن یخ های قطبی، بالا آمدن سطح آب های آزاد و بی نظمی در پدیده های آب و هوایی از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم محسوب می شوند. همچنین به گفته ی دانشمندان باران های ناگهانی و سیل آسا، طوفان های مهیب با قدرت پیش بینی اندک، کاهش دما و یخبندان های شدید و طولانی، خشکسالی های گسترده و دمای بالای هوا همگی از نشانه های تغییر اقلیم در کره ی زمین هستند که غیرقابل پیش بینی بودن و مهارناپذیری آن ها، فاجعه بارتر از هر موضوع دیگری است.

ایران نیز همانند دیگر کشورهای جهان دچار تغییر اقلیم شده است و در زمان حاضر نیز نشانه هایی از دگرگونی اقلیمی در ایران قابل مشاهده است. افزایش ناهنجاری های جوی نظیر بارش های ناگهانی، وزش طوفان های شدید، خشکسالی و افزایش دما چند سالی است که در برخی نقاط ایران به چشم می خورد. بارش برف در شهرهای جنوبی و مرکزی کشور پس از ۵۰ سال، سرمای شدید و بارش تگرگ در فصل شکوفه دهی درختان، بارش سنگین برف در استان های مازندران، گیلان و غیره، برخی از نشانه های بی نظمی در شرایط آب و هوایی کشور است. تغییر اقلیم پدیده ای جهانی است که ایران را نیز شامل می شود. جهان در حال تغییر است و وضعیت آب و هوایی نیز بر اساس مدل ها یا سناریوهایی تا سال ۲۱۰۰ میلادی تفسیر شده اند.

۸-۱- اهداف مطالعه

اهداف تحقیق حاضر به شرح ذیل می باشد:

- ۱- استخراج خروجی داده های ۲۵ مدل گردش عمومی (GCM) برای پارامترهای بارش و دمای میانگین در هر منطقه با اقلیم های مختلف در کشور ایران در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)
- ۲- مقایسه داده های مشاهداتی با داده های شبیه سازی شده مدل ها و انتخاب مدل های بهینه به صورت فصلی و برای هر منطقه توسط معیارهای عملکردی
- ۳- استخراج خروجی سناریوهای انتشار (RCPS) برای مدل های برتر (برای هر فصل) در هر منطقه در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵)
- ۴- ریزمقیاس نمایی سناریوهای اقلیمی به روش عامل تغییر
- ۵- بررسی تغییرات بارش و دما به صورت فصلی برای دوره آتی نسبت به دوره پایه

فصل دوم

پیشینه و سابقه تحقیق

در سال های اخیر نیز توجه بسیاری از متخصصان به مسئله گرم شدن هوا و تغییراتی که در اقلیم به وجود خواهد آمد جلب شده است، به خصوص این که گرم شدن هوا بیشتر در مناطقی محسوس است که با خشکسالی نیز مواجه باشند. هرچند هنوز تعدادی از متخصصان هوا و اقلیم شناسی اتفاقاتی را که در یکی دو دهه اخیر در رابطه با افزایش دمای هوا و یا به عبارتی تغییر اقلیم در گوشه و کنار دنیا رخ داده است را موضوعی گذرا و ناپایدار می دانند، اما تعداد زیادی از دانشمندان نیز بر این عقیده اند که زمین از لحاظ محیط شناسی وارد دوران جدیدی از گرم شدن هوا شده است. بدون شناخت و آگاهی از وضعیت اقلیمی حال و آینده، مدیران و برنامه ریزان قادر به اجرای برنامه های مختلف، موضوع تغییر اقلیم و تغییر آن به عنوان یک وضعیت برگشت ناپذیر بوده و بسیاری از محققان به ابعاد مختلف این مهم پرداخته اند. آنچه مسلم است در رابطه با پدیده تغییر اقلیم تحقیقات فراوانی توسط دانشگاه ها، مراکز تحقیقاتی و محققین داخلی و بالاخص خارج از کشور انجام شده است. با توجه به تاثیر بارزتر متغیرهای دما و بارش (نسبت به دیگر متغیرهای اقلیمی) بر سیستم های منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و غیره، مطالعات اولیه در زمینه تاثیر پدیده تغییر اقلیم، عمدتاً بر روی این دو متغیر می باشد. با توجه به این که گزارش ارزیابی چهارم تغییر اقلیم (AR4)، در سال ۲۰۰۷ توسط هیئت بین الدوله تغییر اقلیم (IPCC) ارائه شده است، اکثر مطالعات انجام گرفته در این زمینه، تحت سناریوهای SRES بوده است. هم چنین با توجه به این که گزارش ارزیابی پنجم تغییر اقلیم (AR5)، در سال ۲۰۱۳ ارائه شده است، مطالعات کمتری (بالاخص در ایران) تحت سناریوهای RCPs صورت گرفته است. اما جهت پیش درآمدی بر تحقیق حاضر خلاصه ای از تحقیقات انجام شده در رابطه با پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن تحت مدل های CMIP3^۱ و سناریوهای SRES و هم چنین خلاصه ای از تحقیقات انجام شده در

¹ Coupled Model Intercomparison Project Phase ۳

رابطه با پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن تحت مدل های CMIP5^۱ و سناریوهای RCPs در داخل و خارج از کشور در ادامه آورده شده است.

۲-۲- تحقیقات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم، با استفاده از سناریوهای SRES

۲-۲-۱- پیشینه پژوهش در خارج از کشور

گونزالس روکو و همکاران^۲ (۲۰۰۰) با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو (GCM) به بررسی مطابقت روند تغییرات بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده در جنوب غرب اروپا پرداخت. در این پژوهش با استفاده از روش های آماری، خروجی مدل های گردش عمومی ریز مقیاس گردید. نتایج افزایش بارش در تمامی منطقه جز ساحل شمالی منطقه را نشان می داد. همچنین آن ها نشان دادند روند تغییرات بارش در دهه های آتی با رون تغییرات بارش مشاهداتی مطابقت دارد [۶].

پرادهوم و همکاران^۳ (۲۰۰۱) در تحقیقی به بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی و همچنین سیلاب ۵ حوضه در کشور انگلستان با در نظر گرفتن عدم قطعیت های مربوط و با استفاده از خروجی هفت مدل AOGCM پرداختند. در این تحقیق از سناریوهای انتشار SRES استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که بیشتر سناریوها در این حوضه ها شاهد افزایش دما و بارش در دوره های آتی خواهد بود [۷].

در تحقیقی که توسط ژاو و همکاران^۴ (۲۰۰۵) در آفریقای جنوبی انجام شد، واکنش متغیرهای اقلیمی این منطقه نسبت به افزایش گازهای گلخانه ای مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از خروجی مدل های گردش عمومی جو GELATO، OPA، ARPEGE تحت سناریوی B2 از مجموع سناریوهای SRES و روش ریزمقیاس کردن آماری استفاده شد. به منظور بررسی توانایی GCM ها در شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در زمان حاضر و شبیه سازی تغییرات بارش تا پایان قرن ۲۱م، از روش

^۱ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

^۲ Gonzalez-rouco et al

^۳ Prudhomme et al

^۴ Zhao et al

آنالیز همبستگی استاندارد (CCA^۱) استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که روش CCA قادر به ایجاد برقراری رابطه مناسب بین بارندگی و میانگین فشار در سطح دریا، می باشد. شبیه سازی های انجام شده در بیشتر بخش های جنوبی آفریقا نشان می دهد که تا پایان قرن ۲۱م، بارندگی به میزان ۸/۲ درصد کاهش خواهد یافت [۸].

اندرسن و همکاران^۲ (۲۰۰۶) در پژوهشی تاثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی را در حوضه رودخانه دنیش با استفاده از یک مدل چرخش عمومی تحت سناریوی A2 برای دو دوره زمانی مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی ۶ حوضه با مساحت های مختلف انتخاب گردید. نتایج نشان داد که بارش سالیانه ۴۷ میلی متر افزایش خواهد یافت [۹].

خان و همکاران^۳ (۲۰۰۶) از طریق بررسی عدم قطعیت های مشاهده شده در نتایج کوچک مقیاس شده بارش روزانه و دمای حداقل و حداکثر روزانه حاصل از سه روش کوچک مقیاس کردن را مورد ارزیابی قرار دادند. مدل SDSM، مدل LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی. آن ها جهت ارزیابی عدم قطعیت، برای مطالعه موردی منطقه ای در کانادا، میانگین و واریانس مقادیر کوچک مقیاس شده با داده های مشاهداتی را مقایسه نمودند. البته در مورد اطلاعات بارش علاوه بر بررسی مقادیر میانگین و واریانس، به مقایسه مقادیر میانگین ماهانه دوره های خشک و تر و توزیع تجمعی میانگین ماهیانه اطلاعات بارش روزانه نیز پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی عدم قطعیت نشان دهنده آن است که مدل SDSM توانسته است خصوصیات مختلف آماری داده های مشاهداتی را بهتر از سایر مدل ها در مقادیر ریز مقیاس شده حفظ نماید، مدل شبکه عصبی مصنوعی به عنوان مدل دارای ضعیف ترین عملکرد طبقه بندی شد و مدل LARS-WG در مرتبه دوم قرار گرفت [۱۰].

ویلی و هریس^۴ (۲۰۰۶) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر میزان جریان های کم رودخانه تایمز در انگلستان پرداختند. در این تحقیق منابع عدم قطعیت مربوط به مدل های AOGCM، روش های ریز

¹ Canonical Correlation Analysis

² Andersen et al

³ Khan et al

⁴ Wilby and Harris

مقیاس، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های مختلف شبیه‌سازی بارش-رواناب و عدم قطعیت مربوط به پارامترهای آن‌ها با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف و روش مونت کارلو شبیه‌سازی گردیده است. نتایج این تحقیق نشان داد که عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM بیشترین سهم و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای کم‌ترین سهم را در برآورد تابع احتمالاتی بارش-رواناب دارند [۱۱].

جاسون^۱ (۲۰۰۸) تغییر اقلیم قرن ۲۱م را در خاورمیانه مورد تحقیق قرار داد. در این راستا ۱۸ مدل اقلیمی ارائه شده در چهارمین گزارش ارزیابی تغییر اقلیم توسط IPCC، تحت سناریو انتشار A2 در پیش‌بینی دما و بارش به کار برده شد. این مدل‌ها افزایش سراسری دمای ۱ تا ۴ درجه‌ای را برای اواسط قرن و افزایش تقریباً ۴ درجه‌ای را برای اواخر قرن در منطقه خاورمیانه تخمین می‌زنند. بزرگترین تغییر، کاهش بارش است که به دلیل کاهش فعالیت خط سیر طوفان روی شرق مدیترانه، در ناحیه پوششی شرق مدیترانه، ترکیه، سوریه، شمال عراق، شمال ایران و قفقاز اتفاق می‌افتد. هم‌چنین در این ناحیه زمین‌های کشاورزی قابل کشت تا آخر قرن کاهش خواهد یافت و طول فصول خشک افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با تغییر در زمان بارش حداکثر در شمال ایران، رشد فصلی و محصولات استراتژیک و حتی گونه محصولات تغییر خواهند کرد [۱۲].

استیل دان و همکاران^۲ (۲۰۰۸) جهت بررسی تاثیر تغییر اقلیم در ۹ حوضه واقع در کشور ایرلند، داده‌های بارش و دمای استخراج شده از مدل ECHAM5 را با استفاده از روش تناسبی ریزمقیاس کردند. نتایج نشان داد که بارش زمستانه و تابستانه حوضه‌های مورد مطالعه به ترتیب افزایش و کاهش و دما در همه مناطق افزایش خواهد یافت [۱۳].

عبدو و همکاران^۳ (۲۰۰۹) برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه دریاچه تانا، داده‌های بارش و دمای حداقل و حداکثر، از مدل گردش عمومی HadCM3 و برای ریزمقیاس نمودن از

¹ Jason

² Steele-Dunne et al

³ Abdo et al

مدل ریزمقیاس نمایی آماری برای دوره های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ و ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۹۹-۲۰۷۱ تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 استفاده کردند. نتایج آن ها نشان دادند که برای دوره زمانی ۲۰۷۱-۲۰۹۹ به ترتیب حجم رواناب برای فصل بارندگی با سناریوهای A2 و B2 به ترتیب ۱۱/۶ و ۱۰/۱ درصد کاهش خواهد یافت. آن ها همچنین نشان دادند که رواناب فصلی و سالیانه، زمانی که دما ۲ درجه سانتی گراد افزایش و بارش ۲۰ درصد کاهش یابد، تقریباً ۳۳ درصد کاهش می یابد [۱۴].

۲-۲-۲- پیشینه پژوهش در داخل از کشور

در میان مطالعات صورت گرفته پیرامون تغییر اقلیم در ایران، سادات آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹) مقادیر دما و بارش ماهانه مدل HadCM3 را تحت سناریوی A2 برای حوضه آیدوغموش واقع در آذربایجان غربی، به روش تناسبی ریزمقیاس نموده اند. نتایج، نشان از افزایش دما به میزان ۱/۵ تا ۴ درجه سلسیوس و تغییرات ۳۰ تا ۴۰ درصدی بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه داشته است [۱۵].

سیاری و همکاران (۱۳۹۰) تاثیر گرمایش جهانی بر دمای حداقل و حداکثر و الگوی بارش حوضه کشف رود را تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 و دو مدل HadCM3 و CGCM3 برای سه دوره آتی بررسی نمودند. در این تحقیق، جهت ریزمقیاس نمایی از مدل ASD استفاده شده است. نتایج نشان داد که در دوره های آتی، میانگین دما طبق هر دو مدل و دو سناریو افزایش خواهد یافت، اما برای بارش، مدل HadCM3 روند افزایشی و مدل CGCM3 روند کاهشی را پیش بینی می کند [۱۶].

در تحقیقی که توسط اشرف و همکاران (۱۳۹۰) انجام گرفت، داده های HadCM3 طبق سه سناریوی A2، B1 و A1B توسط مدل LARS-WG، ریزمقیاس شده و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق حاکی از افزایش بارش های بهاره، پاییزه و زمستانه، افزایش دما و کاهش ساعت آفتابی دوره مورد مطالعه در اغلب مناطق استان بوده است [۱۷].

گودرزی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت رواناب حوضه های مناطق خشک و به صورت موردی در حوضه رودخانه اعظم هرات-یزد پرداختند. به این منظور از روش ریزمقیاس

نمایی تناسبی، خروجی های مدل CGCM3 تحت سناریوی انتشار A2 و یک مدل بارش-رواناب مفهومی IHACRES استفاده شده است. نتایج نشان از افزایش دما در همه ماه ها و افزایش میزان رواناب در اکثر ماه ها در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی دارد [۱۸].

هاشمی نسب و همکاران (۱۳۹۰) بارش دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ کرمان را با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و مدل گردش عمومی جو HadCM3 با سه سناریوی A1، B2 و A1B مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی میانگین بارش ماهیانه و فصلی نشان می دهد که بارش در همه ماه های سال و همه فصول در ایستگاه کرمان افزایش دارد. همچنین در ۲۰ سال آتی نشان می دهد که میانگین بارش در ایستگاه کرمان حدود ۲۵ درصد افزایش می یابد. بررسی طول بازه تر و خشک نشان داد که طول بازه تر رو به افزایش می باشد [۱۹].

عسکری و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم سواحل بر نوسانات آب دریای خزر با خروجی مدل گردش عمومی UKMO پرداختند. نتایج خروجی این مدل در ایستگاه های مورد مطالعه در حوضه آبریز دریای خزر نشان داد که تا پایان سال ۲۰۵۰ متوسط دما حدود ۲ درجه افزایش و بارش نیز در سطح حوضه با توجه به ایستگاه های مورد مطالعه ۱۲-۷ میلی متر کاهش خواهد داشت. با توجه به افزایش دما و کاهش بارندگی، مدل رگرسیونی تراز سطح آب را با روند کاهشی در حدود ۱ متر تا پایان سال ۲۰۵۰ پیش بینی کرد [۲۰].

امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تغییر اقلیم در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در جنوب استان کرمان با استفاده از خروجی مدل GFDLCM2.1 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 پرداختند. نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی با مدل LARS-WG نشان داد که در دوره آتی در جنوب استان کرمان شاهد افزایش دما و بارش خواهیم بود [۲۱].

دنه دزفولی و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه عملکرد مدل های گردش عمومی جو در شبیه سازی متغیر دما در ایستگاه های اهواز و آبادان با استفاده از هفت مدل پرداختند. پس از بررسی عملکرد مدل ها (HadCM3، CNRMCM3، CSIRI-MK3، GFDLCM2.0، INMCM3، IPSLCM4 و BCM2)

توسط سه معیار ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و خطای بایس و مقایسه آن ها، به این نتیجه رسیدند که مدل GFDLCM2.0 به طور مشترک دارای بهترین عملکرد در شبیه سازی دما برای هر دو ایستگاه بوده است [۲۲].

بیاتی و توکلی (۱۳۹۳) اثر تغییر اقلیم را با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 در ایستگاه خرم آباد بررسی کردند. آن ها با در نظر گرفتن سناریوهای انتشار A2 و B2 و ریزمقیاس نمایی توسط مدل آماری SDSM و مقایسه با داده های مشاهداتی، بیشترین افزایش در میانگین دمای بیشینه، کمینه و دمای متوسط تا سال ۲۱۰۰ را در این منطقه به ترتیب ۶/۹، ۴/۵ و ۶/۲۲ درجه سانتی گراد مربوط به ماه جولای و تبخیر و تعرق ۱/۰۸ میلی متر را در ماه ژوئن به دست آوردند [۲۳].

حسینی خواه و همکاران (۱۳۹۴) داده های سناریوی A2 مدل گردش عمومی جو ECHO-G و داده های مشاهداتی سه ایستگاه هواشناسی کرمانشاه، روانسر و اسلام آباد را برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی بارش حوضه آبخیز قره سو در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی توسط مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس کردند. نتایج کلی بررسی ها برای دوره مذکور نشان می دهد که بیشترین میزان افزایش بارندگی برای دوره آینده به ترتیب مربوط به ماه های دسامبر و ژانویه می باشد و بیشترین کاهش بارندگی در ماه های مارس، آوریل، می و سپتامبر خواهد بود، که نشانگر افزایش بارندگی در فصل زمستان و پائیز و کاهش آن در فصل تابستان و بهار می باشد [۲۴].

۲-۳- تحقیقات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم، با استفاده از سناریوهای RCPs

۲-۳-۱- پیشینه پژوهش در خارج از کشور

ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۴) در تحقیقی به بررسی حساسیت رواناب به تغییر درجه حرارت متوسط جهانی پرداختند. به این منظور آن ها از خروجی مدل های CMIP5 و مقایسه با مدل های CMIP3 استفاده کردند. داده های بارش ماهانه، دما و خروجی رواناب از آرشیو داده های آب و هوایی CMIP5

¹ Xuejun-Zhang et al

استخراج شد و از خروجی ۳۴ مدل GCM برای چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 که در ابعاد ۰/۵*۰/۵*۰/۵ درجه شبکه بندی شده اند، استفاده شد. تغییرات نسبت به دوره تاریخی ۱۹۷۱-۲۰۰۰ اندازه گیری شده است. به طور کلی نتایج نشان می دهد که میانگین رواناب جهانی، به ازای هر درجه سلسیوس افزایش درجه حرارت متوسط جهانی، ۲/۶ درصد افزایش خواهد داشت، در حالی که نتایج برای مدل های CMIP3، ۱/۹ درصد افزایش را نشان می دهند [۲۵].

ویگانو و همکاران^۱ (۲۰۱۵) در تحقیق خود، اثرات تغییر اقلیم آینده را در وضعیت هیدرولوژیکی و زیست محیطی رودخانه ای واقع در شمال کوه های آلپ ایتالیا ارزیابی کردند. آن ها در این تحقیق، از خروجی دو مدل ECHAM6 و CCSM4 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۴۹ استفاده کردند. در این تحقیق از روش SSRC^۲ جهت ریزمقیاس نمایی استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که تغییرات دما برای هر دو مدل روند افزایشی داشته و به طور کلی افزایش دما بین ۰/۷ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP2.6 تا ۳/۳ درجه سلسیوس تحت سناریوی RCP8.5 متغیر است، اما برای بارش هر مدل رفتار متفاوتی را نشان می دهد. مدل ECHAM6، تحت سناریوی RCP4.5 کاهش قابل ملاحظه ای را در بارش (۷۳۰ میلی متر در مقابل ۱۴۵۰ میلی متر در حال حاضر)، تا سال ۲۰۴۹ پیش بینی می کند، در حالی که مدل CCSM4، تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 افزایش اندک و تحت سناریوی RCP4.5 کاهش بسیار اندک را برای بارش تا سال ۲۰۴۹ نشان می دهد [۲۶].

وامبور و همکاران^۳ (۲۰۱۵) در تحقیق خود به بررسی عدم قطعیت رواناب در زیرحوضه رودخانه وامی واقع در تانزانیا، تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم پرداختند. آن ها در این پژوهش، ۲۰ مدل از سری مدل های گردش عمومی جو ارائه شده در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم (CMIP5-GCMs) را برای صحت سنجی با استفاده از ضریب نش ساتکلیف مورد بررسی قرار دادند. مهارت مدل ها در پیش بینی

¹ Vigano et al

² Stochastic Space Random Cascade

³ Frank-Joseph-Wambura et al

بارش در در دوره تاریخی (۲۰۰۹-۱۹۸۰) مورد بررسی قرار گرفت و از میان ۲۰ مدل GCM، شش مدل MIROC5 و IPSL-CM5A-MR، IPSL-CM5A-LR، CanESM2، BNU-ESM، bcc-csm1-1 و انتخاب شدند. پیش بینی تغییرات در آینده، با استفاده از مدل های برتر، تحت سناریوی RCP8.5 و برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ انجام گرفت و نتایج حاکی از افزایش بارش در فصل زمستان و کاهش بارش در فصول تابستان و پائیز می باشد. هم چنین نتایج نشان داد که در سال ۲۰۳۹ به طور متوسط تقاضای آب در زیرحوضه رودخانه وامی افزایش ۱۹/۷ m³/s خواهد داشت [۲۷].

ابراهیم و همکاران^۱ (۲۰۱۵) در تحقیق خود، اثرات تغییر اقلیم در رژیم جریان حوضه دریاچه چامپلین واقع در آمریکا، را شبیه سازی کردند. آن ها به این منظور داده های بارش روزانه، دمای حداقل و دمای حداکثر را مطابق با پنجمین گزارش ارزیابی تغییر اقلیم (AR5)، برای بررسی رژیم جریان در آینده مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، برای بررسی تغییرات بارش و دمای آبی از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 که با وضوح ۰/۱۲۵*۰/۱۲۵ درجه ریزمقیاس و شبکه بندی شده اند، استفاده شده است. زیر مجموعه ای از پنج مدل آب و هوایی در میان مدل های CMIP5 نشان دادند که از نظر آماری، روند معناداری در بارش مشاهده می شود، اما این روند به اندازه کافی بیانگر بارش سالیانه مشاهداتی نیست. نتایج حاکی از افزایش دما و بارش در سطح حوضه مورد مطالعه است. هم چنین نتایج این تحقیق نشان می دهد که تا پایان قرن ۲۱م، افزایش ۳۰ درصدی در حداکثر جریان هفت روزه، افزایش چهار روزه در روزهای آب گرفتگی و افزایش ۶۰ درصدی در رواناب حوضه مورد مطالعه خواهیم داشت [۲۸].

راجو و همکاران^۲ (۲۰۱۶) جهت رتبه بندی مدل های CMIP5 در پیش بینی دمای حداقل و دمای حداکثر در دوره ۱۹۶۹-۲۰۰۹، از نتایج خروجی ۳۶ مدل جهانی آب و هوا بر اساس گزارش ارزیابی پنجم (AR5) در ۴۰ ایستگاه در هند استفاده کردند. آن ها برای ارزیابی عملکرد مدل ها از سه

¹ Ibrahim-Nourein-Mohammed et al

² Srinivasa-Raju et al

شاخص ضریب همبستگی، میانگین ریشه نرمال مربعات خطا و نمره مهارت و همچنین برای محاسبه وزن هر مدل از روش آنتروپی استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داده است که برای دمای حداکثر، مدل های CNRM-CM5، FGOALS-s2 و MIROC5 به ترتیب بیش ترین وزن را دارند. برای دمای حداقل، مدل های MIROC4h، NorESM1-M، MIROC5 و CESM1-CAM5 به ترتیب بیش ترین وزن را دارند. آن ها همچنین نشان دادند که وزن های بدست آمده با استفاده از روش آنتروپی، برای دمای حداقل و دمای حداکثر در ۴۰ ایستگاه، متفاوت هستند. هم چنین بسیاری از مدل ها در هیچ یک از ۴۰ ایستگاه، هرگز سه موقعیت اول را از لحاظ وزن و رتبه بندی اشغال نکردند که نشان می دهد آن ها ممکن است برای شرایط هند مناسب نباشند [۲۹].

بشیر و همکاران^۱ (۲۰۱۶) به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در جریان رودخانه دیندر واقع در سودان، از سری سناریوهای RCP استفاده کردند. آن ها در این پژوهش خروجی چهار مدل گردش عمومی جو (GCMs) از سری مدل های گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم (AR5) را تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، و با استفاده از روش تناسبی (Change Factor)، ریزمقیاس کردند. CCSM4، MIROC-ESM، MPI-ESM-LR و MPI-ESM-MR مدل های مورد استفاده در این پژوهش بودند. شرایط آب و هوایی در دوره های 2020s، 2050s و 2080s بررسی شد و نتایج حاکی از افزایش گرما و رطوبت در همه مدل ها در محدوده مطالعاتی بود. همچنین نتایج نشان داد که پیش بینی بارش برای هر مدل و سناریو، الگوی متفاوتی را شبیه سازی می کند [۳۰].

داسلاگنا و همکاران^۲ (۲۰۱۶) اثرات تغییر اقلیم آینده در منابع آب را در منطقه ای از فلوریدای جنوبی، با استفاده از مدل های CMIP5 ارزیابی کردند. آن ها در این پژوهش برای ۳۲ ایستگاه، از داده های بارش و دمای ریزمقیاس شده با وضوح ۱۲*۱۲ کیلومتر برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۲۵-۲۰۵۵) و آینده دور (۲۰۸۵-۲۰۵۵) استفاده شده است و

¹ Amir-Basheer et al

² Tibebe-Dessalegne

تغییرات نسبت به دوره تاریخی (۱۹۷۰-۲۰۰۰) بررسی شده است. تغییرات افزایش دمای میانگین برای آینده نزدیک تحت سناریوی RCP2.6 (۰/۴ تا ۱/۶ درجه سلسیوس)، تحت سناریوی RCP4.5 (۰/۴ تا ۱/۷ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی RCP8.5 (۰/۶ تا ۱/۹ درجه سلسیوس) بدست آمد. تغییرات افزایش دمای میانگین برای آینده دور تحت سناریوی RCP2.6 (۰/۵ تا ۱/۸ درجه سلسیوس)، تحت سناریوی RCP4.5 (۰/۸ تا ۲/۲ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی RCP8.5 (۱/۶ تا ۳/۷ درجه سلسیوس) بدست آمد. تغییرات بارش بر حسب درصد نسبت به دوره تاریخی، برای آینده نزدیک تحت سناریوی RCP2.6 (۲/۶- تا ۱۵/۷ درصد)، تحت سناریوی RCP4.5 (۵/۷- تا ۱۲/۶ درصد) و تحت سناریوی RCP8.5 (۳/۳- تا ۱۲/۳ درصد) بدست آمد. تغییرات بارش بر حسب درصد نسبت به دوره تاریخی، برای آینده دور تحت سناریوی RCP2.6 (۲/۳- تا ۲۰/۲ درصد)، تحت سناریوی RCP4.5 (۶- تا ۱۶/۵ درصد) و تحت سناریوی RCP8.5 (۷/۶- تا ۲۰ درصد) بدست آمد [۳۱].

۲-۳-۲- پیشینه پژوهش در داخل از کشور

یزدان پناه و سلیمانی تبار (۱۳۹۲) جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی سیب در شمال شرق ایران، از خروجی مدل CCSM4 از سری مدل های گزارش ارزیابی پنجم هیوت بین الدوله تغییر اقلیم (CMIP5) استفاده کردند. آن ها به این منظور از داده های روزانه (دمای حداقل و حداکثر) ایستگاه های هواشناسی موجود در منطقه مطالعاتی در دوره پایه ۳۰ ساله و همچنین خروجی مدل CCSM4 برای افق ۲۰۱۲-۲۰۳۹ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده کردند. در این پژوهش برای ریزمقیاس نمایی خروجی داده های گردش عمومی، از مدل LARS-WG استفاده شد. نتایج نشان داد که برای هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 طول دوره زمانی از زمان گلدهی تا رسیدن محصول کاهش یافته، و زمان گلدهی محصول در تاریخهای جلوتری نسبت به میانگین دوره تاریخی مشاهده گردید. همچنین زمان رسیدن میوه نیز متأثر از افزایش دما در زمانهای جلوتری نسبت به میانگین حاضر اتفاق خواهد افتاد [۳۲].

در تحقیقی که توسط نظری و همکاران (۱۳۹۴) انجام شد، با استفاده از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما در دو دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ و ۲۰۶۰-۲۰۴۰ و در سه شهر مهاباد، پیرانشهر و سردشت واقع در حوزه آبریز سد مهاباد، در استان آذربایجان غربی مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها در این پژوهش از مدل SDSM جهت ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل CanESM2 استفاده کردند. نتایج خروجی از این مدل، نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارش در حوضه مورد مطالعه می‌باشد [۳۳].

زین‌العابدینی و حسامی کرمانی (۱۳۹۵) جهت بررسی اثر تغییر اقلیم در استان مازندران، از سناریوهای RCP استفاده کردند. آن‌ها در این مطالعه بارش ایستگاه کردخیل واقع در حوزه آبریز تجن را به کمک خروجی مدل گردش عمومی CanESM2 از سری مدل‌های گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم (AR5) و با استفاده از نرم‌افزار خودکار ریزمقیاس‌نمایی ASD، برای دو دوره ۳۸ ساله آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۸ و ۲۰۹۶-۲۰۵۹) و تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 شبیه‌سازی کردند. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد که تحت سناریوی RCP2.6 در هر دو دوره بیش‌ترین کاهش میانگین بارش در فصل پاییز مشاهده شده و با نزدیک شدن به فصل بهار این اختلاف (کاهش میانگین نسبت به دوره مشاهداتی) کم‌تر می‌شود. در هر دو دوره تحت سناریوی RCP4.5 کاهش میانگین بارش جزئی است و تغییرات محسوسی مشاهده نمی‌شود. بر اساس سناریوی RCP8.5 میانگین بارش در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر در دوره اول روند افزایشی و در دوره دوم روند کاهشی جزئی داشته است. همچنین در هر دو دوره تحت هر سه سناریو، در ماه مارس بیش‌ترین افزایش تعداد روزهای خشک متوالی و بیش‌ترین کاهش درصد روزهای مرطوب و در ماه ژوئن بیش‌ترین کاهش میانگین بارش مشاهده می‌شود [۳۴].

فرمانبر و دلاور (۱۳۹۵) جهت ارزیابی ریسک منطقه‌ای اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و کشاورزی در حوضه دریاچه زریبار از خروجی داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم (AR5) برای شبیه‌سازی بارش و دما در آینده استفاده کردند. در این مطالعه پس از شبیه

سازی حوضه آبریز با استفاده از مدل SWAT نتایج حاصل در مدل SWAT CUP کالیبره شده و خروجی های سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 از ۹ مدل GCM در دوره مبنا (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و دوره پیش بینی (۲۱۰۰-۲۰۷۱) جهت پیش بینی اثرات تغییر اقلیم در حوضه مورد مطالعه به مدل وارد گردید. نتایج حاصل از بررسی خروجی ها نشان می دهد که مقدار میانگین سالانه دما و بارش در منطقه مطالعاتی تا انتهای قرن بیست و یکم به ترتیب ۱ درجه سانتیگراد و ۷ میلی متر افزایش خواهد یافت. از میان مدل های استفاده شده بیشترین افزایش دما با مقدار ۵/۲ درجه در مدل CNRM-CM5 در سناریو RCP8.5 پیش بینی شده است. همچنین بیشترین مقدار افزایش بارش با مقدار ۵/۱۷ میلی متر در روز مربوط به مدل IPSL-CM5A-LR می باشد. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر گیرنده های خطر در حوضه زیربار در چارچوب ارزیابی ریسک منطقه ای نشان دهنده این است که عملکرد محصولات کشاورزی و تغذیه آبخوان در معرض بیشترین آسیب ناشی از این پدیده هستند. گندم دیم در میان محصولات کشت شده در منطقه بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات پیش بینی شده نشان داده است. این نتایج همگی لزوم بستر سازی های مناسب در منطقه جهت سازگاری با اثرات تغییر اقلیم را تاکید می کند [۳۵].

۲-۴- جمع بندی

در کشورمان، تاکنون اکثر مطالعات انجام شده در حوزه مدل سازی تغییر اقلیم، بر اساس داده های سری CMIP3 انجام شده است، لذا انجام مطالعات و به روزرسانی آن ها با داده های CMIP5، برای کاهش عدم قطعیت مدل سازی تغییر اقلیم دهه های آتی امری ضروری است. همچنین در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم غالباً از تعداد محدودی از مدل های گردش عمومی به عنوان سناریوهای اقلیمی استفاده شده است که نتایج قابل قبولی را به همراه داشته اند. ولیکن، عدم قطعیت در نتایج این مدل ها در بیشتر مطالعات نادیده گرفته شده و به تحلیل نتایج با استفاده از یک یا دو مدل گردش عمومی اکتفا شده است. با توجه به اهمیت مدل های اقلیمی به عنوان ابزار اصلی در تحقیقات تغییر اقلیم و نیز تعدد این مدل ها، انتخاب بهترین و مناسب ترین مدل برای مناطق مختلف

ایران با اقلیم های گوناگونی که دارد، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است که تاکنون در کمتر پژوهشی به آن پرداخته شده است و در اکثر موارد محققین به بررسی تغییر اقلیم در یک منطقه خاص پرداخته اند. لذا لازم است تحقیقاتی در خصوص صحت سنجی این مدل ها برای هر منطقه از ایران انجام شود و مدل هایی که دارای بهترین عملکرد هستند، در جهت به حداقل رساندن عدم قطعیت های موجود در پیش بینی های اقلیمی، در هر منطقه شناسایی شوند. مطالعه حاضر در راستای این هدف و با مقایسه ۲۵ مدل مختلف گردش عمومی جو (GCMs)، از سری مدل های CMIP5، برای مناطق مختلف ایران و شناسایی مدل های بهینه برای هر منطقه و در نهایت، بررسی تغییرات بارش و دمای میانگین در آینده تحت سناریوهای انتشار RCPS می باشد که در فصل بعد به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا توضیحاتی درباره اقلیم مناطق مختلف ایران و ایستگاه های مورد مطالعه، ارائه می شود. سپس مواد این تحقیق، شامل داده های مشاهداتی هواشناسی و خروجی مدل های اقلیمی، برای مناطق مختلف در دوره تاریخی معرفی می شود. در ادامه به عملکرد های مورد استفاده جهت صحت سنجی مدل ها و هم چنین روش ریزمقیاس نمایی تناسبی یا عامل تغییر، برای ریزمقیاس کردن خروجی سناریوهای انتشار، توضیح داده خواهد شد.

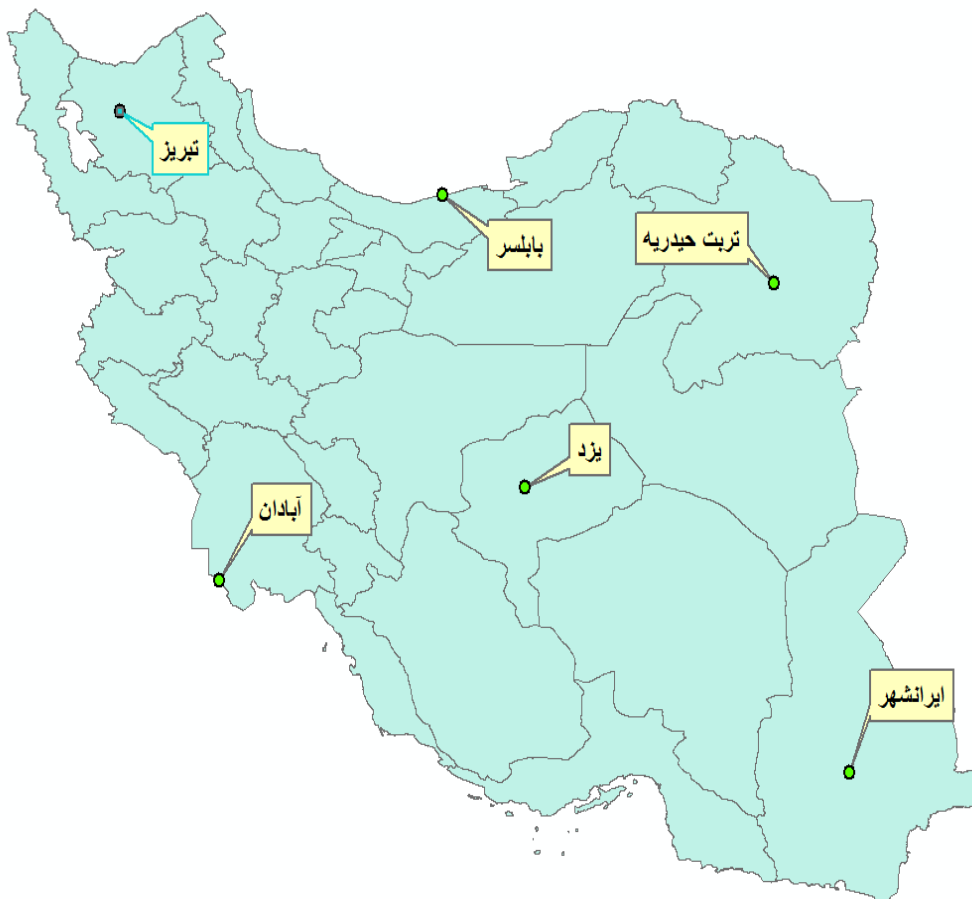
۳-۲- داده های مشاهداتی و مناطق مورد مطالعه

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۰۱۹۵ کیلومتر مربع در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی بین $25^{\circ} 03'$ و $39^{\circ} 47'$ عرض شمالی از خط استوا و $44^{\circ} 14'$ و $63^{\circ} 20'$ طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. مناطق کویری و نیمه کویری بیش از نیمی از مساحت کشور را اشغال نموده است. حدود یک سوم ایران نیز کوهستانی است و بخش کوچکی از ایران از جلگه های حاصلخیز تشکیل شده است. ایران دارای تنوع اقلیمی بالایی می باشد. از شمال تا جنوب کشور، به تدریج با مناطق آب و هوایی متفاوتی مواجه می شویم. ایران از نظر بارندگی جزو مناطق آب و هوایی خشک و نیمه خشک به شمار می رود. میزان بارش سالانه در نقاط مختلف کشور و در فصول مختلف سال متغیر است. بخش اعظم ایران در مقیاس جریان های عمومی نصف النهار جوی، منطبق بر ناحیه نشست هوا است و به این اعتبار، در یک الگوی یکنواخت توزیع اقلیم، در منطقه کمربند مناطق خشک و بیابانی جهان واقع شده است، با این وجود، تنوع اقلیمی در ایران بسیار زیاد است. در این تحقیق، شش منطقه شمال شرق، شمال، شمال غرب، مرکز، جنوب شرق، جنوب غرب و یک ایستگاه سینوپتیک به عنوان نماینده برای هر منطقه، جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم در بارش و دمای آن ایستگاه در آینده، انتخاب شده است. برای منطقه شمال شرق، ایستگاه سینوپتیک تربت حیدریه واقع در استان خراسان رضوی انتخاب شده است که این منطقه دارای آب و هوای نیمه صحرائی ملایم بوده و فعالیت اصلی اقتصادی آن کشاورزی است که در

دشتهای وسیع دامنه های جنوبی بینالود تا کویر نمک و مناطق کویری مرز افغانستان انجام می شود. این دشت ها از نظر آب و هوایی جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شوند و میزان بارندگی در آنها بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلیمتر در سال است. برای شمال ایران نیز ایستگاه سینوپتیک بابلسر واقع در استان مازندران، انتخاب شده است. این شهر در مدار معتدل گرم قرار گرفته و ضریب اعتدال این شهر بسیار معتدل است. دو جریان بزرگ نقش تعیین کننده ای در آب و هوای استان ایفا می کند. یکی جریان هوایی شمال و شمال شرقی که از سیبری و قطب شمال به سوی جنوب و جنوب غربی پیش روی می کند و موجب سردی هوا، یخبندان و ریزش برف و باران می شود. این توده هوا در تابستان به سوی شمال رانده می شود و تأثیر چندانی در آب و هوای مازندران ندارد. دیگری جریان وزش بادهای غربی است که در زمستان از اقیانوس اطلس، دریای مدیترانه و دریای سیاه عبور می کند و پس از ورود به ایران، بارندگی های شدید و مداوم را باعث می شود. در ماه های تابستان قدرت باران زایی این بادهای کاهش می یابد و فقط رطوبت و هوای شرجی را افزایش می دهد و شرایط زیستی نامناسبی را پدید می آورد. برای شمال غرب ایران، ایستگاه سینوپتیک تبریز انتخاب شده است که در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. آذربایجان شرقی یک منطقه سرد سیر و کوهستانی است. این استان همواره تحت تأثیر بادهای سرد شمالی و سیبری و بادهای مرطوب دریای سیاه و مدیترانه و اقیانوس اطلس قرار گرفته است. به علاوه، بادهای محلی نیز تحت تأثیر شرایط طبیعی استان از سوی کوهستان های بلند و دریاچه های ارومیه و خزر به سوی دشت ها و جلگه ها می وزند. موقعیت کوهستانی و عرض جغرافیایی استان از عوامل برودت و سرمای قسمت اعظم این منطقه است. کم ارتفاعی و اثرات ملایم کننده بخارهای دریای خزر در پاره ای از مناطق از عوامل اعتدالی می آید. به علاوه آذربایجان تا حدودی تحت تأثیر جریان های مرطوب دریای مدیترانه از سمت غرب و جنوب غربی قرار دارد و توده های هوای سرد سیبری نیز از شمال بر آب و هوای آن اثر می گذارد. برای قسمت مرکزی ایران، ایستگاه سینوپتیک یزد واقع در استان یزد انتخاب شده است. استان یزد اقلیم گرم و خشک و بیابانی دارد و دارای زمستان های سرد و نسبتاً مرطوب و تابستان های گرم و طولانی و خشک است. شهر یزد یکی از

کم بارش ترین شهرهای کشور است، به طوری که بارها در آمار و اخبار، بارش این شهر پائین ترین میزان در کشور اعلام شده است. نوسان درجه حرارت در زمستان و تابستان و حتی در شب و روز بسیار زیاد است. خشکی اقلیمی استان یزد دو علت اساسی و عمده دارد، یکی این که روی کمربند خشک جهانی قرار دارد و دیگر آن که از دریاهاى آزاد عمان و خلیج فارس و دریاچه‌های داخلی و بادهای رطوبت‌زای دریایی دور است. برای منطقه جنوب شرق ایران، ایستگاه سینوپتیک ایران‌شهر انتخاب شده است که در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. منطقه سیستان و بلوچستان با توجه به موقعیت جغرافیایی، از یک طرف تحت تأثیر جریان‌های جوی متعدد مانند جریان بادی شبه قاره هند و به تبع آن باران‌های موسمی اقیانوس هند است و از طرف دیگر تحت تأثیر فشار زیاد عرض‌های متوسط قرار دارد که گرمای شدید مهم‌ترین پدیده مشهود اقلیمی آن است. این استان تابستان‌های گرم و طولانی و زمستان‌های کوتاه دارد و گرم‌ترین شهر آن ایران‌شهر است. ایران‌شهر دارای اقلیم بیابانی گرم و خشک می‌باشد. اختلاف و نوسان دمای بین زمستان و تابستان و حتی در یک شبانه‌روز بسیار بالا است، ولی حداقل مطلق دما به ندرت به صفر درجه می‌رسد. در نهایت برای جنوب غرب ایران، ایستگاه سینوپتیک آبادان واقع در استان خوزستان انتخاب شده است. خوزستان از زمان‌های قدیم به داشتن هوای گرم معروف بوده‌است و آبادان نیز که شهری از شهرهای جنوبی خوزستان است، از این ویژگی مانند سایر شهرهای جنوبی استان برخوردار بوده‌است. در برخی از کتاب‌ها از آن به عنوان شهری که فاقد زمستان است نام برده‌اند. اما واقعیت این است که آبادان به علت قرارگرفتن در کنار اروندرود، رود بهمن‌شیر و رود کارون و به طور کلی در جوار خلیج فارس دارای تابستانی بسیار گرم و زمستانی معتدل است. آبادان در دشت واقع شده‌است و به علت همسایگی با صحراهای بزرگ و سوزان نظیر صحرای بزرگ عربستان و عراق، در مجموع هوای گرم و بیابانی دارد. آبادان از مناطق کم بارش کشور است که عمده همین بارندگی هم به رگبارهای زودگذر باران اختصاص دارد. باران‌های موسمی و گاه بسیار شدید، از آذر تا اردیبهشت برخی مواقع موجب جاری شدن سیل در سطح خیابان‌ها می‌شود. ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این تحقیق، تقریباً تمامی مناطق ایران با تنوع اقلیمی خاصش را پوشش می دهد. شکل ۱-۳ موقعیت قرارگیری ایستگاه ها را نشان می دهد.



شکل ۱-۳: موقعیت قرارگیری ایستگاه های مورد مطالعه

با توجه به اهمیت و اولویت متغیرهای بارش و دما نسبت به متغیرهای اقلیمی دیگر، به منظور بررسی تغییرات اقلیمی ایستگاه های انتخاب شده، از پارامترهای فوق استفاده شده است. داده های مورد استفاده در این تحقیق، شامل دو گروه داده های مشاهداتی و مدل هستند که داده های مشاهداتی برای پارامترهای مجموع بارش ماهیانه و میانگین دمای ماهیانه برای ایستگاه های مورد مطالعه در دوره زمانی تاریخی انتخاب شده برای این تحقیق (۲۰۰۰-۱۹۸۱) از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیدند.

جدول ۱-۳ مشخصات جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه و همچنین مقادیر میانگین داده های مشاهداتی را در دوره تاریخی ۱۹۸۱-۲۰۰۰ نشان می دهد.

جدول ۱-۳: نام و مشخصات جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه در دوره (۱۹۸۱-۲۰۰۰)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	بارش (mm)	دمای میانگین (°C)
ترت حیدریه	۵۹° ۱۳' E	۳۵° ۱۶' N	۱۴۵۰/۸	۲۸۳/۸۴	۱۳/۹۷
بابلسر	۵۲° ۳۹' E	۳۶° ۴۳' N	-۲۱	۹۳۲/۲۶	۱۶/۸۶
تبریز	۴۶° ۱۷' E	۳۸° ۰۵' N	۱۳۶۱	۲۶۲/۱۸	۱۲/۲۱
یزد	۵۴° ۱۷' E	۳۱° ۵۴' N	۱۲۷۳/۲	۶۰/۴۴	۱۹/۲۵
ایران شهر	۶۰° ۴۲' E	۲۷° ۱۲' N	۵۹۱/۱	۱۲۲/۸۲	۲۷/۰۱
آبادان	۴۸° ۱۵' E	۳۰° ۲۲' N	۶/۶	۱۶۴/۷۸	۲۵/۹۵

۳-۳- استخراج خروجی مدل های گردش عمومی جو (GCMs)

امروزه تهیه و استخراج داده های خروجی مدل های گردش عمومی جو (AOGCM)، از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی امکان پذیر است. مهمترین پایگاه دریافت داده های CMIP5 که پایگاه رسمی هیات بین الدول تغییر اقلیم نیز می باشد، ESGF^۱ می باشد. این پایگاه، خروجی خام مدل ها را برای دوره تاریخی و سناریوهای آینده در انواع مقیاس زمانی و برای شمار زیادی از پارامترهای اقلیمی مانند دمای میانگین، دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش، سرعت باد، فشار و غیره، در دسترس کاربران قرار داده است. با توجه به اهمیت این مدل ها و خروجی آن ها تحت آخرین سناریوهای ارائه شده توسط IPCC، برخی از مراکز و پایگاه های تحقیقاتی تغییر اقلیم، خروجی این مدل ها را به صورت سلول های کوچک تر ریزمقیاس کرده و در دسترس کاربران و محققان قرار داده اند. به عنوان مثال یکی از منابع

^۱ The Earth System Grid Federation

مهم دریافت داده های خروجی مدل های CMIP5 به منظور مطالعات تغییر اقلیم، شبکه داده های تغییر اقلیم کانادا می باشد که در سایت CCDS^۱ در دسترس عموم قرار گرفته است. این سایت متعلق به سازمان محیط زیست کانادا و با IPCC در ارتباط می باشد. در این سایت، تعدادی از مدل های CMIP5 در ابعاد ۱*۱ درجه برای دوره تاریخی و سناریوهای آینده شبکه بندی شده اند. اما در این تحقیق، از خروجی ۲۵ مدل CMIP5 با مقیاس ۰/۵*۰/۵ درجه استفاده شده است. این داده ها شامل مجموع بارش ماهیانه و دمای میانگین ماهیانه برای دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) و سناریوهای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) از سایت (<http://gdo-dcp.ucllnl.org>) دانلود شده اند. این داده ها با روش BCSD^۲، ریزمقیاس شده و به صورت سلول های ۰/۵*۰/۵ درجه شبکه بندی شده اند. جدول ۲-۳ مشخصات خام این مدل ها را نشان می دهد.

جدول ۲-۳: مشخصات مدل های گردش عمومی جو مورد استفاده در تحقیق حاضر

No	Model	Modeling Center	Institution	Resolution (Lon×Lat, Degree)
1	bcc-csm1-1	BCC	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	2.81×2.79
2	BNU-ESM	GCESS	College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University	2.81×2.79
3	CanESM2	CCCma	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis, Canada	2.81×2.79
4	CCSM4	NCAR	National Center for Atmospheric Research, USA	1.25×0.9
5	CESM1-CAM5	NSF-DOE-NCAR	National Science Foundation, Department of Energy, NCAR, USA	1.25×0.9

¹ Canadian Climate Data and Scenarios

² Bias Correction and Statistical Downscaling

6	CNRM-CM5	CNRM-CERFACS	Centre National de Recherches Meteorologiques, Meteo-France, France	1.41×1.4
7	CSIRO-Mk3-6-0	CSIRO-QCCCE	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia	1.875×1.86
8	EC-EARTH	EC-EARTH	EC-EARTH consortium	1.125×1.12
9	FGOALS-g2	LASG-IAP	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; and CESS, Tsinghua University	2.81×2.79
10	FIO-ESM	FIO	The First Institute of Oceanography, SOA, China	2.8×2.8
11	GFDL-CM3	NOAA GFDL	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	2.5×2
12	GFDL-ESM2G			
13	GFDL-ESM2M			
14	GISS-E2-R	NASA GISS	NASA Goddard Institute for Space Studies	2.5×2
15	HadGEM2-AO	MOHC	Met Office Hadley Centre	1.875×1.25
16	HadGEM2-ES	INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	
17	IPSL-CM5A-LR	IPSL	Institute Pierre-Simon Laplace, France	3.75×1.875
18	IPSL-CM5A-MR			2.5×1.25
19	MIROC5	MIROC	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	1.41×1.39
20	MIROC-ESM			
21	MIROC-ESM-CHEM			2.81×1.77
22	MPI-ESM-LR	MPI-M	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	1.875×1.85
23	MPI-ESM-MR			
24	MRI-CGCM3	MRI	Meteorological Research Institute, Japan	1.125×1.125
25	NorESM1-M	NCC	Norwegian Climate Centre	2.5×1.895

اما چنان چه قبلاً ذکر شد، عمده ترین مسئله در استفاده از خروجی مدل های اقلیمی، بزرگ مقیاس بودن سلول های محاسباتی آن ها در مقایسه با منطقه مورد مطالعه و یا به عبارت دیگر کم بودن قدرت تفکیک مکانی آن هاست. بنابراین لازم است تا خروجی آن ها قبل از استفاده در مطالعات تغییر اقلیم جهت تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس ایستگاهی، ریزمقیاس شود. در این تحقیق با توجه به هدف مطالعه، روش ریزمقیاس نمایی تناسبی که بر اساس آن، سری زمانی داده های شبیه سازی شده توسط مدل ها عیناً مورد استفاده قرار می گیرند، انتخاب شد.

۳-۴- استخراج خروجی سناریوهای انتشار RCPs

میزان انتشار گازهای گلخانه ای در دوره های آتی، ورودی اصلی مدل های اقلیمی را تشکیل می دهد. هر گونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه ای در اتمسفر زمین، باعث برهم خوردن تعادل بین اجزای سیستم اقلیم کره زمین می گردد. اما این که در آینده چه مقدار از گازهای گلخانه ای توسط جوامع بشری وارد اتمسفر زمین شده و به تبع آن چه وضعیتی برای سیستم اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست و تحت سناریوهای مختلفی ارائه شده است. در پنجمین گزارش IPCC، جامعه علمی، مجموعه ای از چهار سناریوی جدید را تعریف کرده است که تحت عنوان RCPs مشخص می شوند. این چهار سناریو شامل یک سناریو منجر به انتشار بسیار کم گازهای گلخانه ای (RCP2.6)، دو سناریوی تعادل (RCP4.5 و RCP8.5) و یک سناریو با انتشار بسیار بالای گازهای گلخانه ای (RCP8.5) می باشد. RCPs در نتیجه می توانند نشان دهنده طیف وسیعی از سیاست های اقلیمی در قرن ۲۱، در مقایسه با گزارش ویژه سیاست بدون اقلیم در سناریوهای انتشار SRES مورد استفاده در گزارش های ارزیابی سوم و چهارم باشند. به دلیل وجود عدم قطعیت در سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش حاصل از مدل های مختلف AOGCM، به کار بردن تنها یک سناریوی تغییر اقلیم نمی تواند بیانگر محدوده جواب نهایی باشد. در این تحقیق خروجی سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) برای ایستگاه های مطالعاتی، مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۳-۳ مشخصات این سناریوها به طور خلاصه آورده شده است.

جدول ۳-۳: مشخصات سناریوهای انتشار RCPs

Scenario	Description	IA Model	Publication – IA Model
RCP2.6	Peak in radiative forcing at ~ 3 W/m ² before 2100 and decline	IMAGE	Van Vuuren et al (2007)
RCP4.5	Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W/m ² at stabilization after 2100	GCAM (MiniCAM)	Smith and Wigley (2006) Clarke et al (2007) Wise et al (2009)
RCP8.5	Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W/m ² in 2100	MESSAGE	Riahi et al (2007) Rao & Riahi (2006)

۳-۵- ریزمقیاس نمایی سناریوها به روش عامل تغییر (Change Factor)

یکی از ساده ترین روش های ریزمقیاس نمایی آماری برون داد مدل های گردش کلی (GCM)، بکارگیری روش دلتا یا عامل تغییر است. عامل تغییر نسبت بین شبیه سازی های اقلیم آتی به اقلیم حاضر یک مدل گردش کلی است. در محاسبه این نسبت، داده های دیدبانی هیچ تاثیری ندارند. در روش ریزمقیاس نمایی تناسبی، متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده توسط مدل های گردش عمومی جو، مستقیماً از سلولی که ایستگاه مورد مطالعه در آن قرار دارد استخراج شده و در حقیقت، هیچ عملیات آماری مقدماتی بر روی داده های خروجی ارائه شده به کاربر صورت نگرفته است. به دلیل بزرگ بودن سلول های محاسباتی در مدل های AOGCM، شبیه سازی نوسانات اقلیمی با اغتشاش^۱ همراه است. به منظور حذف این اغتشاشات، معمولاً به جای استفاده مستقیم از داده های AOGCM در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره ای این داده ها استفاده می شود. لذا برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل، مقادیر اختلاف برای دما (رابطه ۳-۱) و نسبت برای بارش (رابطه ۳-۲) برای متوسط درازمدت هر ماه در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و دوره شبیه سازی شده پایه توسط همان مدل (۱۹۸۱-۲۰۰۰) برای هر سلول از شبکه محاسباتی که ایستگاه مورد نظر در آن قرار دارد، محاسبه می گردد.

^۱ Noise

$$CF_{Temp(i.j.k.z)} = \overline{GCM}_{future(i.j.k.z)} - \overline{GCM}_{historical(i.j.k)} \quad 1-3$$

$$CF_{Prpcp(i.j.k.z)} = \frac{\overline{GCM}_{future(i.j.k.z)}}{\overline{GCM}_{historical(i.j.k)}} \quad 2-3$$

در رابطه (۱-۳) $CF_{Temp(i.j.k.z)}$ عامل تغییر دما، $\overline{GCM}_{future(i.j.k.z)}$ میانگین دمای شبیه سازی شده مدل در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و $\overline{GCM}_{historical(i.j.k)}$ میانگین دمای شبیه سازی شده مدل در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، در ماه i ، ایستگاه j ، مدل k و تحت سناریوی z می باشند. به طور مشابه در رابطه (۲-۳) $CF_{Prpcp(i.j.k.z)}$ عامل تغییر بارش، $\overline{GCM}_{future(i.j.k.z)}$ میانگین بارش شبیه سازی شده مدل در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و $\overline{GCM}_{historical(i.j.k)}$ میانگین بارش شبیه سازی شده مدل در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، در ماه i ، ایستگاه j ، مدل k و تحت سناریوی z می باشند.

پس از بدست آوردن ضرایب فوق، در روش ریزمقیاس نمایی تناسبی، عامل تغییر برای دما به صورت عمل جمع (۳-۳) و برای فراسنج بارش به صورت عمل ضرب (۴-۳) به داده های مشاهداتی اعمال می شود.

$$Temp_{future(i.j.k.z)} = CF_{Temp(i.j.k.z)} + Temp_{obs(i.j)} \quad 3-3$$

$$Prpcp_{future(i.j.k.z)} = CF_{Prpcp(i.j.k.z)} \times Prpcp_{obs(i.j)} \quad 4-3$$

در روابط (۳-۳) و (۴-۳) $Temp_{future(i.j.k.z)}$ میانگین دمای ماهیانه و $Prpcp_{future(i.j.k.z)}$ میانگین بارش ماهیانه در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) می باشند که برای ماه i

ایستگاه j ، مدل k و تحت سناریوی Z ریزمقیاس شده اند. $Temp_{obs}(i,j)$ و $Prcp_{obs}(i,j)$ نیز مقادیر میانگین دما و بارش مشاهداتی دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، در ماه i و ایستگاه j هستند.

۳-۶- معیارهای عملکردی

در این تحقیق لازم است تا برای صحت سنجی مدل ها و انتخاب مدل بهینه برای هر ایستگاه (به صورت فصلی)، عملکرد مدل ها در شبیه سازی متغیرهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور از معیارهای عملکردی ضریب تعیین (R^2)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب نش ساتکلیف (NS) استفاده می گردد که این ضرایب، به ترتیب با روابط (۳-۵)، (۳-۶) و (۳-۷) محاسبه می شوند.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad ۳-۵$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n}} \quad ۳-۶$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad ۳-۷$$

در روابط (۳-۵)، (۳-۶) و (۳-۷)، P_i به منزله i امین داده شبیه سازی شده توسط مدل و Q_i نیز، i امین داده مشاهداتی، \bar{P} و \bar{Q} میانگین کل داده های P_i و Q_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه های مورد ارزیابی می باشند.

¹ Coefficient of Determination

² Root-Mean-Square Error

³ Nash-Sutcliffe

مقدار R^2 بیانگر ارتباط خطی بین داده های شبیه سازی شده و مشاهداتی بوده که مقدار آن بین صفر تا یک می باشد. هرچه مقدار R^2 به یک نزدیک تر باشد، نشان دهنده رابطه خطی قوی تر بین داده های شبیه سازی شده مدل و داده های مشاهداتی نظیر آن ها می باشد. خطای جذر میانگین مربعات ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش بینی توسط یک مجموعه داده است. کاهش مقدار RMSE، اختلاف میان داده های شبیه سازی شده مدل و داده های مشاهداتی نظیر آن ها را به حداقل می رساند. بنابراین هرچه RMSE کم تر باشد، عملکرد مدل بهتر است. ضریب نش-ساتکلیف نیز ضریب آماری دیگری برای ارزیابی قدرت پیش بینی مدل ها می باشد. محدوده تغییرات این ضریب بین یک تا منفی بی نهایت می باشد و هرچه این ضریب به یک نزدیک تر باشد، مدل عملکرد بهتری از خود نشان می دهد.

فصل چہارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

در این فصل طبق مطالبی که در فصول قبل گفته شد، پس از صحت سنجی مدل های اقلیمی برای هر منطقه توسط معیارهای عملکردی، مدل هایی که توانایی و عملکرد بهتری در شبیه سازی بارش و دمای هر منطقه در دوره تاریخی را دارند، به صورت فصلی انتخاب می شوند. در نهایت روندها و تغییرات پیش بینی شده در سناریوهای انتشار آینده، برای مدل های منتخب در هر منطقه به صورت مجزا برای پارامترهای بارش و دما بررسی می شود و با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی تناسبی نتایج ارائه می شود.

۴-۲- بررسی معیارهای عملکردی برای مدل های برتر در دوره تاریخی

به منظور بررسی کیفی عملکرد مدل های اقلیمی در شبیه سازی متغیرهای بارش و دما، از روابط (۳-۵)، (۳-۶) و (۳-۷) استفاده شده است. نتایج برای مجموعه ای از مدل ها بررسی شد و از میان ۲۵ مدل گردش عمومی جو، مدل هایی که دارای بهترین عملکرد در پیش بینی پارامترهای بارش و دمای مناطق مورد مطالعه این تحقیق در دوره تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۸۱) بودند، به صورت فصلی انتخاب شدند. جداول (۴-۱) و (۴-۲) به ترتیب معیارهای عملکرد مدل های اقلیمی منتخب را برای دما و بارش هر منطقه، نسبت به داده های مشاهداتی همان منطقه نشان می دهد. همچنین در بخش بعد عملکرد مدل های برتر در شبیه سازی بارش و دمای مناطق مورد مطالعه در دوره تاریخی، به تفکیک هر فصل مورد بررسی و بحث قرار خواهد گرفت.

جدول ۴-۱: نتایج آماری داده های شبیه سازی شده دما برای مدل های برتر در دوره تاریخی

فصل	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
ماه میلادی	Dec-Jan-Feb	Mar-Apr-May	Jun-Jul-Aug	Sep-Oct-Nov
دمای ایستگاه تربت حیدریه				
مدل برتر	CNRM-CM5	GFDL-ESM2G	CNRM-CM5	CCSM4
R ²	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
RMSE	۱/۱۵	۰/۶۷	۰/۰۸	۰/۸۶
NS	-۰/۶۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۷
دمای ایستگاه بابلسر				
مدل برتر	MPI-ESM-MR	GISS-E2-R	MPI-ESM-MR	CSIRO-Mk3-6-0
R ²	۰/۷۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹
RMSE	۰/۵۷	۲/۱۹	۳/۴۸	۱/۶۷
NS	۰/۵۳	۰/۷۱	-۱۰/۰۲	۰/۸۳
دمای ایستگاه تبریز				
مدل برتر	CESM1-CAM5	IPSL-CM5A-MR	CESM1-CAM5	CanESM2
R ²	۰/۸۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
RMSE	۱/۰۱	۱/۶	۱/۷	۱/۰۳
NS	۰/۲۹	۰/۹	-۰/۰۸	۰/۹۷
دمای ایستگاه یزد				
مدل برتر	BNU-ESM	CESM1-CAM5	bcc-csm1-1	bcc-csm1-1
R ²	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۹
RMSE	۱/۲۱	۲/۵۵	۳/۲۳	۲/۲۱
NS	-۰/۳	۰/۷۵	-۱۶/۴۷	۰/۸۴
دمای ایستگاه ایرانشهر				
مدل برتر	FGOALS-g2	CESM1-CAM5	CanESM2	bcc-csm1-1
R ²	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۹۹
RMSE	۱/۹۴	۳/۳۲	۴/۰۱	۳/۴۶
NS	-۳/۳۲	۰/۵۸	-۶۲/۹۱	۰/۴۷
دمای ایستگاه آبادان				
مدل برتر	HadGEM2-AO	IPSL-CM5A-MR	EC-EARTH	GFDL-CM3
R ²	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۹
RMSE	۰/۱۵	۰/۹	۱/۴۹	۰/۴
NS	۰/۹۸	۰/۹۷	-۳/۴۴	۰/۹۹

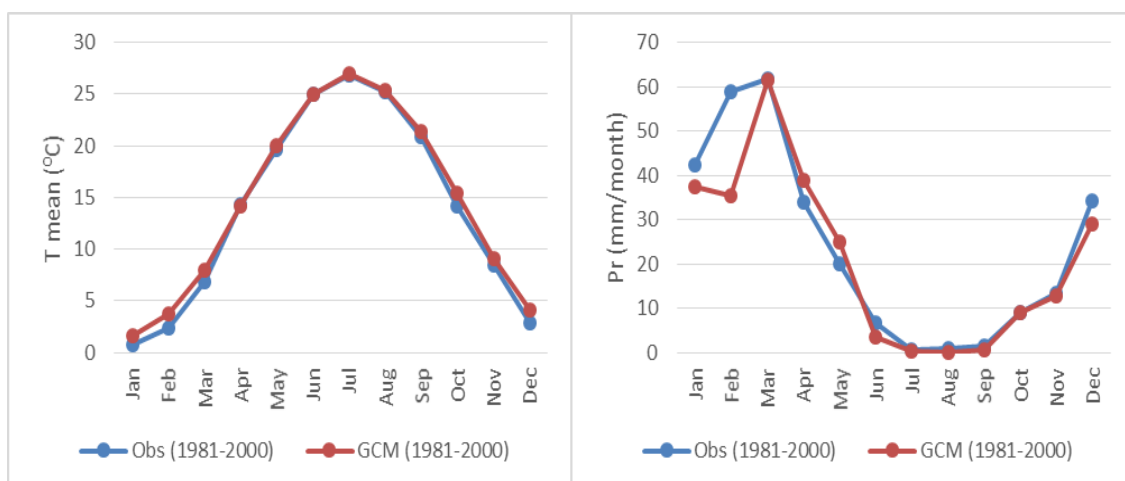
جدول ۴-۲: نتایج آماری داده های شبیه سازی شده بارش برای مدل های برتر در دوره تاریخی

فصل	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
ماه میلادی	Dec-Jan-Feb	Mar-Apr-May	Jun-Jul-Aug	Sep-Oct-Nov
بارش ایستگاه تربت حیدریه				
مدل برتر	GFDL-ESM2G	BNU-ESM	IPSL-CM5A-MR	HadGEM2-AO
R ²	۰/۳۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹
RMSE	۱۴/۲۱	۳/۹۴	۱/۹۲	۰/۶۱
NS	-۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۵۳	۰/۹۸
بارش ایستگاه بابلسر				
مدل برتر	EC-EARTH	FIO-ESM	CanESM2	IPSL-CM5A-MR
R ²	۰/۳۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۸۱
RMSE	۷۷/۵۳	۲۱/۹	۳۷/۳۲	۱۲۲/۷۲
NS	-۱۵/۶۵	-۰/۱۶	-۳/۸۸	-۴۵/۵۳
بارش ایستگاه تبریز				
مدل برتر	CSIRO-Mk3-6-0	IPSL-CM5A-MR	FIO-ESM	MIROC-ESM
R ²	۰/۲۳	۰/۸	۰/۹۹	۰/۹۶
RMSE	۵/۸۱	۱۲/۹	۸/۵۴	۳/۷
NS	-۲/۰۲	-۶/۷۱	-۱/۶۷	۰/۸۴
بارش ایستگاه یزد				
مدل برتر	HadGEM2-AO	EC-EARTH	BNU-ESM	BNU-ESM
R ²	۰/۹۹	۰/۵۶	۰/۰۵	۰/۹۵
RMSE	۶/۳۱	۶/۰۳	۱/۴۱	۰/۴۵
NS	-۴۴/۰۳	۰/۲۴	-۱۳۲/۲	۰/۹۱
بارش ایستگاه ابرانشهر				
مدل برتر	HadGEM2-ES	MPI-ESM-LR	CESM1-CAM5	NorESM1-M
R ²	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۷۵	۰/۶۶
RMSE	۲/۴۲	۰/۵۵	۶/۲۳	۱/۱۷
NS	-۱/۸۵	۰/۹۹	-۳/۰۷	-۰/۱۴
بارش ایستگاه آبادان				
مدل برتر	CESM1-CAM5	NorESM1-M	CESM1-CAM5	CanESM2
R ²	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۶	۰/۹۵
RMSE	۱/۱۱	۲/۴۳	۰/۰۴	۳/۵۹
NS	۰/۹۴	۰/۹۵	-۱/۲۶	۰/۸۸

۳-۴- ارزیابی مدل های برتر در شبیه سازی بارش و دمای مناطق مورد مطالعه در

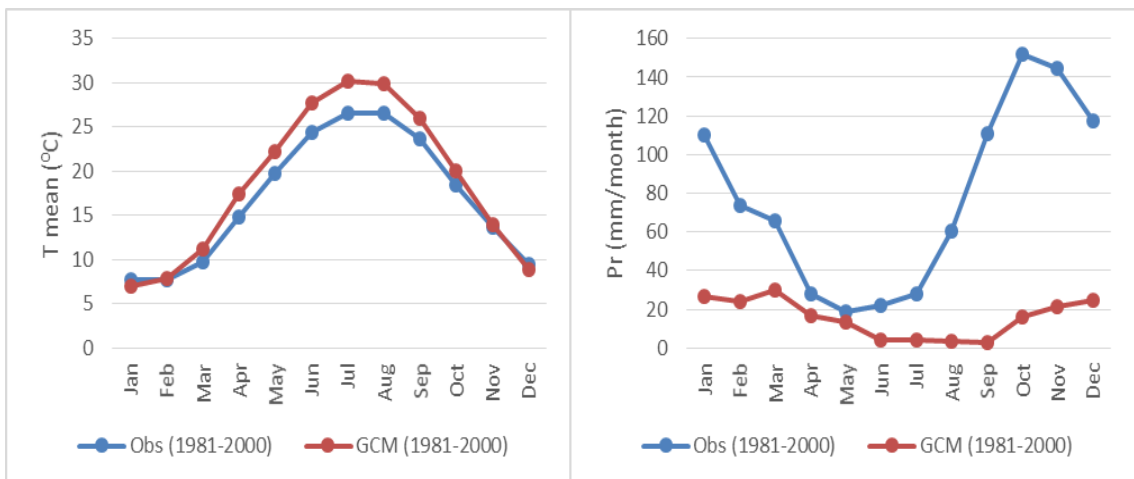
دوره تاریخی

در ایستگاه تربت حیدریه، برای پارامتر دما مدل های برتر برای تمامی فصل ها عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده اند. برای پارامتر بارش نیز عملکرد مدل های برتر غیر از فصل زمستان، بسیار مناسب می باشد. شکل ۴-۱ مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی را برای دما و بارش ایستگاه مورد نظر در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) نشان می دهد.



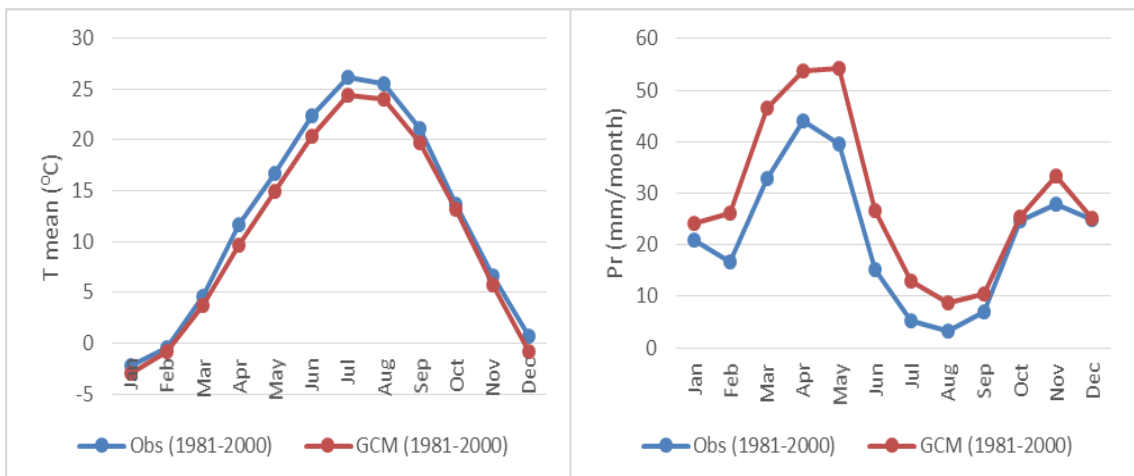
شکل ۴-۱: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه تربت حیدریه در دوره تاریخی

در ایستگاه بابلسر، برای پارامتر دما مدل های برتر در فصل زمستان عملکرد بسیار عالی، فصل پاییز عملکرد نسبتاً خوب و در فصول بهار و بخصوص تابستان عملکرد ضعیفی از خود نشان داده اند. برای پارامتر بارش نیز عملکرد مدل های برتر غیر از اواخر فصل بهار و اوایل فصل تابستان، بسیار نامناسب می باشد. شکل ۴-۲ مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی را برای دما و بارش ایستگاه مورد نظر در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) نشان می دهد.



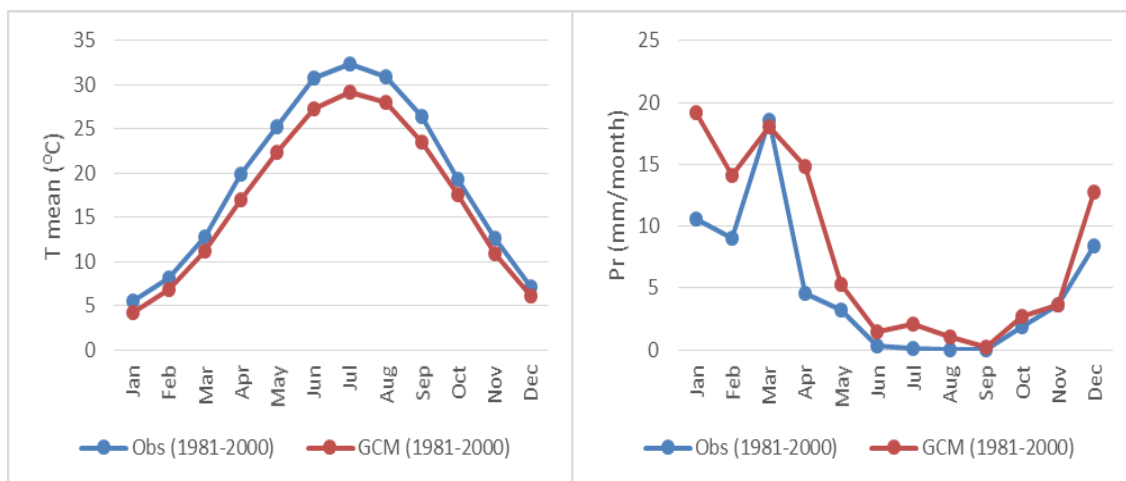
شکل ۲-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه بابلسر در دوره تاریخی

در ایستگاه تبریز، برای پارامتر دما مدل های برتر برای تمامی فصل ها بخصوص فصول پاییز و زمستان، عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده اند. برای پارامتر بارش نیز عملکرد مدل های برتر غیر از فصول پاییز و زمستان، نسبتا نامناسب می باشد. شکل ۳-۴ مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی را برای دما و بارش ایستگاه مورد نظر در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) نشان می دهد.



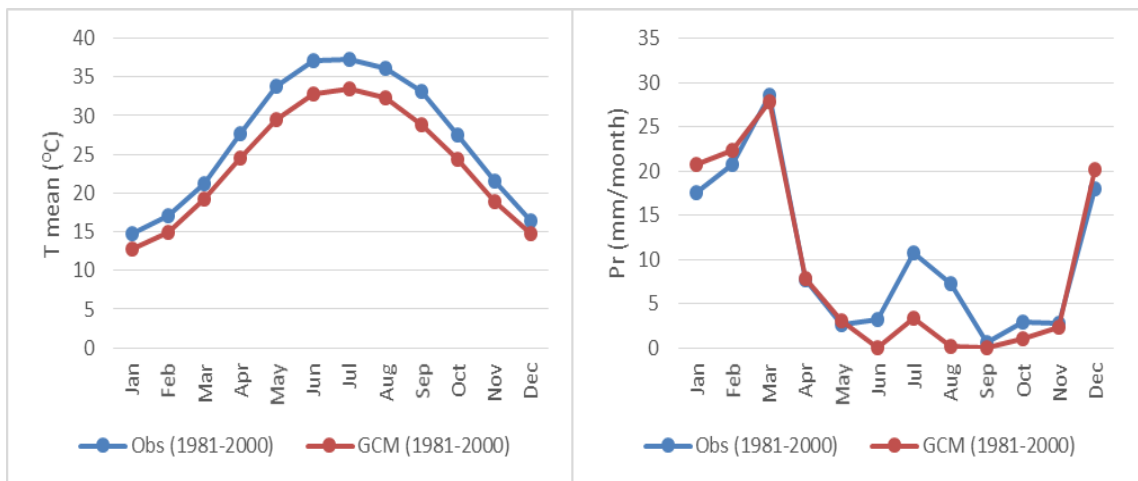
شکل ۳-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه تبریز در دوره تاریخی

در ایستگاه یزد، برای پارامتر دما مدل های برتر برای فصول سرد، عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده اند. برای پارامتر بارش نیز عملکرد مدل های برتر غیر از فصول زمستان و بهار، بسیار مناسب می باشد. شکل ۴-۴ مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی را برای دما و بارش ایستگاه مورد نظر در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) نشان می دهد.



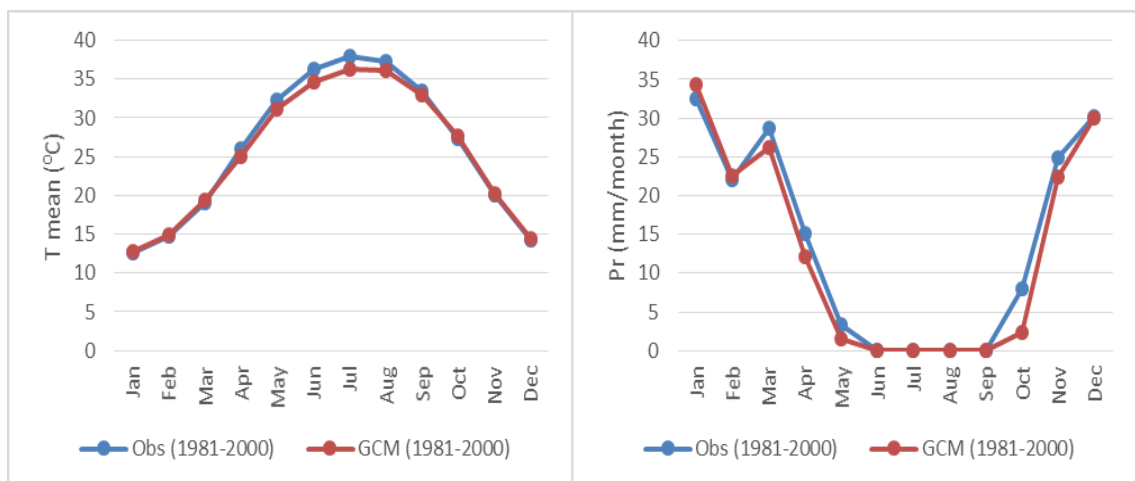
شکل ۴-۴: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و بارش برای ایستگاه یزد در دوره تاریخی

در ایستگاه ایرانشهر، برای پارامتر دما مدل های برتر برای فصول سرد عملکرد نسبتا مناسب و برای فصول گرم عملکرد نسبتا نامناسبی از خود نشان داده اند. برای پارامتر بارش نیز عملکرد مدل های برتر برای فصل بهار بسیار عالی، پاییز و زمستان نسبتا خوب و فصل تابستان ضعیف می باشد. شکل ۵-۴ مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی را برای دما و بارش ایستگاه مورد نظر در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) نشان می دهد.



شکل ۴-۵: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و باش برای ایستگاه اهواز در دوره تاریخی

در ایستگاه آبادان، برای پارامتر دما و بارش مدل های برتر برای تمامی فصول عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده اند. شکل ۴-۶ مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهداتی را برای دما و بارش ایستگاه مورد نظر در دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) نشان می دهد.



شکل ۴-۶: مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده دما و باش برای ایستگاه آبادان در دوره تاریخی

همان طور که مشاهده می شود، نتایج نشان می دهد که در مناطق گرمسیری (ایستگاه های اهواز و یزد) در فصل تابستان، عملکرد مدل های برتر در شبیه سازی متغیر دما و همچنین در مناطق پر

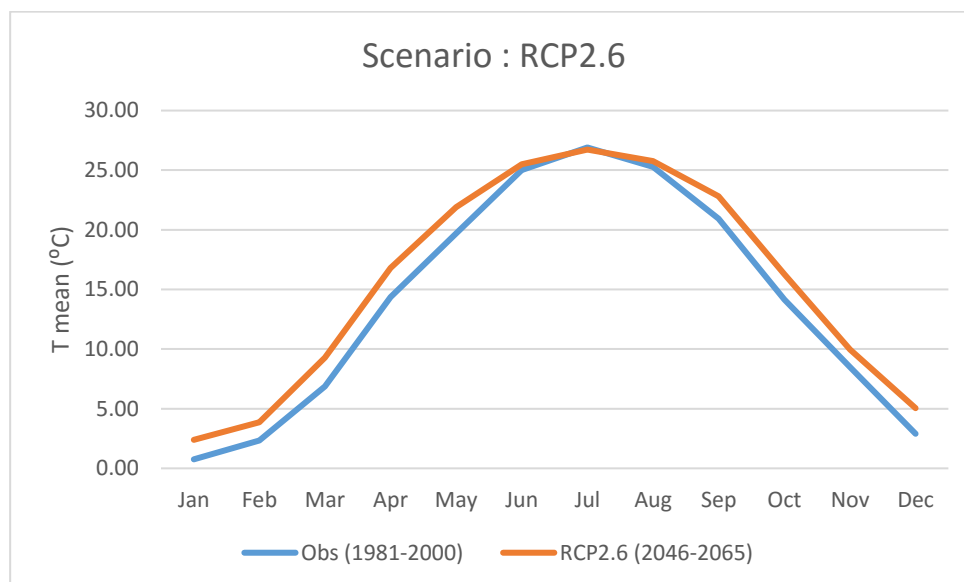
بارش (ایستگاه بابلسر) در فصول پاییز و زمستان، عملکرد مدل های برتر در شبیه سازی متغیر بارش با خطاهای بیشتری همراه است.

۴-۴- بررسی تغییرات دما در آینده

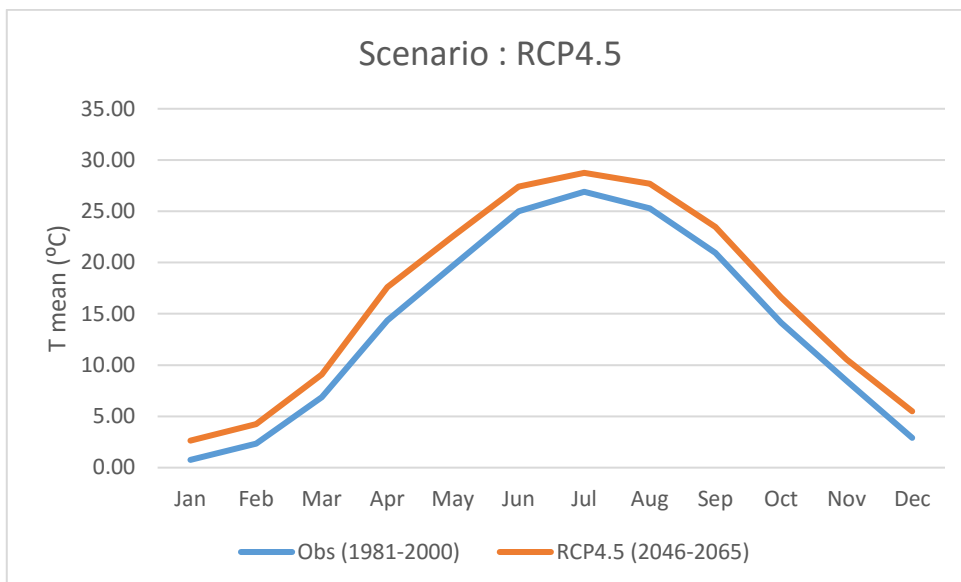
در این قسمت به ترتیب به بررسی تغییرات پیش بینی شده طبق مدل های برتر انتخاب شده برای هر فصل از دمای ایستگاه های مورد مطالعه (تربت حیدریه، بابلسر، تبریز، یزد، ایرانشهر و آبادان) می پردازیم. در نهایت نتایج ریزمقیاس شده برای سناریوهای انتشار (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) هم به صورت مجزا و هم در کنار هم ارائه می شود و با داده های مشاهداتی مقایسه می شود.

۴-۴-۱- بررسی تغییرات دمای ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق) بر اساس خروجی

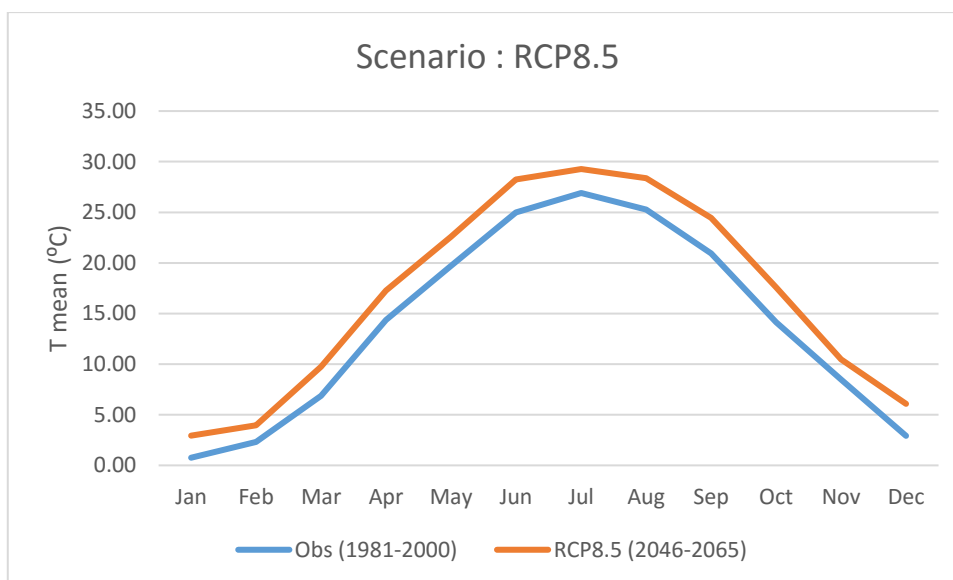
مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۷: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP2.6



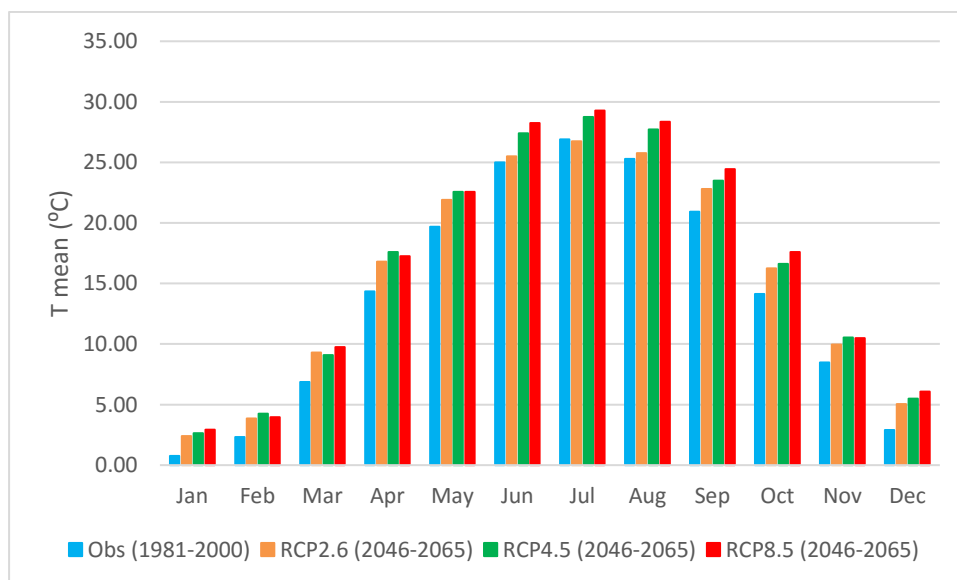
شکل ۴-۸: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۹: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP8.5

همان طور که در شکل های (۴-۷) تا (۴-۹) ملاحظه می شود، تمامی سناریوها برای ایستگاه تربت حیدریه افزایش دما در دوره آتی را پیش بینی می کنند. کم ترین افزایش دما طبق سناریوی RCP2.6 در فصل تابستان می باشد. هم چنین بیشترین افزایش دما طبق سناریوی RCP8.5 در فصل

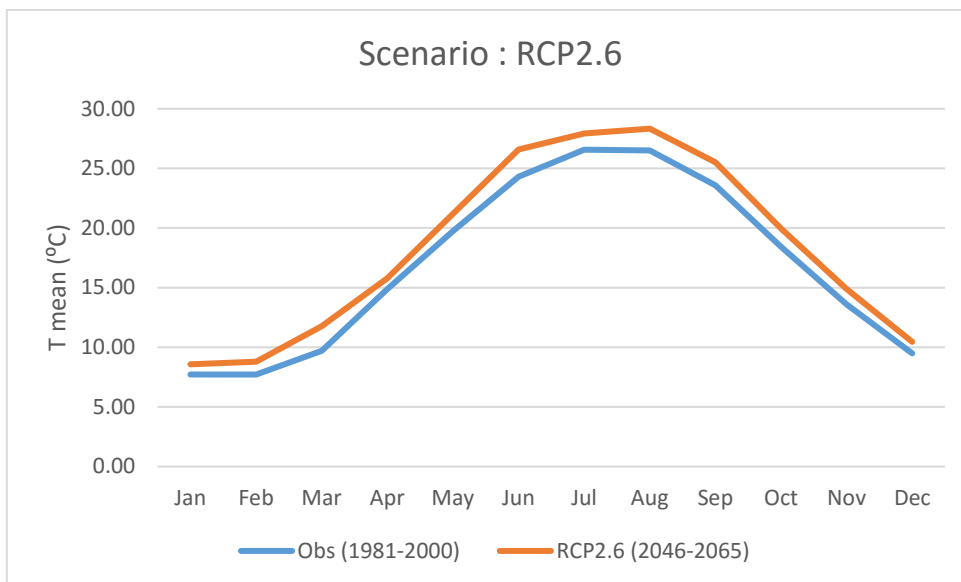
پاییز می باشد. هم چنین پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۷۷، ۲/۱۴ و ۲/۳۳ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲/۳۶، ۲/۷۸ و ۲/۸۸ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۰/۲۶، ۲/۲۲ و ۲/۹ درجه سلسیوس افزایش دما و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۸۳، ۲/۳۷ و ۲/۹۹ درجه سلسیوس افزایش دما را نشان می دهد. شکل (۴-۱۰) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



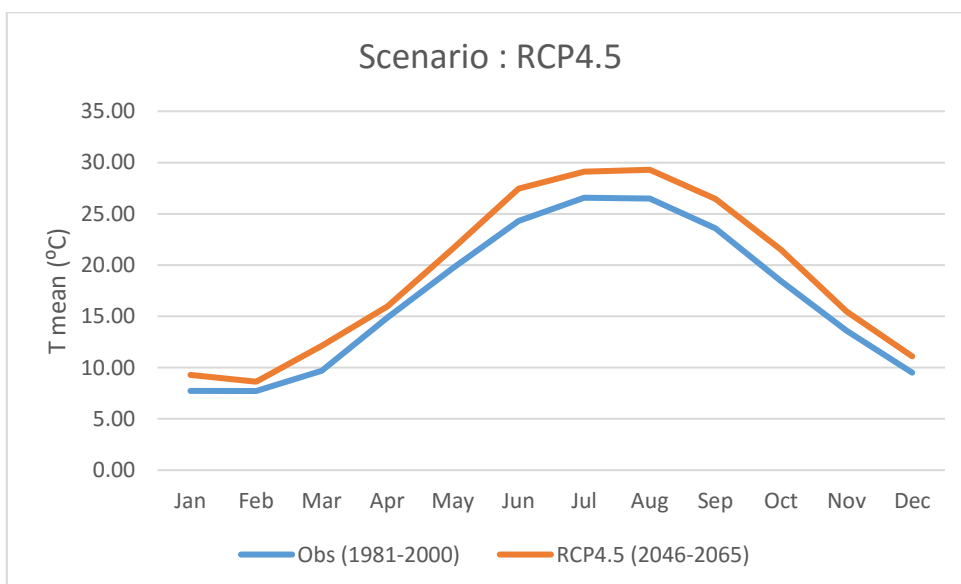
شکل ۴-۱۰: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه تربت حیدریه

۴-۴-۲- بررسی تغییرات دمای ایستگاه بابلسر (منطقه شمال) بر اساس خروجی مدل های

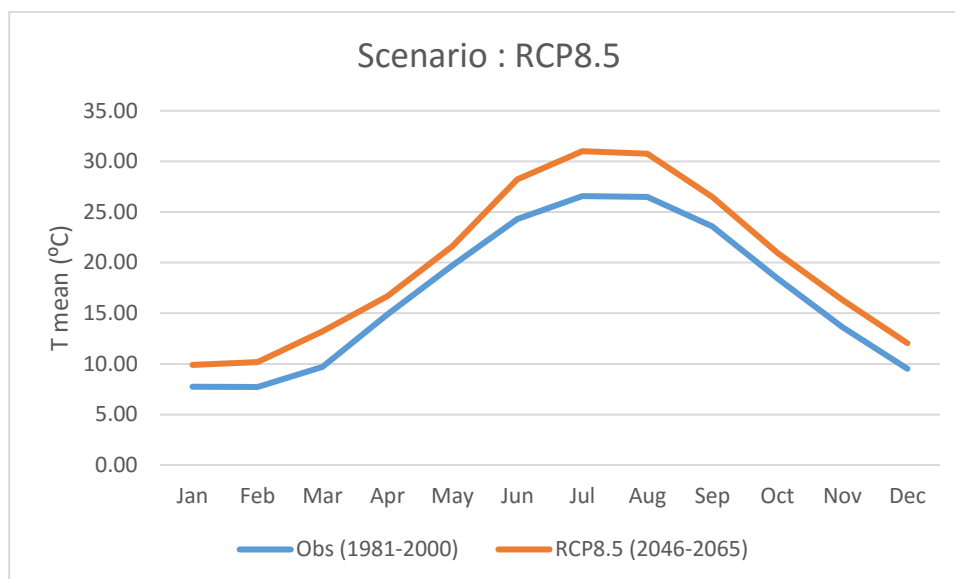
برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۱۱: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP2.6

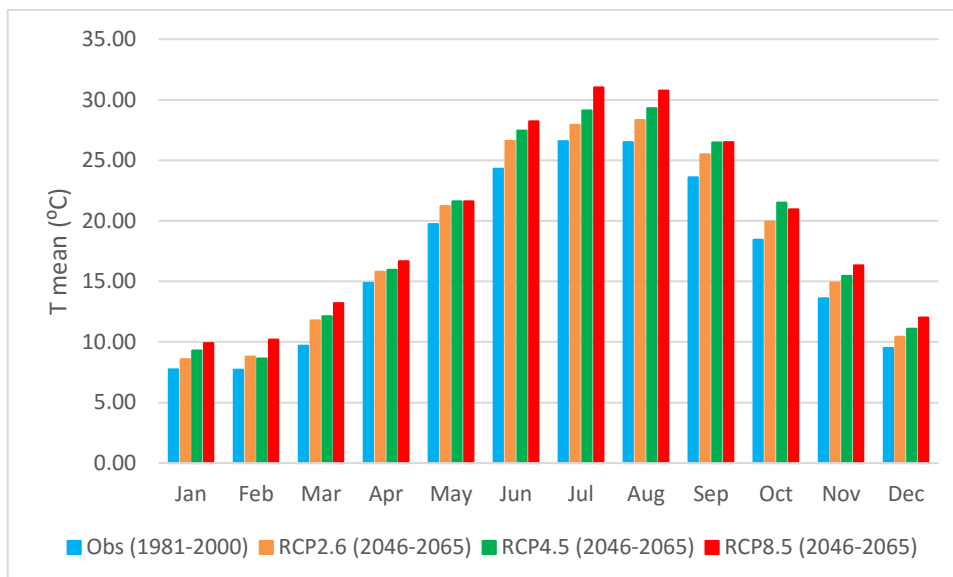


شکل ۴-۱۲: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۱۳: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP8.5

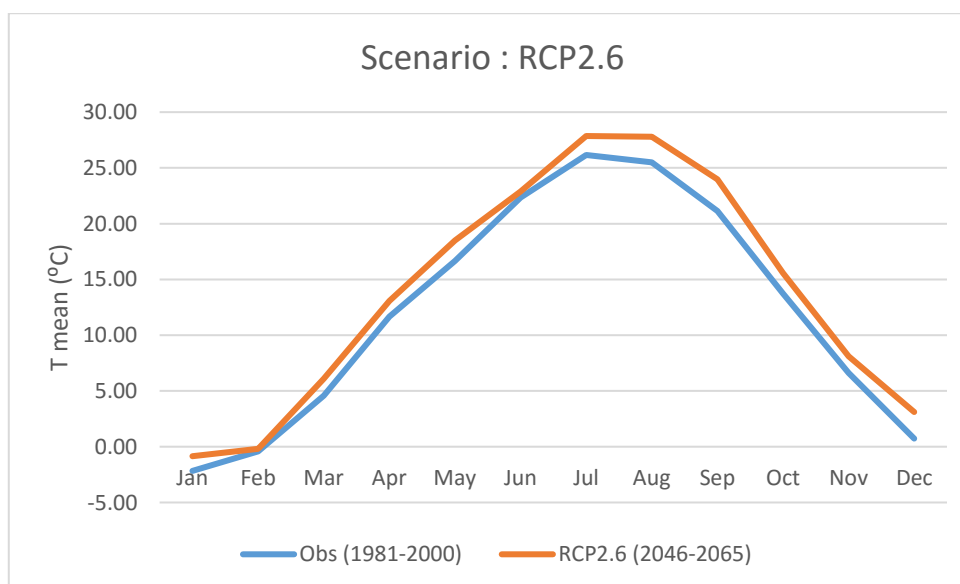
همان طور که در شکل های (۴-۱۱) تا (۴-۱۳) ملاحظه می شود، تمامی سناریوها برای ایستگاه بابلسر افزایش دما در دوره آتی را پیش بینی می کنند. کم ترین افزایش دما طبق سناریوی RCP2.6 در فصل زمستان می باشد. هم چنین بیشترین افزایش دما طبق سناریوی RCP8.5 در فصل تابستان می باشد. هم چنین پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۰/۹۶، ۱/۳۶ و ۲/۳۹ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۴۹، ۱/۸ و ۲/۴ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۸۳، ۲/۸۲ و ۴/۲ درجه سلسیوس افزایش دما و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۵۷، ۲/۶ و ۲/۷۱ درجه سلسیوس افزایش دما را نشان می دهد. شکل (۴-۱۴) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۸۱)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



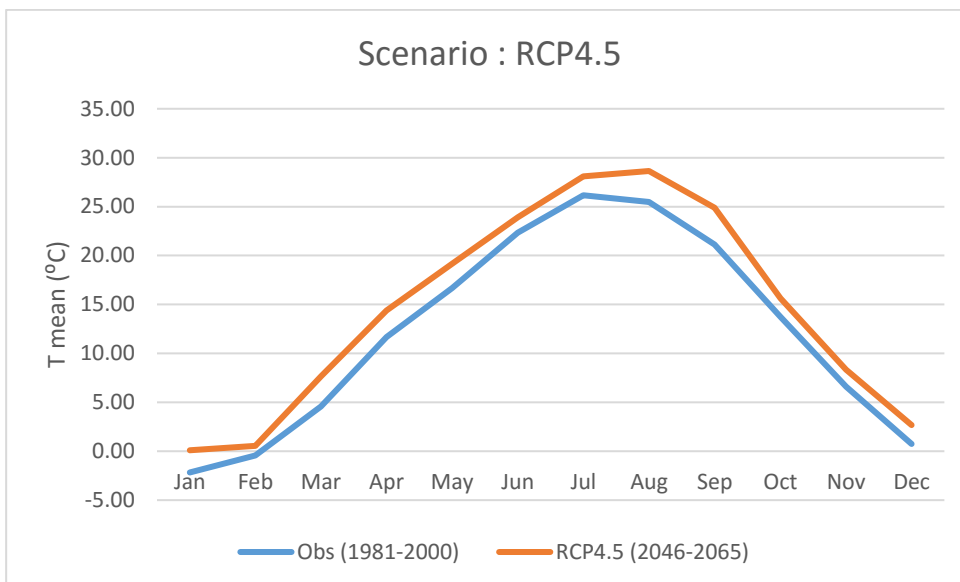
شکل ۴-۱۴: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه بابلسر

۴-۳-۳- بررسی تغییرات دمای ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب) بر اساس خروجی مدل

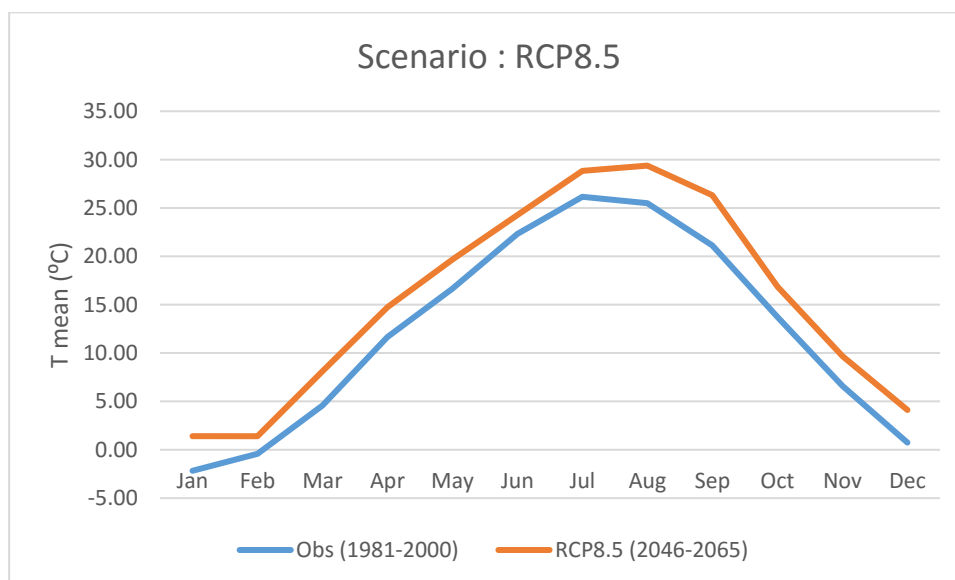
های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۱۵: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP2.6



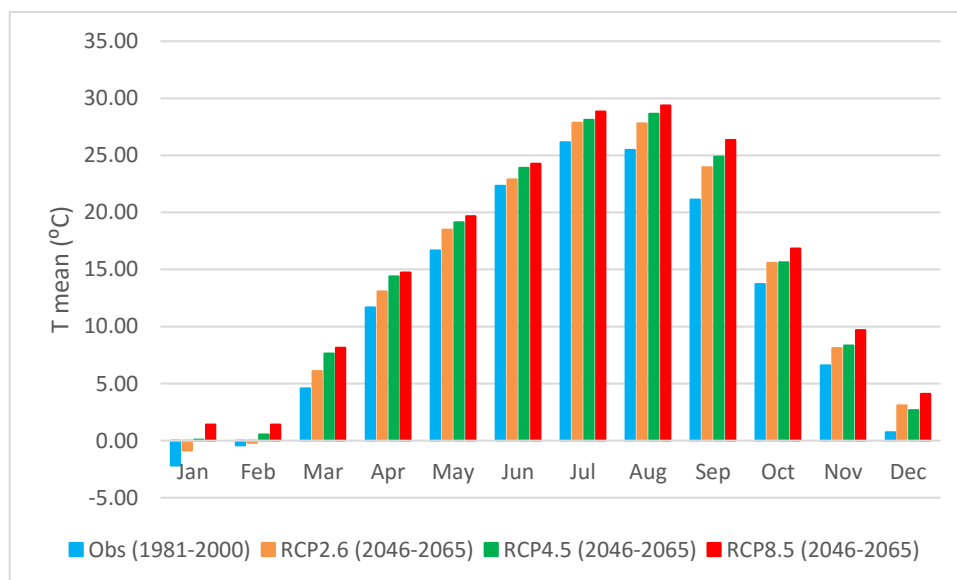
شکل ۴-۱۶: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۱۷: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP8.5

همان طور که در شکل های (۴-۱۵) تا (۴-۱۷) ملاحظه می شود، تمامی سناریوها برای ایستگاه تبریز افزایش دما در دوره آتی را پیش بینی می کنند. کم ترین افزایش دما طبق سناریوی RCP2.6 در فصل زمستان می باشد. هم چنین بیشترین افزایش دما طبق سناریوی RCP8.5 در فصل پاییز می

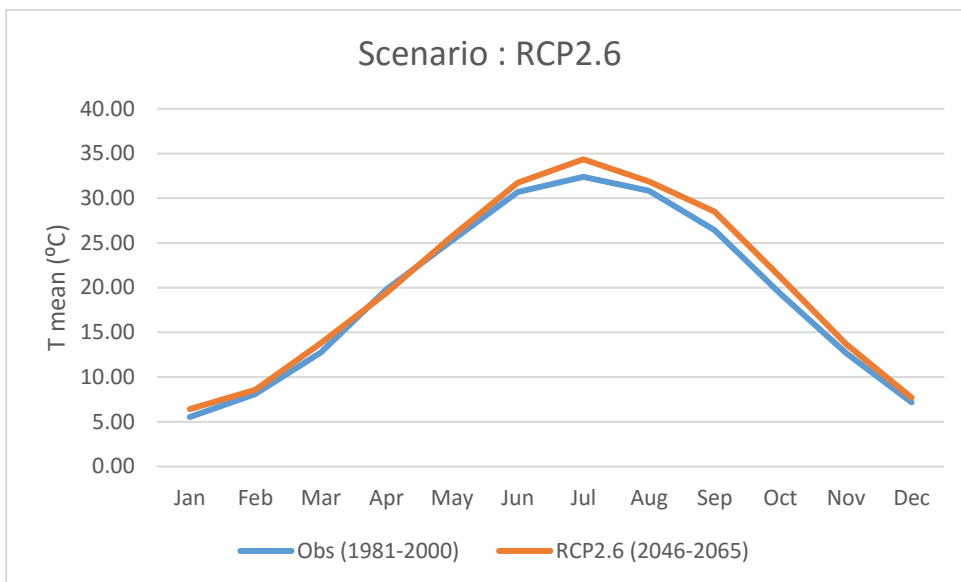
باشد. هم چنین پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۳، ۱/۷۳ و ۲/۹۳ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۵۸، ۲/۷۶ و ۳/۲۱ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۵۲، ۲/۲۲ و ۲/۸۵ درجه سلسیوس افزایش دما و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲/۰۶، ۲/۴۵ و ۳/۸ درجه سلسیوس افزایش دما را نشان می دهد. شکل (۴-۱۸) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۸۱)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



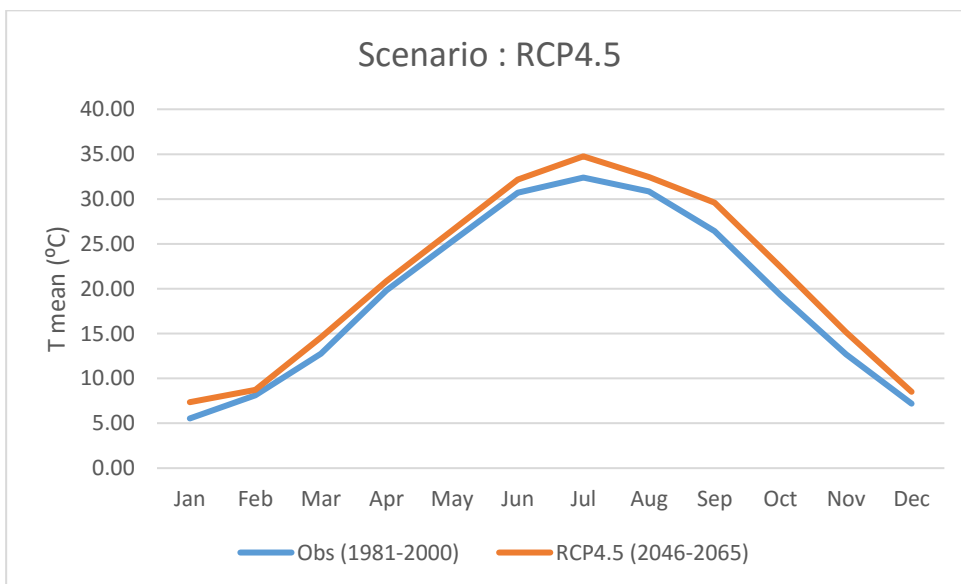
شکل ۴-۱۸: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه تبریز

۴-۴-۴- بررسی تغییرات دمای ایستگاه یزد (منطقه مرکز) بر اساس خروجی مدل های برتر

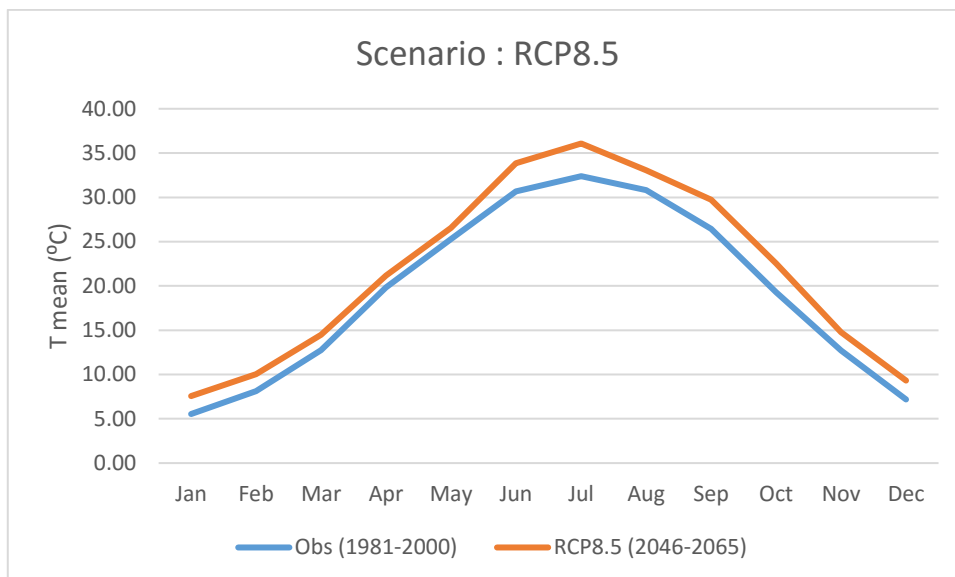
در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۱۹: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP2.6

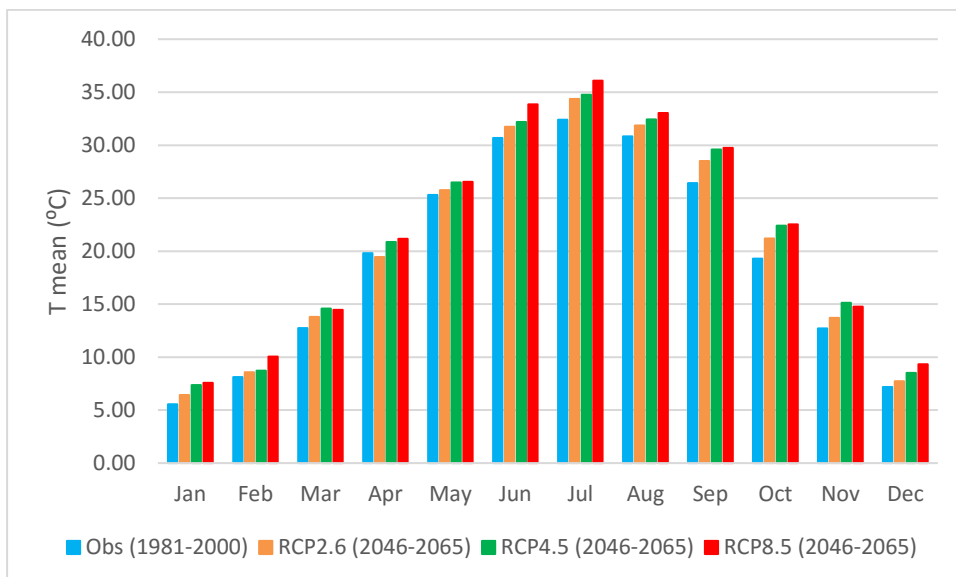


شکل ۴-۲۰: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۲۱: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP8.5

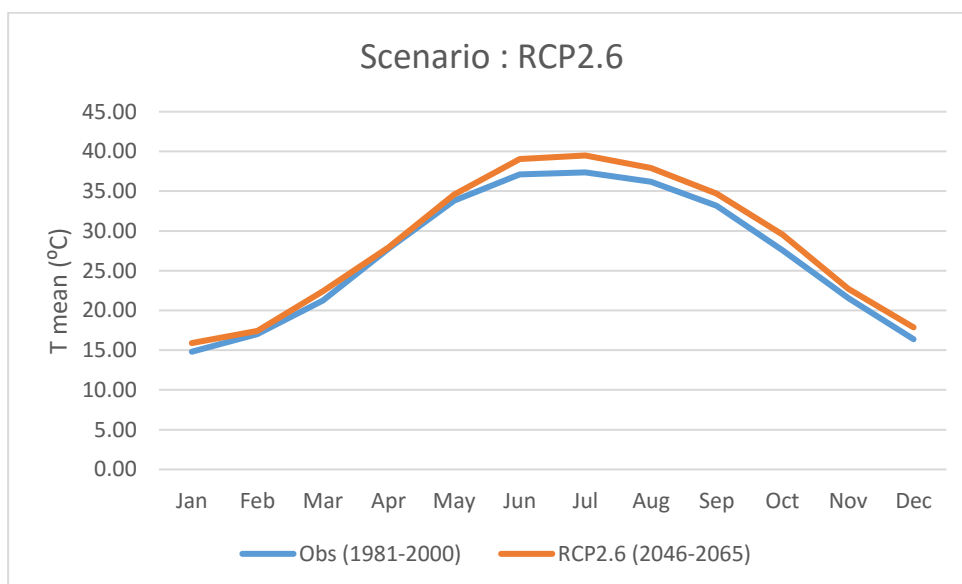
همان طور که در شکل های (۴-۱۹) تا (۴-۲۱) ملاحظه می شود، تمامی سناریوها برای ایستگاه یزد افزایش دما در دوره آتی را پیش بینی می کنند. کم ترین افزایش دما طبق سناریوی RCP2.6 در فصل بهار می باشد. هم چنین بیشترین افزایش دما طبق سناریوی RCP8.5 در فصل تابستان می باشد. هم چنین پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۰/۶۲، ۱/۲۵ و ۲/۰۳ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۰/۳۸، ۱/۳۶ و ۱/۴۵ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۳۵، ۱/۸۲ و ۳/۰۳ درجه سلسیوس افزایش دما و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۶۵، ۲/۹۱ و ۲/۸۷ درجه سلسیوس افزایش دما را نشان می دهد. شکل (۴-۲۲) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۸۱)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



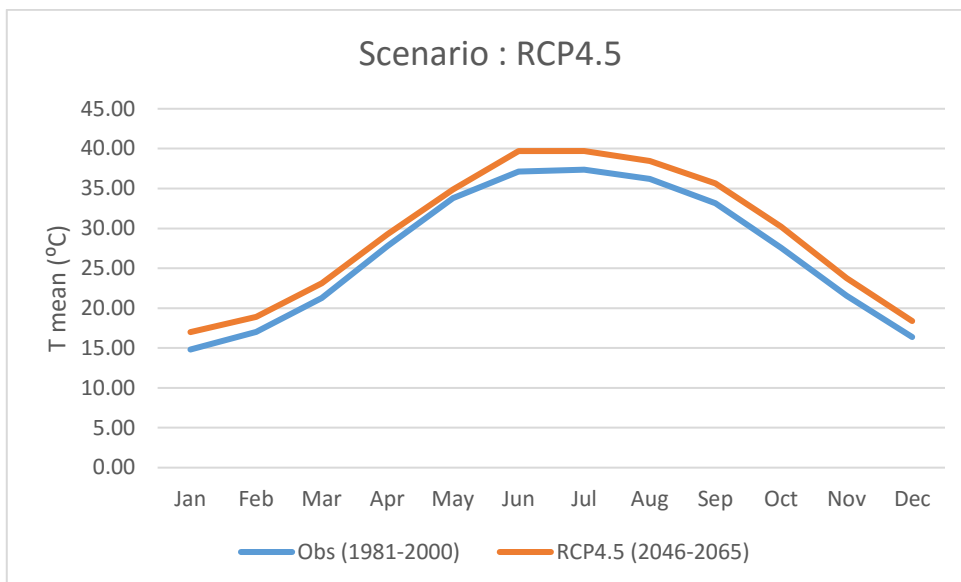
شکل ۴-۲۲: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه یزد

۴-۴-۵- بررسی تغییرات دمای ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق) بر اساس خروجی

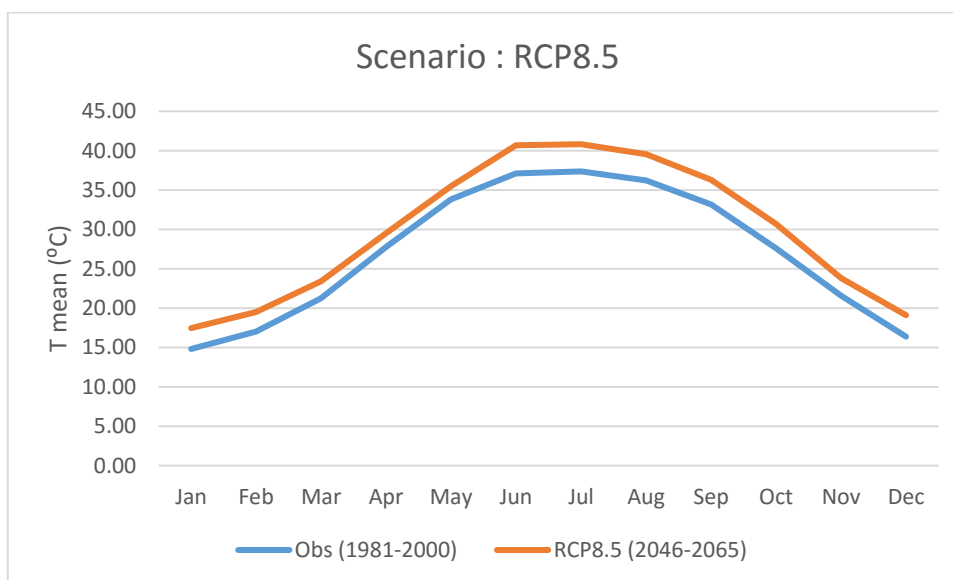
مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۲۳: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP2.6



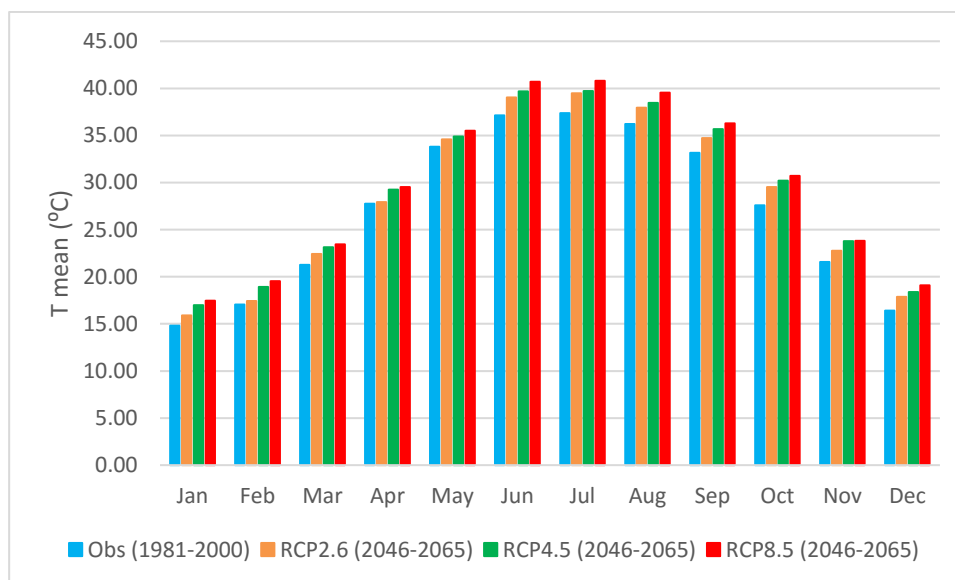
شکل ۴-۲۴: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۲۵: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP8.5

همان طور که در شکل های (۴-۲۳) تا (۴-۲۵) ملاحظه می شود، تمامی سناریوها برای ایستگاه ایرانشهر افزایش دما در دوره آتی را پیش بینی می کنند. کم ترین افزایش دما طبق سناریوی RCP2.6 در فصل بهار می باشد. هم چنین بیشترین افزایش دما طبق سناریوی RCP8.5 در فصل تابستان می

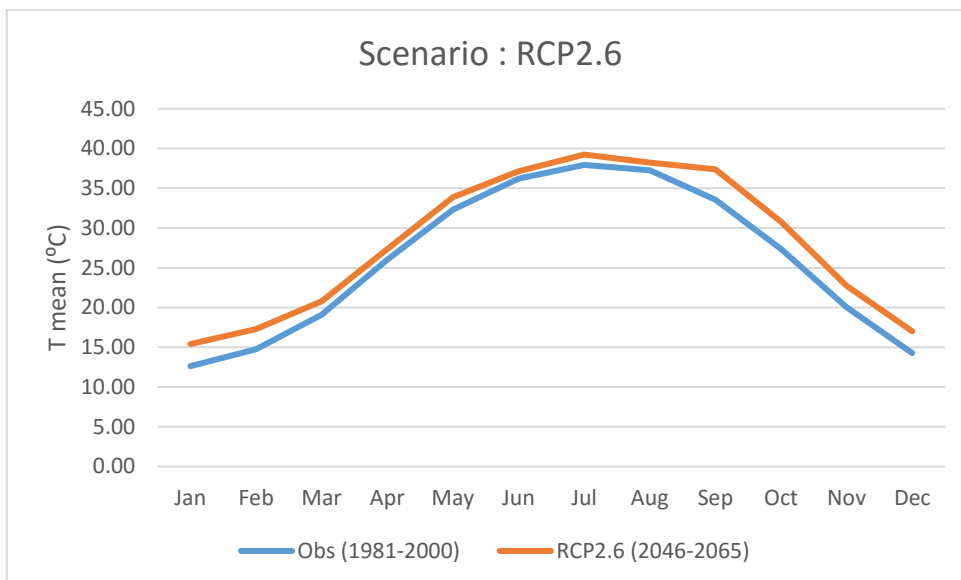
باشد. هم چنین پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۰/۹۹، ۲/۰۱ و ۲/۶۱ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۰/۷، ۱/۴۸ و ۱/۸۶ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۹۳، ۲/۳۹ و ۳/۴۵ درجه سلسیوس افزایش دما و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۵۶، ۲/۴۴ و ۲/۸۳ درجه سلسیوس افزایش دما را نشان می دهد. شکل (۴-۲۶) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



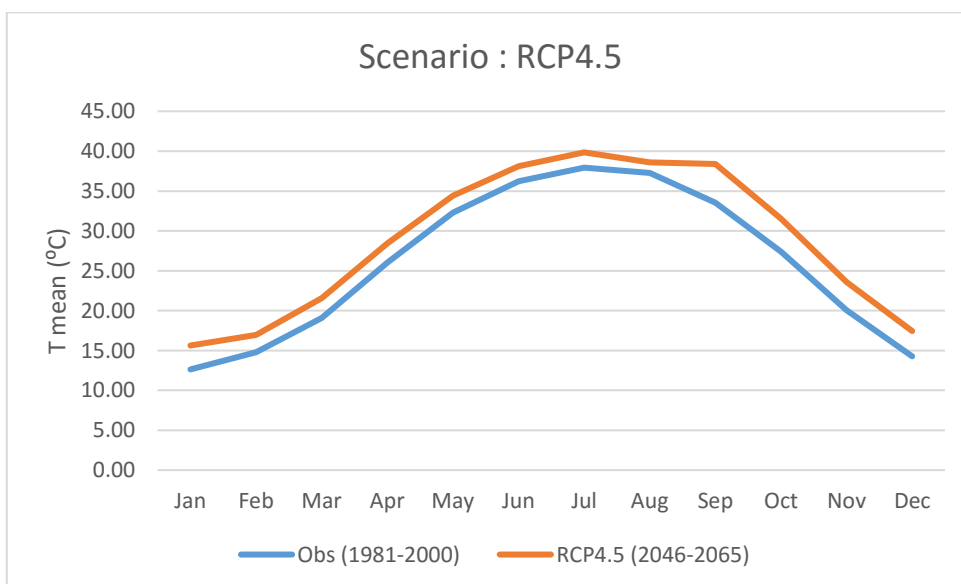
شکل ۴-۲۶: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه ایرانشهر

۴-۴-۶- بررسی تغییرات دمای ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل

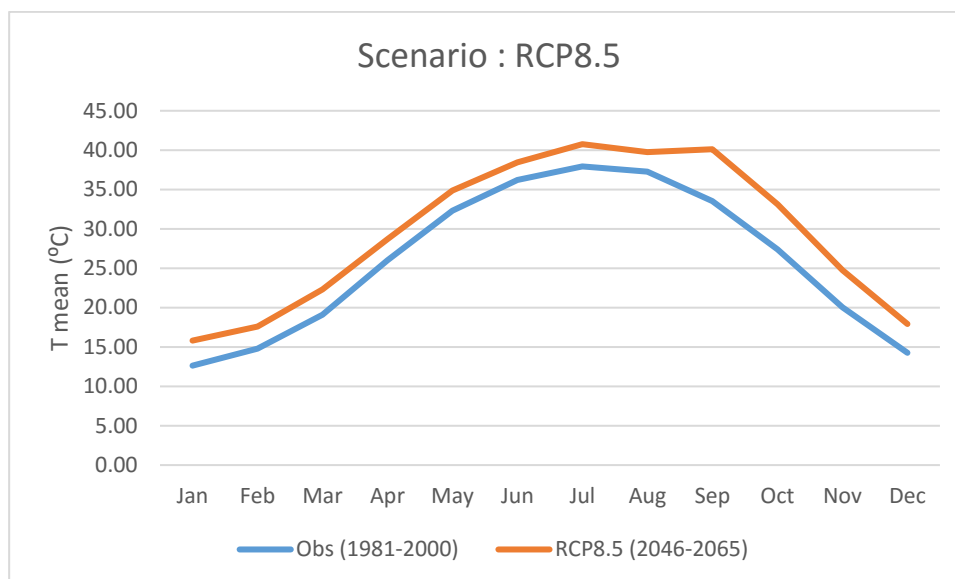
های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۲۷: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP2.6

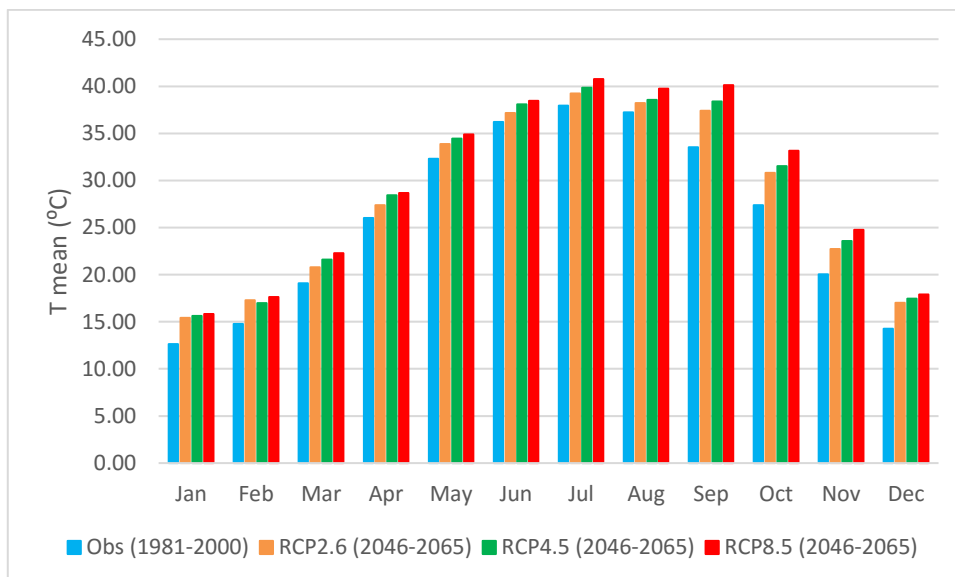


شکل ۴-۲۸: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۲۹: تغییرات دمای میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP8.5

همان طور که در شکل های (۴-۲۷) تا (۴-۲۹) ملاحظه می شود، تمامی سناریوها برای ایستگاه آبادان افزایش دما در دوره آتی را پیش بینی می کنند. کم ترین افزایش دما طبق سناریوی RCP2.6 در فصل تابستان می باشد. هم چنین بیشترین افزایش دما طبق سناریوی RCP8.5 در فصل پاییز می باشد. هم چنین پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲/۶۷، ۲/۷۹ و ۳/۲۲ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۵۳، ۲/۳۵ و ۲/۸۱ درجه سلسیوس افزایش دما، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۰۷، ۱/۷ و ۲/۵۱ درجه سلسیوس افزایش دما و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۳/۳۳، ۴/۱۸ و ۵/۶۹ درجه سلسیوس افزایش دما را نشان می دهد. شکل (۴-۳۰) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۸۱)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



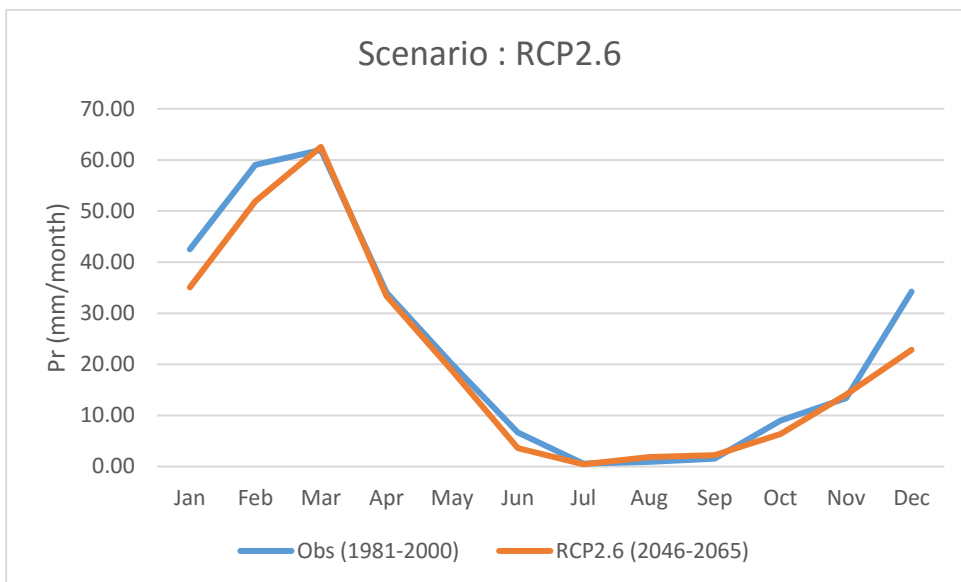
شکل ۴-۳۰: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه آبادان

۴-۵- بررسی تغییرات بارش در آینده

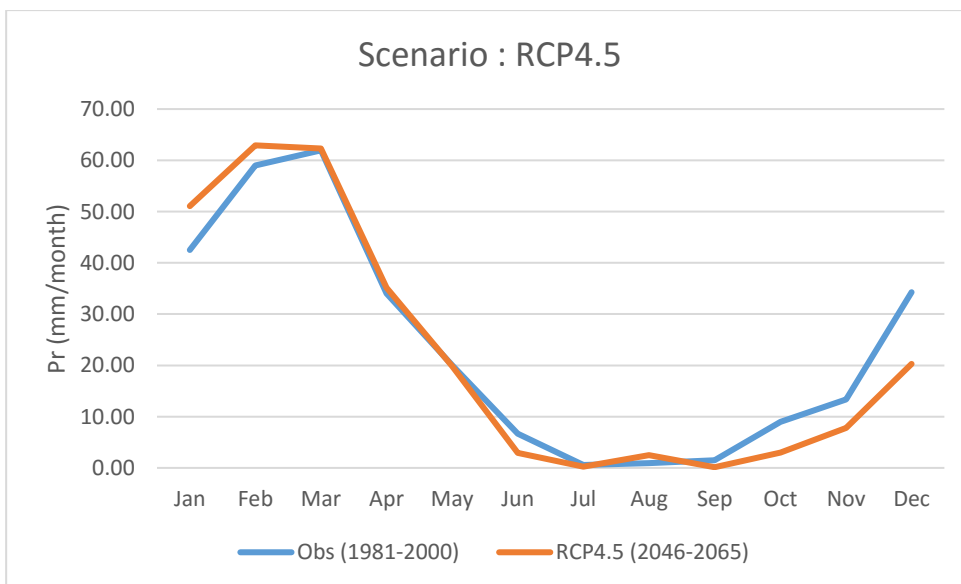
در این قسمت به ترتیب به بررسی تغییرات پیش بینی شده طبق مدل های برتر انتخاب شده برای هر فصل از بارش ایستگاه های مورد مطالعه (تربت حیدریه، بابلسر، تبریز، یزد، ایرانشهر و آبادان) می پردازیم. در نهایت نتایج ریزمقیاس شده برای سناریوهای انتشار (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) هم به صورت مجزا و هم در کنار هم ارائه می شود و با داده های مشاهداتی مقایسه می شود.

۴-۵-۱- بررسی تغییرات بارش ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق) بر اساس خروجی

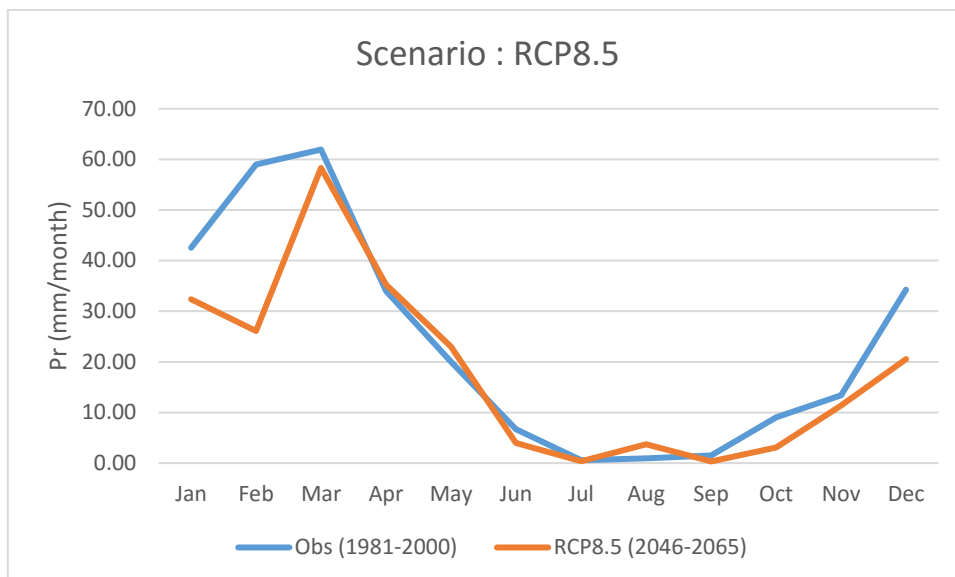
مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۳۱: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP2.6

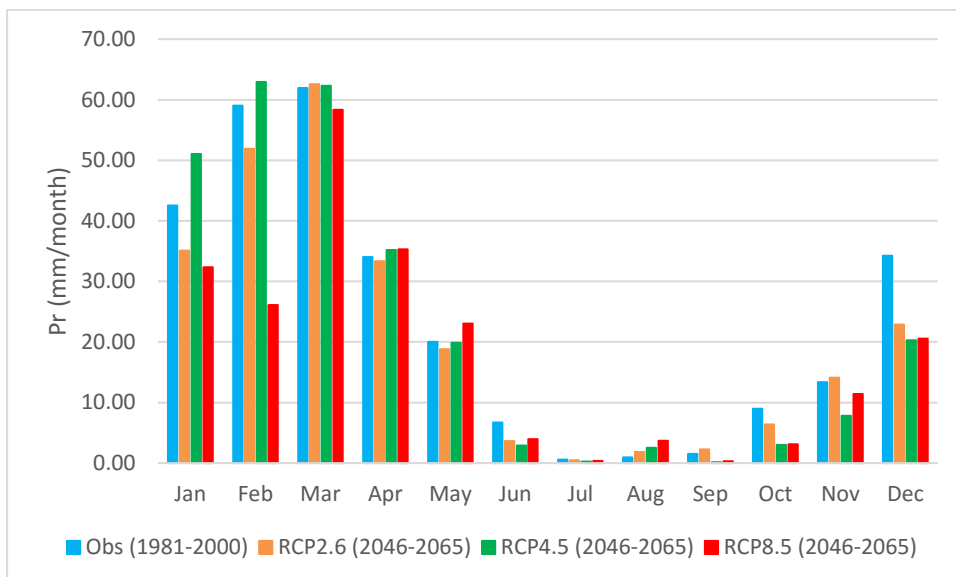


شکل ۴-۳۲: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۳: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تربت حیدریه تحت سناریوی RCP8.5

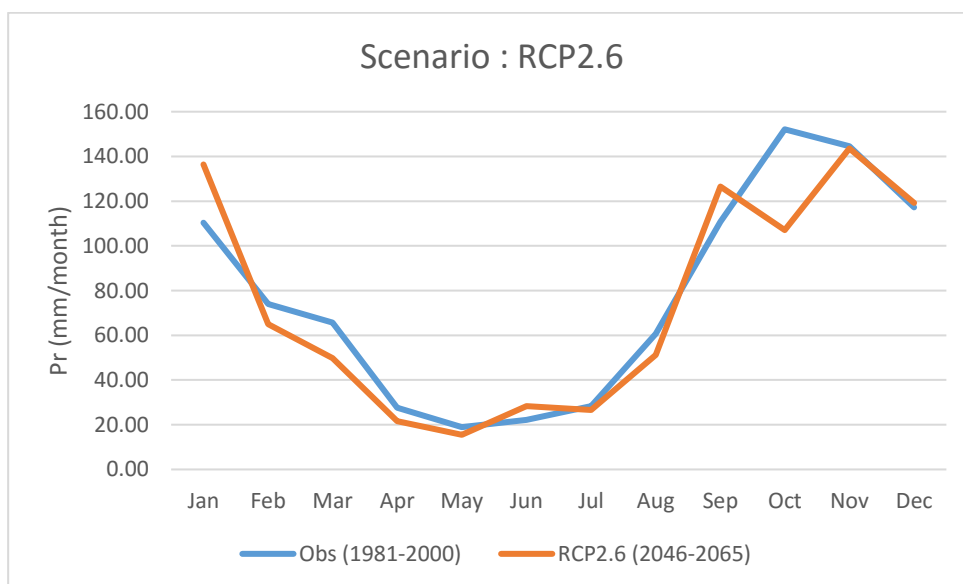
همان طور که در شکل های (۴-۳۱) تا (۴-۳۳) ملاحظه می شود، در بیشتر ماه های میلادی سناریوها برای ایستگاه تربت حیدریه کاهش بارش در دوره آتی را پیش بینی می کنند. بیشترین افزایش بارش طبق سناریوی RCP4.5 در اوایل سال میلادی یعنی ماه های ژانویه و فوریه می باشد. هم چنین بیشترین کاهش بارش طبق سناریوی RCP8.5 در فصل زمستان و ماه فوریه می باشد. پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲۶-، ۱/۵۴- و ۵۶/۷۹- میلی متر، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۳۲-، ۱/۳۳+ و ۰/۶۴+ میلی متر، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲/۲۶-، ۲/۴۹- و ۰/۱۵- میلی متر و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۱۵-، ۱۲/۹۳- و ۹/۰۷- میلی متر را نشان می دهد. شکل (۴-۳۴) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، نتایج را برای تمامی سناریوهای انتشار در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



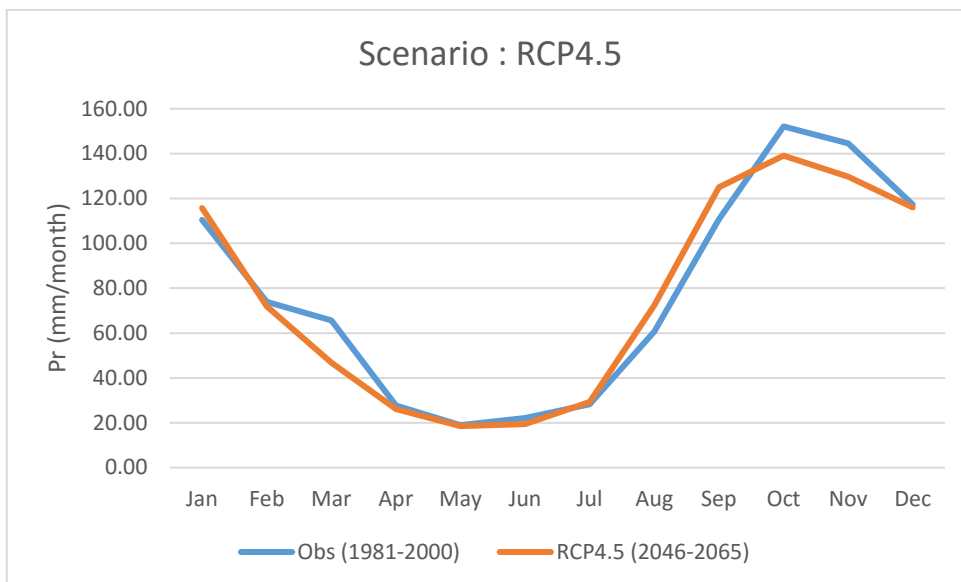
شکل ۴-۳۴: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه تربت حیدریه

۴-۵-۲- بررسی تغییرات بارش ایستگاه بابلسر (منطقه شمال) بر اساس خروجی مدل های

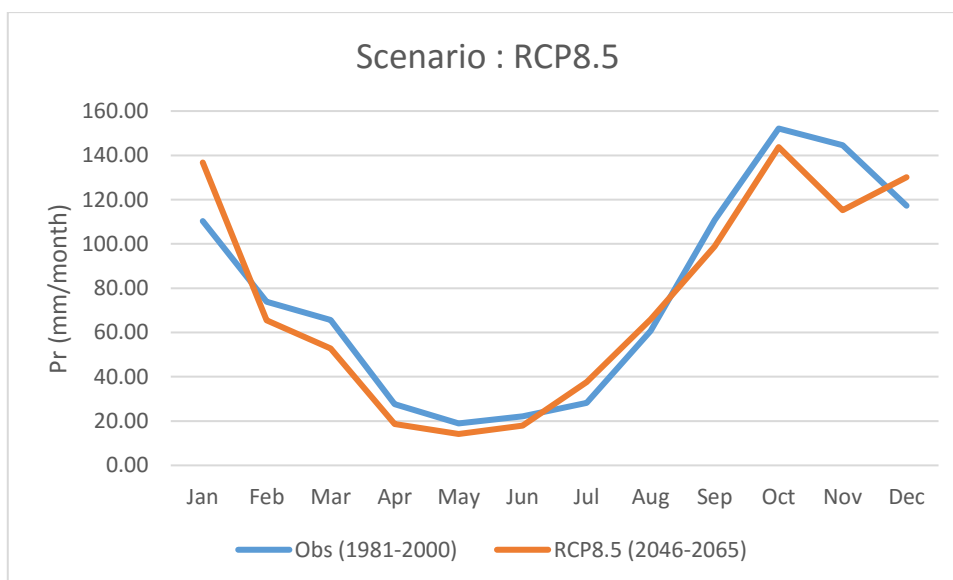
برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۳۵: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP2.6



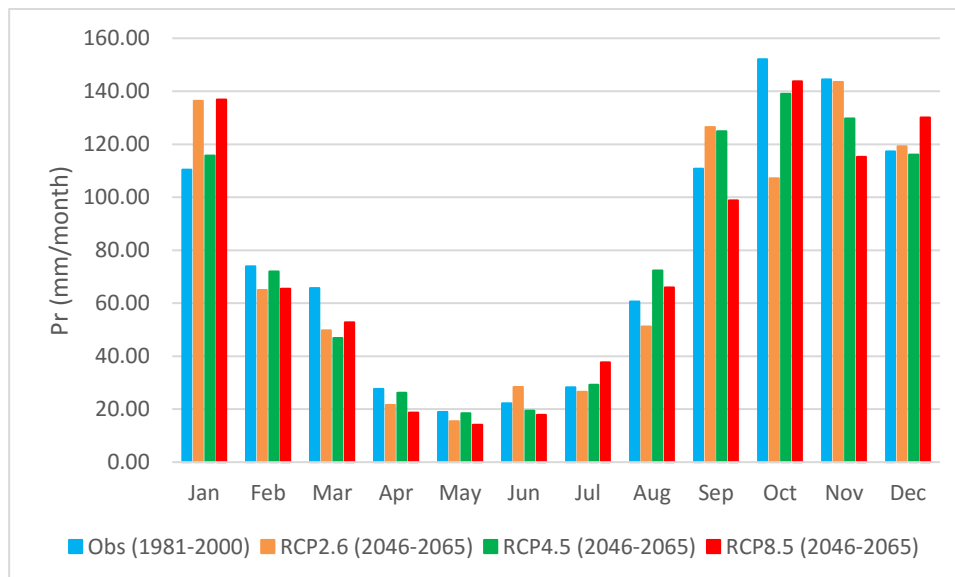
شکل ۴-۳۶: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۳۷: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه بابلسر تحت سناریوی RCP8.5

همان طور که در شکل های (۴-۳۵) تا (۴-۳۷) ملاحظه می شود، سناریوها برای ایستگاه بابلسر رژیم بارش متفاوتی را در دوره آتی پیش بینی می کنند. بیشترین افزایش بارش طبق سناریوی RCP8.5 در فصل زمستان و بیشترین کاهش بارش طبق همین سناریو در فصل پاییز می باشد. هم چنین

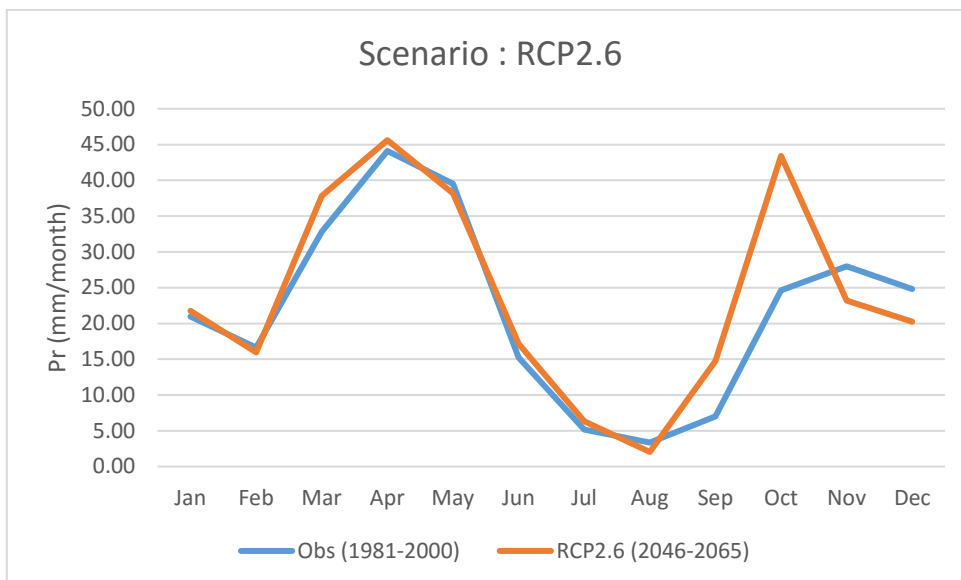
بیشترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP8.5 در ماه ژانویه و کمترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP2.6 در ماه اکتبر می باشد. پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $+18/92$ ، $+2/18$ و $+30/76$ میلی متر، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $-25/44$ ، $-20/78$ و $-26/59$ میلی متر، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $-4/94$ ، $+9/89$ و $+10/4$ میلی متر و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $-30/16$ ، $-13/55$ و $-49/53$ میلی متر را نشان می دهد. شکل (۴-۳۸) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۸۱)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



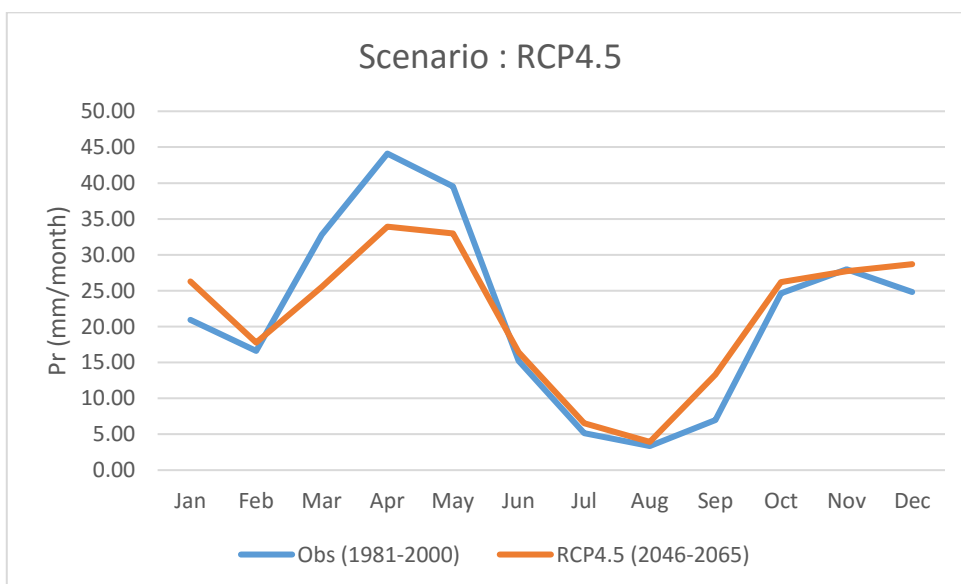
شکل ۴-۳۸: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه بابلسر

۴-۵-۳- بررسی تغییرات بارش ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب) بر اساس خروجی مدل

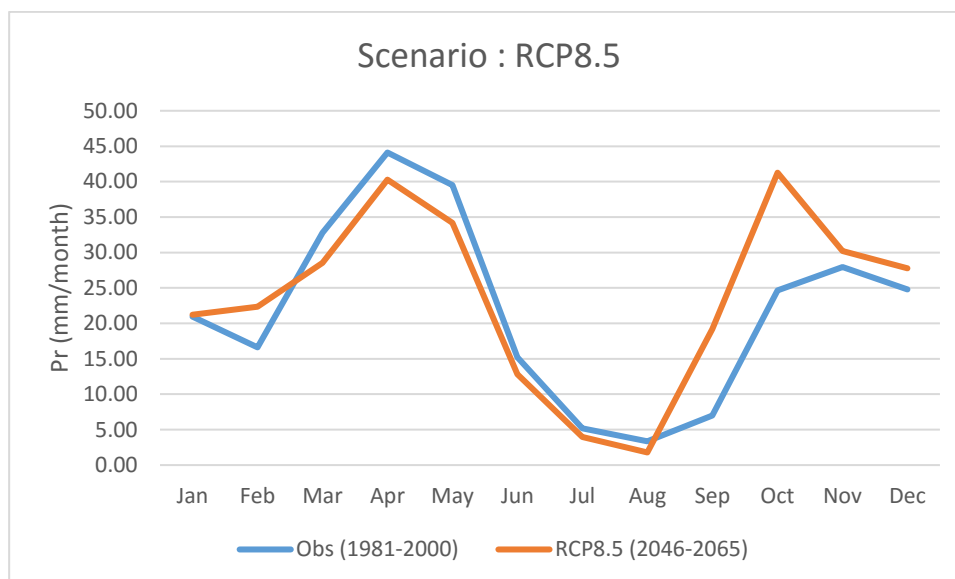
های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۳۹: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP2.6

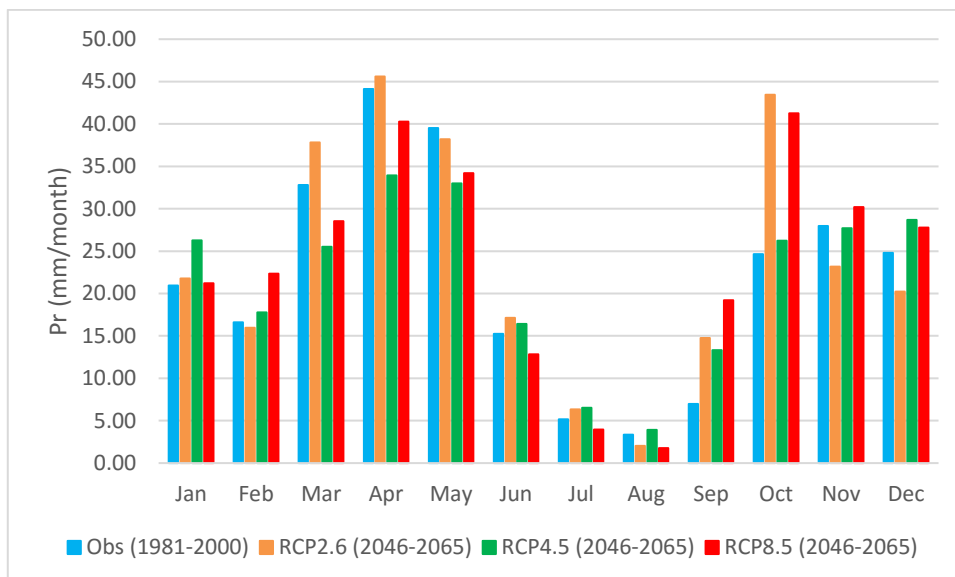


شکل ۴-۴۰: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۴۱: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه تبریز تحت سناریوی RCP8.5

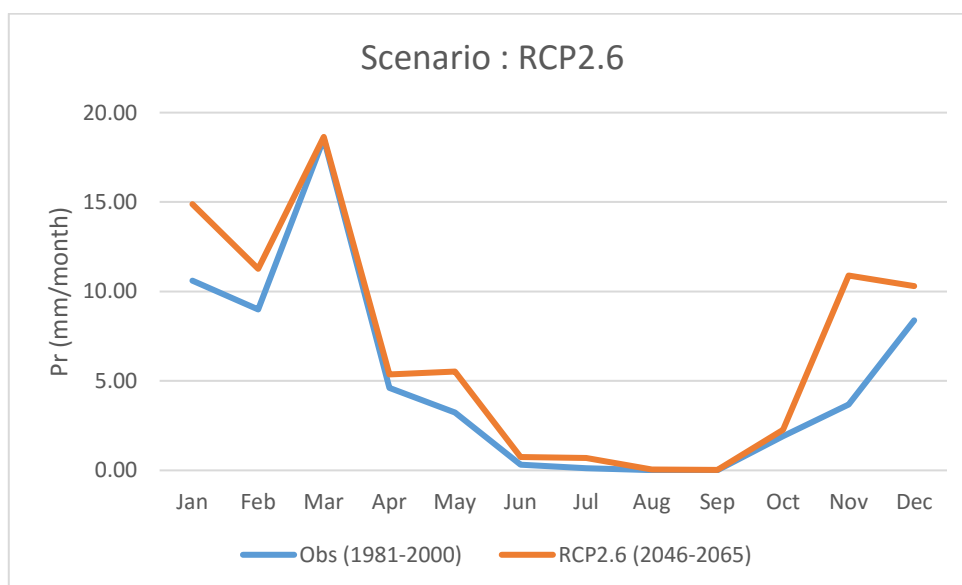
همان طور که در شکل های (۴-۳۹) تا (۴-۴۱) ملاحظه می شود، سناریوها برای ایستگاه تبریز افزایش بارش در فصول سرد و کاهش بارش در فصول گرم را در دوره آتی پیش بینی می کنند. بیشترین افزایش بارش طبق سناریوی RCP8.5 در فصل پاییز و بیشترین کاهش بارش طبق سناریوی RCP4.5 در فصل بهار می باشد. هم چنین بیشترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP2.6 در ماه اکتبر و کمترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP4.5 در ماه آپریل می باشد. پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $-۴/۳۹$ ، $+۱۰/۳۷$ و $+۸/۹۴$ میلی متر، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $+۵/۲$ ، $-۲۴/۰۴$ و $-۱۳/۴۳$ میلی متر، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $+۳/۱۵$ و $-۵/۲$ میلی متر و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $+۲۱/۷۷$ ، $+۷/۶۵$ و $+۳۱/۰۸$ میلی متر را نشان می دهد. شکل (۴-۴۲) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



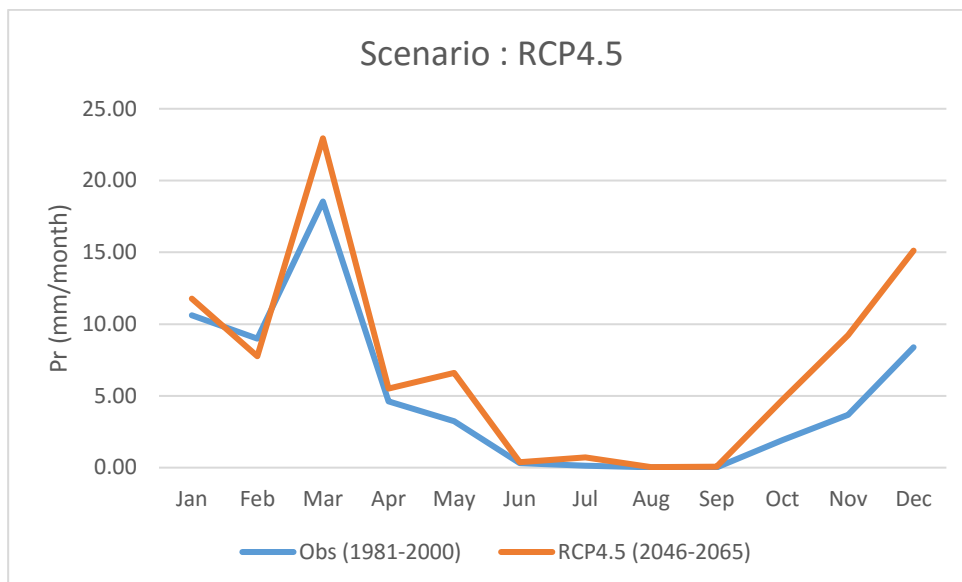
شکل ۴-۴: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه تبریز

۴-۵-۴- بررسی تغییرات بارش ایستگاه یزد (منطقه مرکز) بر اساس خروجی مدل های برتر

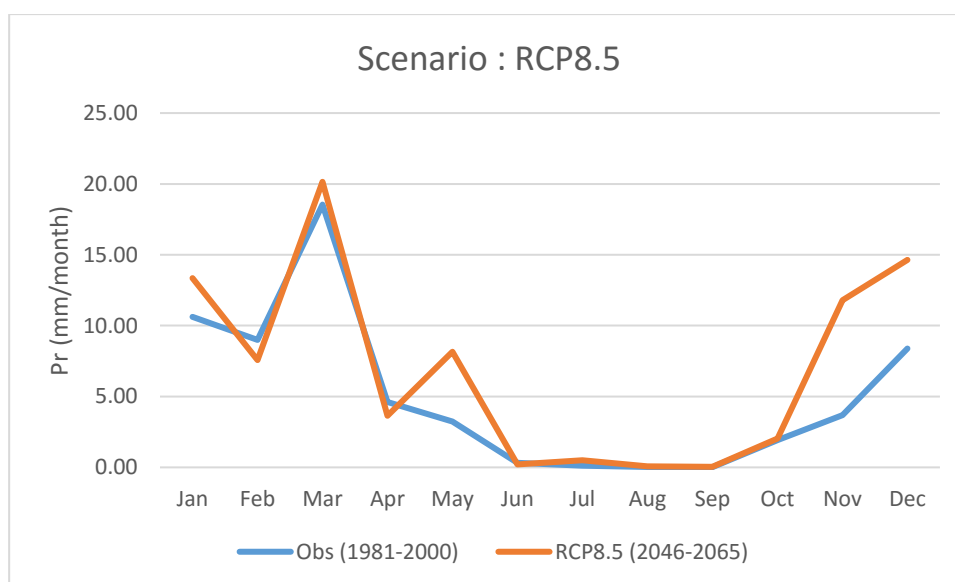
در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۴: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP2.6



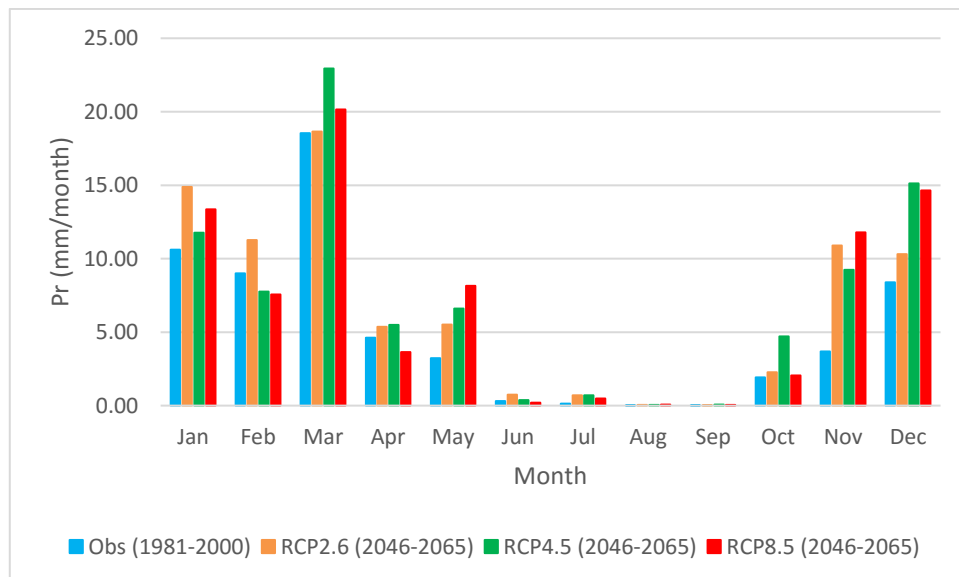
شکل ۴-۴: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۵: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه یزد تحت سناریوی RCP8.5

همان طور که در شکل های (۴-۴) تا (۴-۵) ملاحظه می شود، سناریوها برای ایستگاه یزد افزایش بارش در بیشتر ماه ها در دوره آتی را پیش بینی می کنند. بیشترین افزایش بارش طبق سناریوی RCP4.5 در فصل بهار و کمترین افزایش بارش طبق سناریوی RCP8.5 در فصل تابستان می باشد.

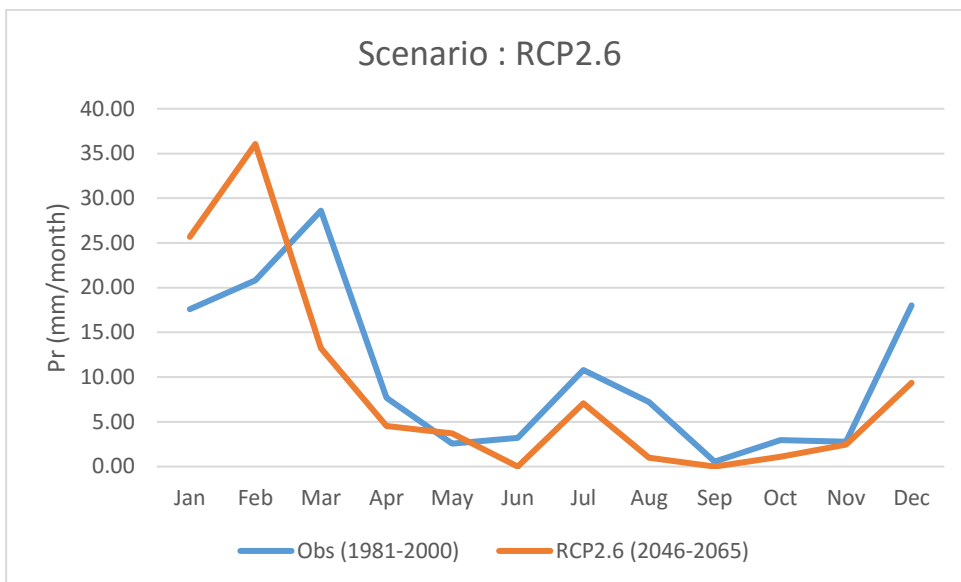
هم چنین بیشترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP8.5 در ماه نوامبر و کمترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP8.5 در ماه فوریه می باشد. پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب +۸/۴۶، +۶/۶۷ و +۷/۵۸ میلی متر، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب +۳/۱۳، +۸/۶۴ و +۵/۵۵ میلی متر، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب +۱/۰۲، +۰/۶۶ و +۰/۳ میلی متر و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب +۷/۵۸، +۸/۴۱ و +۸/۲۶ میلی متر را نشان می دهد. شکل (۴-۴۶) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، نتایج را برای تمامی سناریوها در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



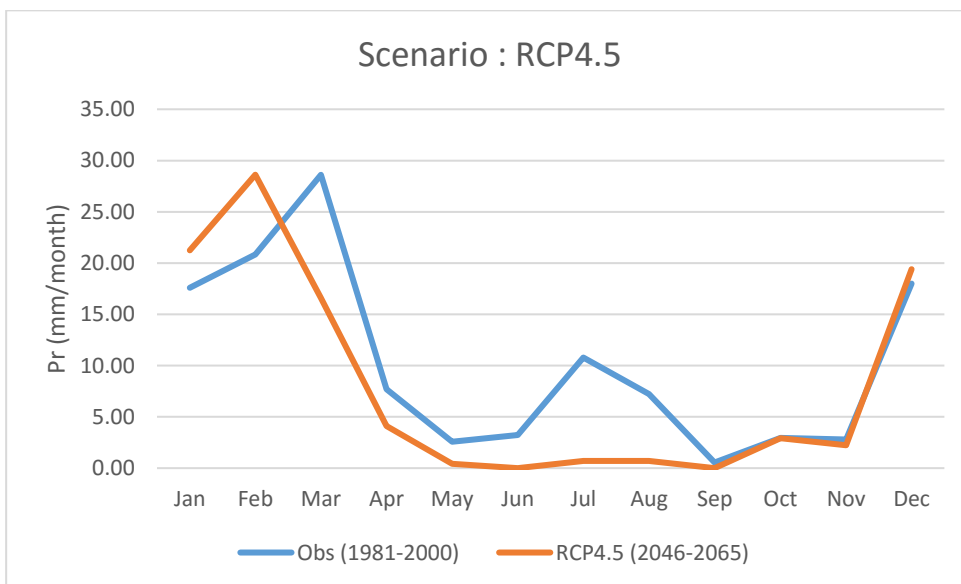
شکل ۴-۴۶: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه یزد

۴-۵-۵- بررسی تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق) بر اساس خروجی

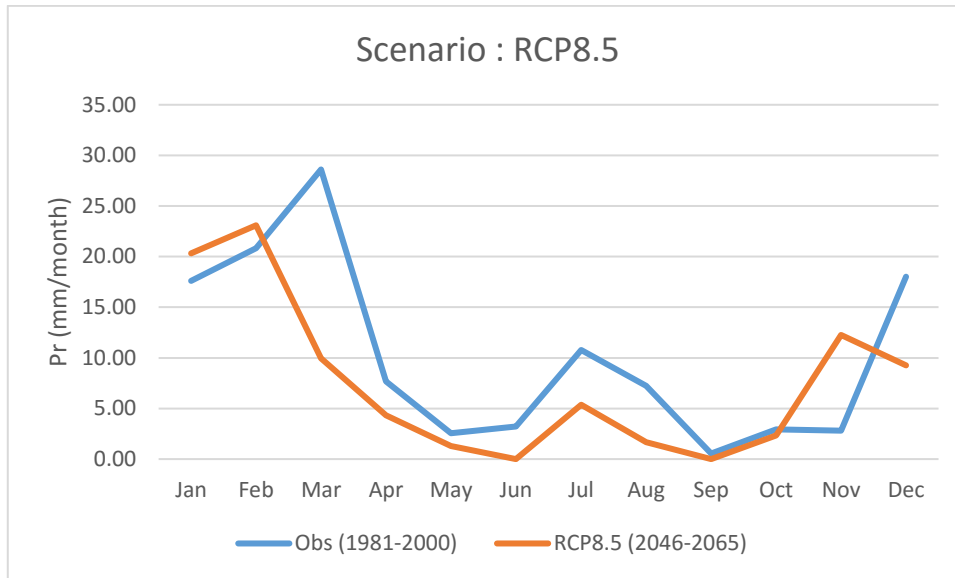
مدل های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۴۷: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP2.6

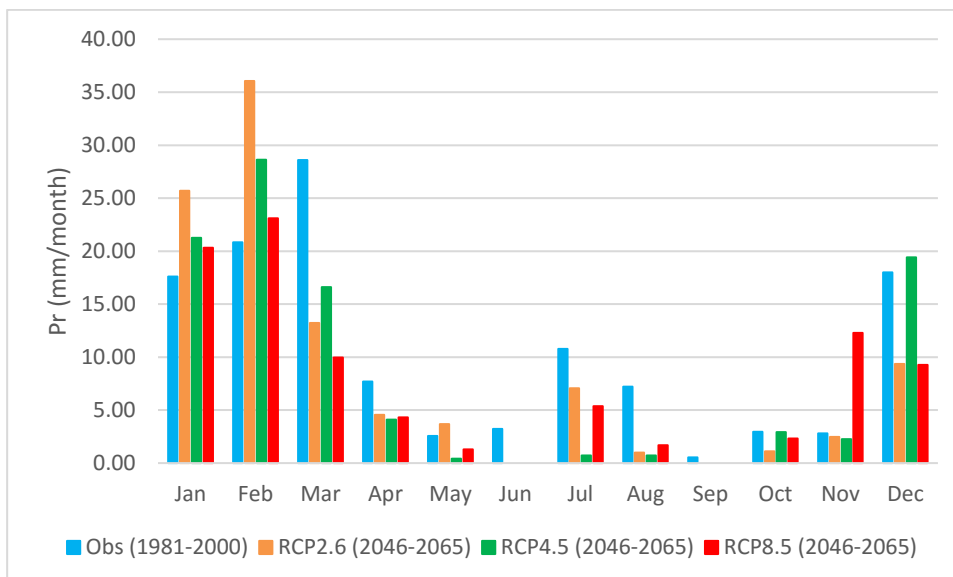


شکل ۴-۴۸: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۴۹: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه ایرانشهر تحت سناریوی RCP8.5

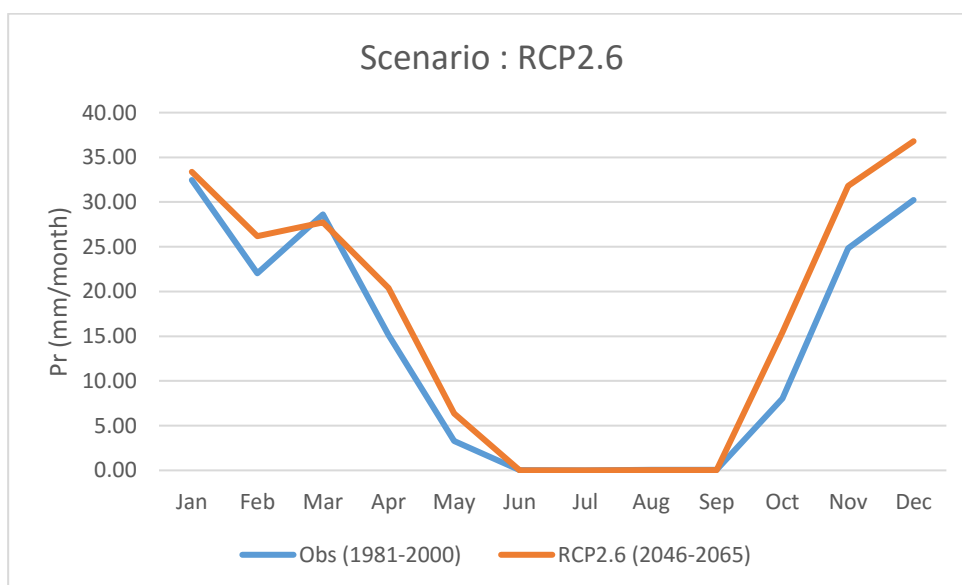
همان طور که در شکل های (۴-۴۷) تا (۴-۴۹) ملاحظه می شود، سناریوها برای ایستگاه ایرانشهر افزایش بارش در فصول سرد و کاهش بارش در فصول گرم در دوره آتی را پیش بینی می کنند. بیشترین افزایش بارش طبق سناریوی RCP2.6 در فصل زمستان و بیشترین کاهش بارش طبق سناریوی RCP8.5 در فصل بهار می باشد. هم چنین بیشترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP2.6 در ماه فوریه و کمترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP8.5 در ماه مارس می باشد. پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $+14/69$ ، $+12/86$ و $-3/75$ میلی متر، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $-17/42$ ، $-17/73$ و $-23/29$ میلی متر، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $-13/18$ ، $-19/82$ و $-14/17$ میلی متر و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب $-2/7$ ، $-1/12$ و $+8/31$ میلی متر را نشان می دهد. شکل (۴-۵۰) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰)، نتایج را برای تمامی سناریوهای انتشار در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



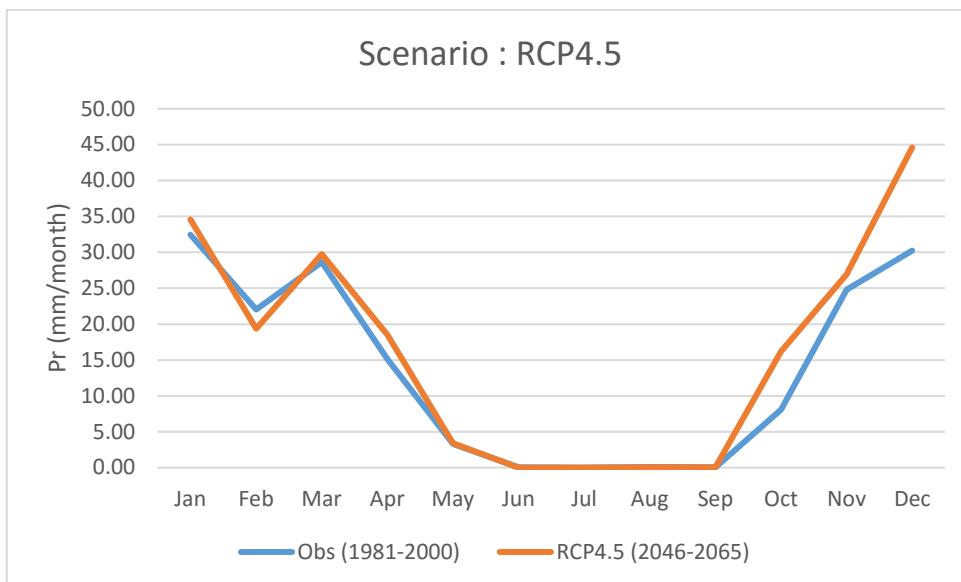
شکل ۴-۵: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آتی برای ایستگاه ایرانشهر

۴-۵-۶- بررسی تغییرات بارش ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل

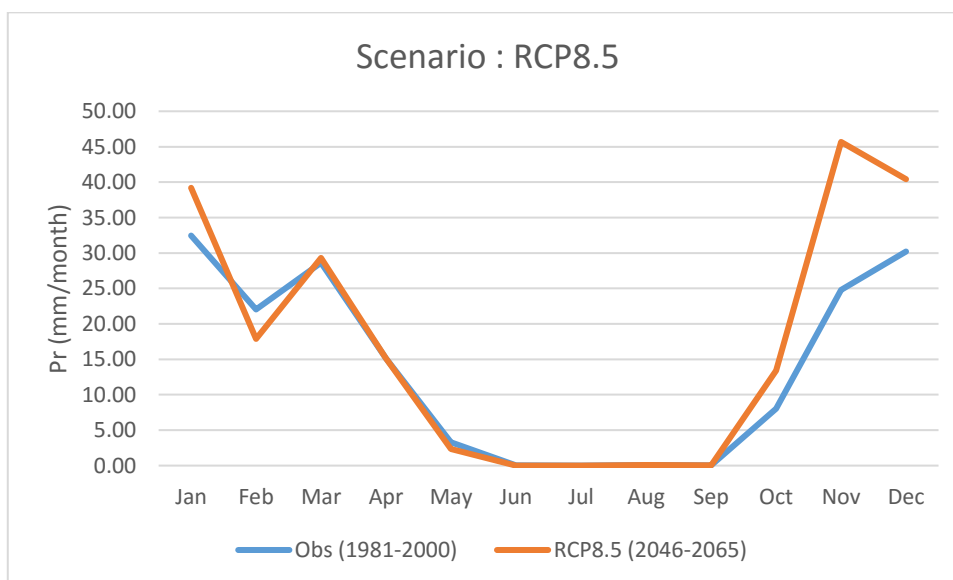
های برتر در این منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴-۵: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP2.6



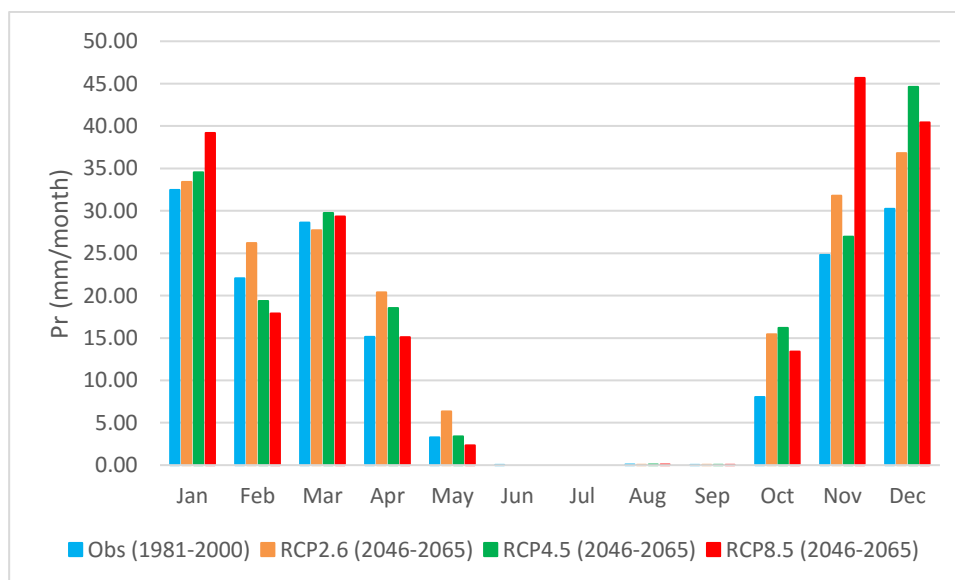
شکل ۴-۵۲: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP4.5



شکل ۴-۵۳: تغییرات بارش میانگین ماهیانه ایستگاه آبادان تحت سناریوی RCP8.5

همان طور که در شکل های (۴-۵۱) تا (۴-۵۳) ملاحظه می شود، سناریوها برای ایستگاه آبادان افزایش بارش در فصول سرد در دوره آتی را پیش بینی می کنند. بیشترین افزایش بارش طبق سناریوی RCP8.5 در فصل پاییز می باشد. هم چنین بیشترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP8.5 در ماه

نوامبر و کمترین بارش ماهیانه طبق سناریوی RCP8.5 در ماه فوریه می باشد. پس از بررسی به تفکیک هر فصل، نتایج در فصل زمستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب +۱۱/۶۵، +۱۳/۸ و +۱۲/۷۹ میلی متر، فصل بهار تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب +۷/۴۳، +۴/۶ و -۰/۲۸ میلی متر، فصل تابستان تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب -۰/۰۸، -۰/۰۶ و -۰/۰۳ میلی متر و فصل پاییز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب +۱۴/۳۶، +۱۰/۲۷ و +۲۶/۲۱ میلی متر را نشان می دهد. شکل (۴-۵۴) در مقایسه ای با داده های مشاهداتی دوره تاریخی (۲۰۰۰-۱۹۸۱)، نتایج را برای تمامی سناریوهای انتشار در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان می دهد.



شکل ۴-۵۴: مقایسه داده های مشاهداتی با سناریوهای انتشار مختلف در دوره آبی برای ایستگاه آبادان

فصل پنجم

نتیجه گیری، پیشنهادها

۵-۱- نتیجه گیری

تغییر اقلیم همه بخش های اقتصادی را تحت تاثیر قرار می دهد، اما بخش کشاورزی احتمالاً حساس ترین و آسیب پذیرترین بخش می باشد، چرا که محصولات کشاورزی وابستگی زیادی به منابع اقلیمی دارند. با توجه به شواهد علمی، تغییر اقلیم آینده، به ویژه اثرات ترکیبی افزایش دما و بالا رفتن غلظت CO₂ جو، افزایش احتمال وقوع حوادث حدی (خشکسالی، سیلاب، یخبندان) اثرات قابل ملاحظه ای بر محصولات کشاورزی داشته باشد. با توجه به اینکه منابع آب در معرض خطرات ناشی از تغییرات اقلیم دارند، پیش بینی این تغییرات در سال های آینده و برنامه ریزی صحیح جهت مقابله با آن، می تواند راهگشای معضلاتی چون تبخیر زیاد، سیلاب های ناگهانی و خشکسالی باشد. با توجه به تعدد مدل های اقلیمی، لازم است تا عدم قطعیت مربوط به آن ها در مناطق مختلف دنیا بررسی شود و چنان چه عملکرد مدل ها مناسب بود، ارزیابی شرایط اقلیمی آینده صورت گیرد. بر این اساس در پژوهش حاضر، ۲۵ مدل گردش عمومی جو از سری مدل های CMIP5، برای شش ایستگاه هواشناسی در شش منطقه کشور که شامل شمال شرق، شمال، شمال غرب، مرکز، جنوب شرق و جنوب غرب می باشد، مورد آزمون قرار گرفت. پس از بررسی نتایج حاصل از شاخص های آماری محاسبه شده، برای هر فصل از هر منطقه، یک مدل به عنوان توانمندترین مدل در شبیه سازی دما و یک مدل به عنوان توانمندترین مدل در شبیه سازی بارش مشخص شد. نتایج نشان داد که در یک منطقه لزوماً یک مدل یکسان، بهترین عملکرد را برای هر دو پارامتر اقلیمی ارائه نمی دهد. به صورت خلاصه نتایج به شرح زیر است.

۵-۱-۱- ارزیابی دما

نتایج پیش بینی ها، حاکی از سیر صعودی دما در هر شش منطقه می باشد. با توجه به مطالعات انجام گرفته در سطح جهان، اکثر مدل های اقلیمی برای نیم کره شمالی افزایش دما را تایید می کنند. گزارش پنجم ارزیابی هیئت بین الدوله تغییر اقلیم نیز بر افزایش دما در تمامی نقاط کره زمین طبق سناریوهای RCPs تاکید می کند. نتایج این تحقیق نیز نشان می دهد که به طور کلی، میانگین دمای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در شش ایستگاه مورد مطالعه در این

تحقیق، بین ۱ تا ۳/۵۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. در این بین، تغییرات در ایستگاه آبادان که در منطقه ای گرمسیر قرار دارد، بیشترین درصد افزایش را نشان می دهد. هم چنین با بررسی سناریوهای انتشار استفاده شده در این تحقیق، مشخص شد که سناریوی RCP8.5 بیشترین میزان افزایش دما و سناریوی RCP2.6 کمترین میزان افزایش دما را در تمامی مناطق مورد مطالعه در این تحقیق نشان می دهد. این امر موید تاثیر بیشتر غلظت بالای گازهای گلخانه ای بر میزان افزایش دما است.

اکنون به ارزیابی تغییرات پیش بینی شده دمای میانگین در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) برای هر ایستگاه، به تفکیک سناریوهای انتشار (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) می پردازیم.

الف - ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق)

تمامی سناریوها افزایش دما را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین دمای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۱۱/۱۳ درصدی (۱/۵۵) درجه سلسیوس)، تحت سناریوی RCP4.5 افزایش ۱۷/۰۲ درصدی (۲/۳۸) درجه سلسیوس) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۱۹/۸۷ درصدی (۲/۷۸) درجه سلسیوس) را نشان می دهد.

ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال)

تمامی سناریوها افزایش دما را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین دمای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۸/۶۶ درصدی (۱/۴۶) درجه سلسیوس)، تحت سناریوی RCP4.5 افزایش ۱۲/۷۳ درصدی (۲/۱۵) درجه سلسیوس) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۱۷/۳۶ درصدی (۲/۹۳) درجه سلسیوس) را نشان می دهد.

ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب)

تمامی سناریوها افزایش دما را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین دمای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۱۳/۲۲ درصدی (۱/۶۱ درجه سلسیوس)، تحت سناریوی RCP4.5 افزایش ۱۸/۷۴ درصدی (۲/۲۹ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۲۶/۱۷ درصدی (۳/۲ درجه سلسیوس) را نشان می دهد.

د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز)

تمامی سناریوها افزایش دما را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین دمای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۵/۱۹ درصدی (۱ درجه سلسیوس)، تحت سناریوی RCP4.5 افزایش ۹/۵۳ درصدی (۱/۸۴ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۱۲/۱۸ درصدی (۲/۳۴ درجه سلسیوس) را نشان می دهد.

ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق)

تمامی سناریوها افزایش دما را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین دمای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۴/۷۹ درصدی (۱/۲۹ درجه سلسیوس)، تحت سناریوی RCP4.5 افزایش ۷/۷ درصدی (۲/۰۸ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۹/۹۶ درصدی (۲/۶۹ درجه سلسیوس) را نشان می دهد.

و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب)

تمامی سناریوها افزایش دما را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین دمای دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۸/۲۸ درصدی (۲/۱۵ درجه

سلسیوس)، تحت سناریوی RCP4.5 افزایش ۱۰/۶۲ درصدی (۲/۷۶ درجه سلسیوس) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۱۳/۷۱ درصدی (۳/۵۶ درجه سلسیوس) را نشان می دهد.

۵-۱-۲- ارزیابی بارش

روند غالب بارش، در مناطق مختلف نتایج متفاوتی را نشان می دهد. تغییر اقلیم در مناطق مختلف می تواند باعث کاهش، افزایش و یا عدم تغییر در بارش گردد. به عبارت دیگر تغییر در الگوی بارش یکی از بارزترین پدیده های تغییر اقلیم است و میزان این تغییرات بسته به عرض های مختلف، متفاوت است. گزارش پنجم ارزیابی هیئت بین الدوله تغییر اقلیم نیز بر تغییرات غیر یکنواخت در چرخه آبی، تنوع الگوهای بارش، نوسانات شدید بارش، پراکنش نامناسب زمانی و مکانی نزولات آسمانی در بیشتر نقاط کره زمین طبق سناریوهای RCPs تاکید می کند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که به طور کلی، میانگین مجموع بارش سالیانه دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در شش ایستگاه مورد مطالعه در این تحقیق، بین ۳۸/۷+ تا ۶۵/۳۷- میلی متر خواهد بود. در این بین، تغییرات در مناطق شرق کشور روند کاهشی و تغییرات در مناطق غرب کشور روند افزایشی را نشان می دهد. هم چنین با بررسی سناریوهای استفاده شده در این تحقیق، مشخص شد که بر خلاف دما، تغییرات بارش در مدل ها و سناریوهای مختلف متفاوت می باشد.

اکنون به ارزیابی تغییرات پیش بینی شده در میانگین مجموع بارش سالیانه در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) برای هر ایستگاه، به تفکیک سناریوهای انتشار (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) می پردازیم.

الف - ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق)

تمامی سناریوها کاهش بارش را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین مجموع بارش سالیانه دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 کاهش ۱۰/۸۳ درصدی

(۳۰/۷۳- میلی متر)، تحت سناریوی RCP4.5 کاهش ۵/۵۱ درصدی (۱۵/۶۴- میلی متر) و تحت سناریوی RCP8.5 کاهش ۲۳/۰۳ درصدی (۶۵/۳۷- میلی متر) را نشان می دهد.

ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال)

تمامی سناریوها کاهش بارش را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین مجموع بارش سالیانه دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 کاهش ۴/۴۶ درصدی (۴۱/۶۱- میلی متر)، تحت سناریوی RCP4.5 کاهش ۲/۳۹ درصدی (۲۲/۲۷- میلی متر) و تحت سناریوی RCP8.5 کاهش ۳/۷۵ درصدی (۳۴/۹۵- میلی متر) را نشان می دهد.

ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب)

سناریوها رژیم بارش متفاوتی را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین مجموع بارش سالیانه دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۹/۲۸ درصدی (۲۴/۳۴+ میلی متر)، تحت سناریوی RCP4.5 کاهش ۱/۰۹ درصدی (۲/۸۷- میلی متر) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۸/۱۶ درصدی (۲۱/۳۹+ میلی متر) را نشان می دهد.

د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز)

تمامی سناریوها افزایش بارش را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین مجموع بارش سالیانه دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۳۳/۴۱ درصدی (۲۰/۱۹+ میلی متر)، تحت سناریوی RCP4.5 افزایش ۴۰/۳۲ درصدی (۲۴/۳۷+ میلی متر) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۳۵/۸۷ درصدی (۲۱/۶۸+ میلی متر) را نشان می دهد.

ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق)

تمامی سناریوها کاهش بارش را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین مجموع بارش سالیانه دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 کاهش ۱۵/۱۵ درصدی (۱۸/۶۱- میلی متر)، تحت سناریوی RCP4.5 کاهش ۲۱/۰۲ درصدی (۲۵/۸۱- میلی متر) و تحت سناریوی RCP8.5 کاهش ۲۶/۷۹ درصدی (۳۲/۹- میلی متر) را نشان می دهد.

و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب)

تمامی سناریوها افزایش بارش را در ایستگاه مورد نظر برای دوره آتی پیش بینی می کنند. طبق محاسبات انجام شده در این تحقیق، میانگین مجموع بارش سالیانه دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۱-۲۰۰۰) در این ایستگاه، تحت سناریوی RCP2.6 افزایش ۲۰/۲۴ درصدی (۳۳/۳۶+ میلی متر)، تحت سناریوی RCP4.5 افزایش ۱۷/۳۷ درصدی (۲۸/۶۱+ میلی متر) و تحت سناریوی RCP8.5 افزایش ۲۳/۴۸ درصدی (۳۸/۷+ میلی متر) را نشان می دهد.

۲-۵- پیشنهادها

با توجه به نتایج این تحقیق موارد زیر برای تحقیقات آینده پیشنهاد می شود:

۱ - با توجه به تعدد مدل های اقلیمی و عدم قطعیت مربوط به عملکرد آن ها در مناطق و اقلیم های گوناگون، در همه مطالعاتی که با هدف انجام پیش بینی های تغییر اقلیم صورت می گیرد، ابتدا عملکرد مدل ها در شبیه سازی انواع پارامترهای اقلیمی در دوره تاریخی بررسی شود و چنانچه عملکرد مدل ها مناسب بود، پیش بینی های آینده انجام پذیرد. در این صورت نتایج واقعی تری برای ارائه به بخش های اجرایی حاصل می شود.

۲ - در این تحقیق از روش ریزمقیاس نمایی تناسبی برای بررسی اثرات تغییر اقلیم به کار گرفته شده است. بهتر است چنان چه مدل های آماری و دینامیکی در آینده برای سناریوهای RCP به روز

رسانی شدند، همزمان مورد استفاده قرار گیرند و توانمندی روش های مختلف ریزمقیاس نمایی با هم مقایسه شود.

۳ - با توجه به این موضوع که تعداد مدل های CMIP5 حدود ۴۰ مدل می باشد و در این تحقیق از خروجی ۲۵ مدل اقلیمی در دسترس استفاده شده است، بهتر است که عملکرد مدل های دیگر نیز در صورت به روز رسانی آن ها مورد بررسی قرار گیرد.

۴ - با توجه به این موضوع که نحوه دقیق انتشار گازهای گلخانه ای در آینده قابل پیش بینی نیست، بنابراین به کار بردن تنها یک و یا دو سناریو نمی تواند بیانگر محدوده جواب نهایی باشد و بهتر است تمامی سناریوها برای مناطق مختلف، پارامترهای مختلف و دوره های زمانی مختلف بررسی شود.

فصل ششم

مراجع

- [1] IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers
- [2] van Vuuren, D.P., Stehfest, E., den Elzen, M.G.J. et al. Climatic Change (2011) 109: 95.
- [3] Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J. et al. Climatic Change (2011) 109: 77.
- [4] Chuwah, C., van Noije, T., van Vuuren, D.P. et al. Climatic Change (2016) 134: 1.
- [5] Riahi, K., Rao, S., Krey, V. et al. Climatic Change (2011) 109: 33.
- [6] Gonzalez-rouco, J.F., Heyen, H., Zorita, E., and Valero, F. 2000. Agreement between Observed Rainfall Trends and Climate Change Simulations in the Southwest of Europe, American Meteorological Society. 13: 3057-3065.
- [7] Prudhomme Ch, Jakob D and Svensson C, 2001. Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. Journal of Hydrology, 277: 1-23
- [8] Zhao, Y. Camberlin, P. Richard, Y "Validation of a coupled GCM and projection of summer rainfall change over South Africa, using a statistical downscaling method", 2005
- [9] Andersen, H.E., Kronvang, B., Larsen, S.E., Hoffmann, C.Ch., Jensen, T.S. and Rasmussen, E.K. 2006. Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish Lowland river basin. Science of the Total Environment. 365: 223-237.
- [10] Khan, M. S., coulibly P., Dibike, Y., (2006)." uncertainty Analysis of statistical Downscaling Methods", Journal of Hydrology, 319, 357382.
- [11] R. L. Wilby and I. Harris, "A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Lowflow scenarios for the River Thames, UK" Water Resources Research, vol. 42, 2006
- [12] J. P. Evans, "21st century climate change in the Middle East" Climatic Change, vol. 92, pp. 417-432, 2009.

[13] S. Steele-Dunne, P. Lynch, R. McGrath, T. Semmler, S. Wang, J. Hanafin, et al., "The impacts of climate change on hydrology in Ireland" *Journal of Hydrology*, vol. 356, pp. 28-45, 2008.

[14] K. Abdo, B. Fiseha, T. Rientjes, A. Gieske, and A. Haile, "Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana basin, Ethiopia" *Hydrological Processes*, vol. 23, pp. 3661-3669, 2009.

[۱۵] پ. آشفته و ع. مساح بوانی، "بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب؛ مطالعه موردی حوضه قرنقو، آذربایجان شرقی" نخستین کنفرانس پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران، ۱۳۸۹.

[۱۶] ن. سیاری، ا. علیزاده، م. بنایان اول و م. حسامی کرمانی، "پیش بینی تغییرات اقلیمی در حوضه کشف رود استان خراسان طی سه دوره آماری ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (ASD) خروجی مدل HadCM3 اولین کنفرانس بین المللی مدل سازی گیاه، آب، خاک و هوا، ۱۳۹۰.

[۱۷] ب. اشرف، م. موسوی بایگی، غ. کمالی و ک. داوری، "بررسی روند تغییر پارامترهای اقلیمی مشهد در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده های شبیه سازی شده توسط مدل LARS-WG5" اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، ۱۳۹۰.

[۱۸] ا. گودرزی، م. دستورانی، ع. مساح بوانی و ع. طالبی، "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت رواناب حوزه های مناطق خشک مطالعه موردی: حوزه رودخانه اعظم هرات-یزد" چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۰.

[۱۹] ف. ا. هاشمی نسب، س. م. موسوی بایگی، ب. بختیاری و ک. داوری، "پیش بینی تغییرات بارش ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل ریزمقیاس کننده و مدل گردش عمومی جو (مطالعه موردی: شهر کرمان)" یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۳۹۰.

[۲۰] ر. عسکری، ح. قربانی زاده خرازی و ع. قانقرمه، "تأثیرات تغییر اقلیم سواحل بر نوسانات آب دریای خزر با خروجی مدل GCM" یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳۹۱.

[۲۱] ک. امیدوار، ن. جوانشیری و ا. بابائیان، "بررسی تغییر اقلیم در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی در جنوب استان کرمان با استفاده از ریزمقیاس نمایی مدل GCM" نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، ۱۳۹۲.

[۲۲] ا. دنه دزفولی، ن. ظهراپی و م. محمدی روزبهانی، "مطالعه عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه سازی متغیر دما در ایستگاه های اهواز و آبادان" همایش تغییر اقلیم و راهی به سوی آینده پایدار، ۱۳۹۳.

[۲۳] آ. بیاتی آبی و م. توکلی، "پیش بینی تغییر اقلیم با استفاده از مدل گردش عمومی هوا در ایستگاه خرم آباد" همایش تغییر اقلیم و راهی به سوی آینده پایدار، ۱۳۹۳.

[۲۴] م. حسینی خواه، ح. زینی وند، ع. حقی زاده، ن. طهماسبی پور، "پیش بینی تغییرات الگوی بارش حوزه آبخیز قره سو در دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G" همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی، تهران، شرکت علم و صنعت طلوع فرزین، ۱۳۹۳.

[25] Zhang, X., Q. Tang, X. Zhang, and D. P. Lettenmaier, "Runoff sensitivity to global mean temperature change in the CMIP5 Models" *Geophys. Res. Lett.*, 2014.

[26] G. Vigano, G. Confortola, R. Fornaroli, et al., "Effects of Future Climate Change on a River Habitat in an Italian Alpine Catchment" *Journal of Hydrologic Engineering*, 2015.

[27] F. J. Wambura et al., "Uncertainty of runoff projections under changing climate in Wami River sub-basin" *Journal of Hydrology*, vol. 4, 2015

[28] M. Ibrahim et al., "The use of CMIP5 data to simulate climate change impacts on flow regime within the Lake Champlain Basin" *Journal of Hydrology*, 2015

[29] Srinivasa Raju, K., Sonali, P., Nagesh Kumar, D., "Ranking of CMIP5-based global climate models for India using compromise programming" *Theor Appl Climatol*, 2016

[30] Basheer, A. K., Lu, H., Omer, A., Ali, A. B., and Abdelgader., "Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on the streamflow in the Dinder River and ecosystem habitats in Dinder National Park, Sudan" *Hydrology and Earth System Sciences*, 2016

[31] Dessalegne, T., Obeysekera, J., Nair, S., Barnes, J., "Assessment of CMIP5 Multi-Model Dataset to Evaluate Impacts on the Future Regional Water Resources of South Florida" World Environmental and Water Resources Congress, 2016

[۳۲] ح. یزدان پناه، م. سلیمانی تبار، " بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مراحل فنولوژی سیب در شمال شرق ایران " نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی، کرمان، ۱۳۹۲.

[۳۳] م. نظری شریبان ، م. طاهریون، آ. احمدی، " بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش در حوزه آبریز سد مهاباد (با استفاده از مدل CanESM2)" دومین همایش ملی معماری، عمران و توسعه نوین شهری، ارومیه، ۱۳۹۴.

[۳۴] م. زین العابدینی، م. حسامی کرمانی، " بررسی اثر تغییر اقلیم تحت سناریو های RCP منطقه مورد مطالعه: استان مازندران " اولین همایش سراسری مباحث کلیدی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی ایران، گرگان، ۱۳۹۵.

[۳۵] ز. فرمانبر، م. دلاور، " ارزیابی ریسک منطقه ای اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه زریبار)" هشتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ۱۳۹۵

Abstract

At the present time, with increasing industrial activities and degrading environmental issues, climate change (CC) effects as a global challenge are more obvious worldwide. Climate change can also influence on extreme events such as floods and droughts. To investigate CC at global/regional scales General Circulation Models (GCMs) are the most widely used approach to produce climate scenarios for present and future time horizons. Given the importance of GCM models as the basic tools for CC studies and with regard to various GCM models developed worldwide, selecting the best model for each study region is of considerable importance. In this study, for six regions over Iran, namely North East, North, North West, Central, South East and South West, a synoptic station was selected as representative station for that region and outputs of 25 GCM models of CMIP5 were evaluated for temperature and precipitation in the historical period (1981-2000). With regard to performance indices, the best models were selected at seasonal time-scale. These indices include Coefficient of Determination, Root Mean Square Error and Nash Sutcliffe coefficient. Finally, the outputs of selected GCM models for each region were downscaled using the proportional method for various emission scenarios (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5) and for the future time period (2046-2065). The results indicated the increase in temperature in all months over all study regions. Under the RCP2.6 scenario, the lowest and highest increase in temperature was calculated under the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, respectively. Unlike temperature, precipitation exhibit different behavior at different areas and under various scenarios. Overall, the average total annual precipitation in the future showed increase (For example Southwest region under all scenario), decrease (For example Southeast Region under all scenario) or no change (For example Northwest under RCP4.5) compared to the historical period.

Keyword: Climate Change, CMIP5 GCMs, RCPs emission scenarios, Proportional downscaling



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

**M.Sc. Thesis in Water Resources Engineering and
Management**

**Evaluating the effects of Climate Change on Precipitation and
Temperature over Different Parts of Iran using AR5 scenarios**

By: Shahab Doolabian

Supervisor:
Dr Saeed Golian

July 2017