

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران
رشته مهندسی عمران گرایش آب
پایان نامه کارشناسی ارشد

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

نگارنده: محمد بذرافشان مقدم

استاد راهنما:

دکتر سعید گلپان

شهریور ۱۳۹۵

تقدیم به

پدر و مادر بزرگوارم

که وجودشان علت هستی من است

و برادرانم

که بهترین دوستان و حامیان زندگی ام هستند.

تقدیر و تشکر

برحسب وظیفه از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر گلین که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این پژوهش بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی پایان نامه بنده را بر عهده گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. باشد که این حقیر، بخشی از زحمات ایشان را سپاس گوید.

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

در انتها از برادر عزیزم، جناب آقای دکتر امیر بذرافشان مقدم و همسر گرامی‌شان که در طول دوران ارشدم پشتیبان و مایه امیدم بودند تشکر می‌کنم و قدردان زحماتشان خواهم بود.

محمد بذرافشان مقدم

شهریور ۱۳۹۵

چکیده

یکی از بزرگ‌ترین مشکل‌ها و چالش‌های بشر در قرن بیست و یکم تغییر اقلیم است. در این راستا برای پیش‌بینی وضعیت اقلیم در دوره آینده، باید اقدام به تولید سناریوهای اقلیمی کرد. در حال حاضر مهم‌ترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشند. با توجه به اهمیت این مدل‌ها از جهت ابزار اصلی مطالعات تغییر اقلیم و نیز تعددشان، انتخاب بهترین مدل برای مناطق مورد مطالعه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. لذا در این پژوهش ابتدا ۴ مدل گردش عمومی جو BCM2، CNRMCM3، MIROC3.2-medres و HadCM3 از بین مدل‌های اقلیمی انتخاب کرده‌ایم که ملاک‌گزینش برای سه مدل اول از لحاظ شبکه‌بندی یکسان و برای مدل HadCM3 از نظر شباهت ابعادی با سه مدل ذکر شده و استفاده زیاد در تحقیقات اقلیمی بود. سپس به بررسی عملکرد و صحت سنجی این مدل‌ها در شبیه‌سازی داده‌های ۳ متغیر اقلیمی بارش، دمای ماکسیمم و دمای مینیمم در ۶ منطقه از کشور شامل شمال شرق، شمال، شمال غرب، مرکز، جنوب شرق و جنوب غرب در دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) توسط معیارهای عملکرد R^2 ، RMSE و ضریب نش-ساتکلیف پرداخته شد. پس از انتخاب کردن مدل بهینه برای هر منطقه و برای هر یک از سه متغیر ذکر شده، به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش، دمای ماکسیمم و دمای مینیمم در هر منطقه از کشور طبق مدل منتخب آن منطقه با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی تناسبی تحت سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) پرداختیم. نتایج نشان داد که بیشترین میزان بارش در دوره آینده در اکثر مناطق در بین سه سناریو در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار تحت سناریو A2 صورت می‌گیرد و کمترین میزان بارش در اکثر مناطق در فصل تابستان تحت سناریوهای A2 و A1B می‌باشد. همچنین دمای ماکسیمم و مینیمم در دوره آینده در همه مناطق و تحت هر سه سناریو افزایش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی جو، ریزمقیاس‌نمایی تناسبی

فهرست مطالب

۱- فصل اول (کلیات)	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- شناخت عوامل اقلیمی	۲
۳-۱- تغییر اقلیم	۵
۱-۳-۱- علل نجومی	۵
۲-۳-۱- علل زمینی	۶
۴-۱- مدل‌های گردش عمومی جو	۸
۵-۱- سناریوهای انتشار (SRES)	۹
۶-۱- ریزمقیاس نمایی	۱۳
۷-۱- اهداف مطالعه	۱۳
۲- فصل دوم (مروری بر تحقیقات گذشته)	۱۵
۱-۲- مقدمه	۱۶
۲-۲- پیشینه پژوهش در خارج کشور	۱۷
۳-۲- پیشینه پژوهش داخل کشور	۲۱
۴-۲- جمع‌بندی	۲۴
۳- فصل سوم (مواد و روش‌ها)	۲۵
۱-۳- مقدمه	۲۶
۲-۳- مواد تحقیق و مناطق مورد مطالعه	۲۶

- ۳-۲-۱- انتخاب مدل‌های اقلیمی ۲۶
- ۳-۲-۲- ریزمقیاس کردن تناسبی ۲۷
- ۳-۲-۳- انتخاب سناریوهای انتشار و استخراج داده‌های مورد نیاز ۳۳
- ۳-۳- معیارهای عملکرد ۳۴
- ۴- فصل چهارم (نتایج و بحث) ۳۷
- ۴-۱- مقدمه ۳۸
- ۴-۲- بررسی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه‌سازی بارش، دمای ماکسیمم و مینیمم برای دوره پایه در مناطق مختلف ایران ۳۸
- ۴-۳- بررسی تغییرات بارش ۴۱
- ۴-۳-۱- بررسی تغییرات بارش ایستگاه تربت‌حیدریه (شمال شرق) بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۴۱
- ۴-۳-۲- بررسی تغییرات بارش ایستگاه بابلسر (شمال) بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۴۳
- ۴-۳-۳- بررسی تغییرات بارش ایستگاه تبریز (شمال غرب) بر اساس خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۴۵
- ۴-۳-۴- بررسی تغییرات بارش ایستگاه یزد (مرکز) بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۴۷
- ۴-۳-۵- بررسی تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر (جنوب شرق) بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۴۹

- ۴-۳-۶- بررسی تغییرات بارش ایستگاه آبادان (جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل
 BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۵۱
- ۴-۴-۴- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ۵۳
- ۴-۴-۱- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت حیدریه (شمال شرق) بر اساس
 خروجی مدل BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۵۳
- ۴-۴-۲- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه بابلسر (شمال) بر اساس خروجی مدل
 MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۵۵
- ۴-۴-۳- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تبریز (شمال غرب) بر اساس خروجی
 مدل CNRMCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۵۷
- ۴-۴-۴- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه یزد (مرکز) بر اساس خروجی مدل
 MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۵۹
- ۴-۴-۵- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه ایرانشهر (جنوب شرق) بر اساس
 خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۶۱
- ۴-۴-۶- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه آبادان (جنوب غرب) بر اساس خروجی
 مدل BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۶۳
- ۴-۵-۵- بررسی تغییرات دمای مینیمم ۶۵
- ۴-۵-۱- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت حیدریه (شمال شرق) بر اساس
 خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۶۶
- ۴-۵-۲- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه بابلسر (شمال) بر اساس خروجی مدل
 MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۶۸

- ۳-۵-۴- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تبریز (شمال غرب) بر اساس خروجی
مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۷۰
- ۴-۵-۴- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه یزد (مرکز) بر اساس خروجی مدل
MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۷۲
- ۵-۵-۴- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه ایرانشهر (جنوب شرق) بر اساس
خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۷۴
- ۶-۵-۴- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه آبادان (جنوب غرب) بر اساس خروجی
مدل BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۷۶
- ۶-۴- نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی مختلف و مقایسه با مدل اقلیمی منتخب یک منطقه
..... ۷۸
- ۱-۶-۴- بررسی و مقایسه تغییرات بارش ایستگاه تربت‌حیدریه (شمال شرق) بر اساس
خروجی مدل‌های دیگر با مدل منتخب HadCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 ۷۸
- ۲-۶-۴- بررسی و مقایسه تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت‌حیدریه (شمال شرق)
بر اساس خروجی مدل‌های دیگر با مدل منتخب BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1
..... ۸۱
- ۳-۶-۴- بررسی و مقایسه تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت‌حیدریه (شمال شرق) بر
اساس خروجی مدل‌های دیگر با مدل منتخب CNRMCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1
..... ۸۴
- ۵- فصل پنجم (نتیجه‌گیری و پیشنهادها) ۸۹
- ۱-۵- نتیجه‌گیری ۹۰

- ۵-۱-۱- ارزیابی بارش ۹۱
- الف - ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق) ۹۱
- ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال) ۹۱
- ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب) ۹۱
- د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز) ۹۲
- ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق) ۹۲
- و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب) ۹۳
- ۵-۱-۲- ارزیابی دمای ماکسیمم ۹۳
- الف - ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق) ۹۳
- ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال) ۹۴
- ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب) ۹۴
- د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز) ۹۴
- ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق) ۹۵
- و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب) ۹۵
- ۵-۱-۳- ارزیابی دمای مینیمم ۹۶
- 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

۴-۱-۵- ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی مختلف و مقایسه با مدل اقلیمی

منتخب یک منطقه ۹۸

الف - ارزیابی بارش ۹۸

ب - ارزیابی دمای ماکسیمم ۹۸

ج - ارزیابی دمای مینیمم ۹۹

۲-۵- پیشنهادها ۹۹

۶- فصل ششم (منابع) ۱۰۱

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ : سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای از سال ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ در نبود سیاست‌های اقلیمی ۱۰
- شکل ۱-۳ : شبکه‌بندی مدل‌های MIROC3.2 medres و CNRMCM3، BCM2 ۳۱
- شکل ۲-۳ : شبکه‌بندی مدل HadCM3 ۳۲
- شکل ۱-۴ : تغییرات بارش ایستگاه تربت‌حیدریه بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2 ۴۱
- شکل ۲-۴ : تغییرات بارش ایستگاه تربت‌حیدریه بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B ۴۲
- شکل ۳-۴ : تغییرات بارش ایستگاه تربت‌حیدریه بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو B1 ۴۲
- شکل ۴-۴ : تغییرات بارش ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2 ۴۳
- شکل ۵-۴ : تغییرات بارش ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B ۴۴
- شکل ۶-۴ : تغییرات بارش ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو B1 ۴۴
- شکل ۷-۴ : تغییرات بارش ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریو A2 ۴۵
- شکل ۸-۴ : تغییرات بارش ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B ۴۶

شکل ۹-۴ : تغییرات بارش ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریو B1	۴۶
شکل ۱۰-۴ : تغییرات بارش ایستگاه یزد بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2	۴۷
شکل ۱۱-۴ : تغییرات بارش ایستگاه یزد بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B	۴۸
شکل ۱۲-۴ : تغییرات بارش ایستگاه یزد بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو B1	۴۸
شکل ۱۳-۴ : تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2	۴۹
شکل ۱۴-۴ : تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B	۵۰
شکل ۱۵-۴ : تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو B1	۵۰
شکل ۱۶-۴ : تغییرات بارش ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A2	۵۱
شکل ۱۷-۴ : تغییرات بارش ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A1B	۵۲
شکل ۱۸-۴ : تغییرات بارش ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو B1	۵۲
شکل ۱۹-۴ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A2	۵۴

- شکل ۴-۲۰ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل BCM2
تحت سناریو A1B ۵۴
- شکل ۴-۲۱ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل BCM2
تحت سناریو B1 ۵۵
- شکل ۴-۲۲ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres
تحت سناریو A2 ۵۶
- شکل ۴-۲۳ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres
تحت سناریو A1B ۵۶
- شکل ۴-۲۴ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres
تحت سناریو B1 ۵۷
- شکل ۴-۲۵ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی CNRMCM3
تحت سناریو A2 ۵۸
- شکل ۴-۲۶ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی CNRMCM3
تحت سناریو A1B ۵۸
- شکل ۴-۲۷ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی CNRMCM3
تحت سناریو B1 ۵۹
- شکل ۴-۲۸ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres
تحت سناریو A2 ۶۰
- شکل ۴-۲۹ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres
تحت سناریو A1B ۶۰
- شکل ۴-۳۰ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres
تحت سناریو B1 ۶۱

- شکل ۳۱-۴ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2
 medres تحت سناریو A2 ۶۲
- شکل ۳۲-۴ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2
 medres تحت سناریو A1B ۶۲
- شکل ۳۳-۴ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2
 medres تحت سناریو B1 ۶۳
- شکل ۳۴-۴ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت
 سناریو A2 ۶۴
- شکل ۳۵-۴ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت
 سناریو A1B ۶۴
- شکل ۳۶-۴ : تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت
 سناریو B1 ۶۵
- شکل ۳۷-۴ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت‌حیدریه بر اساس خروجی مدل
 CNRMCM3 تحت سناریو A2 ۶۶
- شکل ۳۸-۴ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت‌حیدریه بر اساس خروجی مدل
 CNRMCM3 تحت سناریو A1B ۶۷
- شکل ۳۹-۴ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت‌حیدریه بر اساس خروجی مدل
 CNRMCM3 تحت سناریو B1 ۶۷
- شکل ۴۰-۴ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres
 تحت سناریو A2 ۶۸
- شکل ۴۱-۴ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres
 تحت سناریو A1B ۶۹

- شکل ۴-۴۲ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1 ۶۹
- شکل ۴-۴۳ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2 ۷۰
- شکل ۴-۴۴ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B ۷۱
- شکل ۴-۴۵ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1 ۷۱
- شکل ۴-۴۶ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2 ۷۲
- شکل ۴-۴۷ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B ۷۳
- شکل ۴-۴۸ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1 ۷۳
- شکل ۴-۴۹ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2 ۷۴
- شکل ۴-۵۰ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B ۷۵
- شکل ۴-۵۱ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1 ۷۵
- شکل ۴-۵۲ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A2 ۷۶

- شکل ۴-۵۳ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A1B ۷۷
- شکل ۴-۵۴ : تغییرات دمای مینیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو B1 ۷۷
- شکل ۴-۵۵ : داده‌های بارش مشاهداتی و GCM گذشته چهار مدل اقلیمی تحت سه سناریو ۷۹
- شکل ۴-۵۶ : داده‌های بارش شبیه‌سازی شده چهار مدل اقلیمی تحت سناریو A2 ۷۹
- شکل ۴-۵۷ : داده‌های بارش شبیه‌سازی شده چهار مدل اقلیمی تحت سناریو A1B ۸۰
- شکل ۴-۵۸ : داده‌های بارش شبیه‌سازی شده چهار مدل اقلیمی تحت سناریو B1 ۸۰
- شکل ۴-۵۹ : داده‌های دمای ماکسیمم مشاهداتی و GCM گذشته سه مدل اقلیمی تحت سه سناریو ۸۲
- شکل ۴-۶۰ : داده‌های دمای ماکسیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو A2 ۸۲
- شکل ۴-۶۱ : داده‌های دمای ماکسیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو A1B ۸۳
- شکل ۴-۶۲ : داده‌های دمای ماکسیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو B1 ۸۳
- شکل ۴-۶۳ : داده‌های دمای مینیمم مشاهداتی و GCM گذشته سه مدل اقلیمی تحت سه سناریو ۸۵
- شکل ۴-۶۴ : داده‌های دمای مینیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو A2 ۸۵

شکل ۴-۶۵ : داده‌های دمای مینیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو A1B

۸۶

شکل ۴-۶۶ : داده‌های دمای مینیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو B1

۸۶

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۳ : مشخصات مدل‌های اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش ۲۹
- جدول ۲-۳ : خصوصیات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک مناطق مورد مطالعه در این پژوهش ۳۳
- جدول ۱-۴ : بررسی عملکرد مدل‌ها برای پیش‌بینی متغیر بارش ۳۹
- جدول ۲-۴ : بررسی عملکرد مدل‌ها برای پیش‌بینی متغیر دمای ماکسیمم ۳۹
- جدول ۳-۴ : بررسی عملکرد مدل‌ها برای پیش‌بینی متغیر دمای مینیمم ۴۰
- جدول ۴-۴ : میزان اختلاف بارش سالانه در دوره آینده نسبت به دوره گذشته تحت سه سناریو برای چهار مدل اقلیمی ۸۱
- جدول ۵-۴ : میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه در دوره آینده نسبت به دوره گذشته تحت سه سناریو برای سه مدل اقلیمی ۸۴
- جدول ۶-۴ : میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه در دوره آینده نسبت به دوره گذشته تحت سه سناریو برای سه مدل اقلیمی ۸۷

فصل اول

کلیات

۱- فصل اول (کلیات)

۱-۱- مقدمه

مدل توزیع مناطق زیستی اصلی کره زمین، پیوند و همبستگی نزدیکی با متغیرهای اقلیمی، به‌ویژه دما و بارش دارد. هرگونه آشفتگی و بی‌نظمی در سامانه اقلیم منجر به ایجاد اختلال و به هم خوردن توازن فعلی می‌شود و توزیع جغرافیایی زیست‌بوم‌ها را از حالت کنونی خارج می‌کند. این امر تبعات وسیع اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی با شدت و ضعف‌های متفاوت در نواحی مختلف جهان را به دنبال خواهد داشت.

در حال حاضر در ابتدای هزاره سوم، انسان به عنوان مهم‌ترین عامل تغییرات اقلیمی در جهت بر هم زدن تعادل است. در این سال‌ها گونه‌هایی از جانوران توسط انسان از بین رفته، خاک‌ها فرسوده گردیده، آب و هوا آلوده و دگرگون شده، از مقدار اکسیژن هوا کاسته شده و بر مقدار دی‌اکسید کربن آن افزوده شده است. به علت این تغییرات، میانگین کلی دمای اتمسفر بالا رفته است.

از دهه ۱۹۸۰ و با توسعه و تکامل مدل‌های عددی کوتاه مدت، تلاش برای پیش‌بینی‌های طولانی مدت در مقیاس فصلی و سالانه آغاز شد. اما اخیراً عمده نگرانی دانشمندان هوا و اقلیم‌شناسی تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش کلی زمین و به تبع آن وضع اقلیم دهه‌های آتی کره زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی است. به همین دلیل مدل‌های عددی زیادی برای مدل‌سازی شرایط آب و هوایی در دهه‌های آینده با در نظر گرفتن شرایط مختلف دخالت بشر توسعه داده شده است.

۱-۲- شناخت عوامل اقلیمی

در هواشناسی معمولاً شرایط حال حاضر آب و هوا مورد بررسی قرار می‌گیرد در حالی که در اقلیم‌شناسی مشخصه‌های دراز مدت 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.

الف - تابش آفتاب : تابش اشعه خورشید به سطح زمین باعث ایجاد گرمای طبیعی می‌شود.

ب - دمای هوا : میزان گرما و سرمای سطح زمین عامل اصلی تعیین کننده دمای هوای بالای آن است. دمای هوا در اثر دریافت اشعه خورشید، به طور مستقیم افزایش نمی‌یابد؛ بلکه طیف‌های نور خورشید را از خود عبور داده و زمین تابش خورشیدی را جذب می‌نماید. زمین این انرژی را به وسیله تشعشع با طول موج بلند به هوای مجاور تعدیل می‌نماید و باعث می‌شود هوای مجاور سطح زمین طول موج بلند ساطع شده از زمین را جذب نموده؛ گرم شود. سپس لایه هوای گرم شده مجاور سطح زمین، گرمای خود را به وسیله جابجایی به لایه‌های دیگر منتقل می‌کند. جریان هوا و باد نیز باعث تماس بیشتر توده‌های 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 آهسته‌تر از سطح زمین تحت تأثیر تابش خورشید گرم می‌شوند، لذا میانگین دمای هوای بالای خشکی‌ها در تابستان بالاتر و در زمستان پایین‌تر از میانگین دمای هوای بالای دریاهاست.

ارتفاع از سطح دریا نیز تعیین کننده دمای هوا می‌باشد و در یک عرض جغرافیایی مشخص، مناطقی که در ارتفاع بیشتری قرار دارند، سردتر از مناطق پایین‌تر هستند.

ج - 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 اقیانوس‌ها و دریاها و همچنین سطوح مرطوبی چون گیاهان وارد هوا می‌شود. هرچه هوا گرم‌تر باشد، بخار آب بیشتری را در خود نگه می‌دارد. به عنوان مثال ظرفیت پذیرش بخار آب در هوایی که دمای آن ۱۸ درجه سلسیوس است سه برابر هوایی است که دمای آن ۲ درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین با کم شدن ارتفاع تراکم بخار آب در هوا زیاد می‌شود.

هوای بدون بخار آب را هوای خشک می‌گویند. این نوع هوا در جو وجود ندارد؛ حتی در جو روی بیابان‌ها و عرض‌های بالا. هوای خشک به علاوه رطوبت را هوای مرطوب می‌گویند. تبخیر از سطح اقیانوس‌ها و آب‌های سطحی و تعرق، منبع رطوبت هوا، ایجاد ابرها و بارندگی است. حداقل رطوبت نسبی جو ۳ تا ۴ درصد است.

بخار آب موجود در جو در متعادل نگه داشتن دمای جو کره زمین نقش عمده‌ای دارد. زیرا بخار آب امواج تشعشعی با طول موج بلند را جذب می‌نماید. پس اگر در جو مقدار بخار آب کم باشد، اختلاف دما بسیار زیاد می‌شود. پس بحث در مورد متغیرهای هوای مرطوب از جمله رطوبت نسبی حائز اهمیت است.

د - باد : باد، به حرکت و جریان هوا گفته می‌شود. بادهای عموماً بر اساس درجه قدرتشان، سرعت، نوع نیرویی که موجب به وجود آوردنشان است و محل جغرافیایی که رخ می‌دهند و یا اثر می‌گذارند، دسته‌بندی می‌شوند.

ه - باران : باران آبی است که پس از سرد شدن بخار آب موجود در جو، به وجود آمده و بر زمین می‌ریزد.

وقتی هوای گرم به بالای آسمان صعود می‌کند، بخار آب را همراه خودش بالا می‌برد. در بالای آسمان، بخار آب سرد می‌شود و قطره‌های آب اطراف ذرات ریز گرد و غبار موجود در هوا تشکیل می‌

شود. مقداری از بخار آب هم به شکل بلوره‌های ریز یخ منجمد می‌شود که قطرات آب سرد شده را جذب می‌کند. قطرات به شکل بلوره‌های یخ، منجمد می‌شود و بلوره‌های بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهد که ما آن‌ها را برف‌ریزه می‌نامیم. موقعی که برف‌ریزه‌ها سنگین می‌شوند، پایین می‌افتند. برف‌ریزه‌ها در مسیرشان رو به پایین با هوای گرم‌تر برخورد می‌کنند و ذوب می‌شوند و به صورت قطرات باران درمی‌آیند.

۱-۳- تغییر اقلیم

در بررسی علت تغییرات اقلیمی، اساساً دو عامل نقش مهمی دارند؛

۱- عامل نجومی یا بیرونی، شامل تغییرات در پرتوهای خورشیدی و نوسان‌های مدار زمین و

۲- عامل زمینی یا درونی شامل چرخش‌های اتمسفریک، تکتونیک و ترکیبات اتمسفر زمین

۱-۳-۱- علل نجومی

مهم‌ترین علل نجومی در تغییرات اقلیمی زمین، تغییرات در انرژی گسیل شده از خورشید و تغییر در مدار گردش زمین می‌باشد.

الف - تغییرات در انرژی تابشی خورشید : سیکل‌های لکه‌های خورشیدی از جمله عوامل مهم تغییرات در تابش ورودی به زمین است. لکه‌های خورشیدی سیکل ۱۱ ساله داشته و انرژی بسیار زیادی را به ویژه به مناطق استوایی و عرض‌های معتدله انتقال می‌دهند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که لکه‌های خورشیدی می‌توانند در حوادث غیر مترقبه مانند خشک‌سالی‌ها و سیلاب مؤثر واقع شوند. همبستگی مثبت بین زمستان‌های گرم طی فعالیت‌های خورشیدی و انطباق زمستان‌های سرد با کاهش فعالیت‌های خورشیدی، مبین تأثیر لکه‌های خورشیدی بر درجه حرارت محیط است. این اختلاف دما و فشار بر اثر لکه‌های خورشیدی بر توده‌های هوا و جریان‌های هوای شمالی بر روی اقیانوس اطلس تأثیرگذار بوده و منجر به نفوذ هوایی سرد و یخبندان می‌شود.

ب - نوسان‌های مدار زمین : میلانکوویچ از جمله دانشمندانی است که ایجاد دوره‌های یخچالی را با نوسانات مدار زمین در ارتباط قرار داده است. اگرچه این نظریه تا دهه ۱۹۷۰ ثابت نشده بود. ولی در سال ۱۹۷۶ با استفاده از آنالیز مغزه‌های اقیانوسی نظریه ارتباط بین دوره‌های یخچالی با نوسانات مدار زمین به اثبات رسید. بر این اساس مشخص گردید که چرخه‌های طولانی مدت مدار گردش زمین به دور خورشید ۱۰۰ هزار ساله بوده و با حوادث یخچالی بزرگ در ارتباط می‌باشد.

۱-۳-۲- علل زمینی

طی فعالیت‌های آتش‌فشانی کوه کراکاتما در دهه ۱۸۸۰، کوه آتش‌فشانی کاتمایی در سال ۱۹۱۲، کاهش دما در سطح سیاره زمین تا ۲۰ درصد صورت گرفت. طبق نظر لامب، تابستان‌های سردتر و مرطوب‌تر در بریتانیای قرن ۱۹ و ۲۰ بر اثر خاکسترهای آتش‌فشانی بوده است که در اتمسفر این منطقه پخش شده بودند، در حالی که گرم‌تر شدن هوا طی دهه ۱۹۲۰ تا ۱۹۴۰ ناشی از عبور خاکستر و گرد و غبار آتش‌فشانی بوده است. در اثر پخش خاکستر آتش‌فشانی مقدار دی اکسید کربن اتمسفر کاهش یافته، دوره‌های کوتاه سردی به وجود می‌آید و یک بازخورد مثبت به صورت افزایش ابر و گسترش پهنه‌های یخی ایجاد می‌شود.

یکی از دلایل مهم تغییرات آب و هوایی، اثرات گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین بوده که خود پیامدهای اکولوژیکی و بیولوژیکی را به دنبال داشته است. گازهای دی اکسید کربن، متان، منو اکسید کربن، اکسید نیتروژن، کلرو فلورو کربن و اوزون در اتمسفر اثرات بسیار زیادی بر اقلیم دارند و تحت عنوان گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند. طول موج‌های بلند تشعشع شده از زمین مانند مادون قرمز، توسط گازهای گلخانه‌ای به تله می‌افتند و باعث می‌شوند که اتمسفر زمین گرم‌تر شود.

با آغاز انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزدهم میلادی و رشد روزافزون تحولات بشری، نیاز بشر به انرژی و مصرف انواع سوخت‌های فسیلی نظیر زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی نیز بیشتر شده و باعث افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین شد که مهم‌ترین آن‌ها دی اکسید کربن بود. این

افزایش از طریق تشدید پدیده گلخانه‌ای باعث افزایش دمای کره زمین شد. آنچه امروزه به عنوان تغییر اقلیم از آن یاد می‌شود، تغییر معنادار در پارامترهای اقلیمی به دلیل فعالیت‌های انسانی است. تغییر اقلیم یک چالش عمده فرآوری سیاست‌گذاران بود. برخی از دانشمندان اعتقاد داشتند که تغییر اقلیم دارای یک خطر جدی و آسیب غیر قابل برگشت است و فقدان یک قطعیت کاملاً علمی نبایستی به عنوان توجیهی برای تأخیر در اقدامات لازم قلمداد شود. سایرین عقیده داشتند که خطر تغییر اقلیم قابل مدیریت است و ارزش آن را ندارد که تغییر عمده در سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی و منابع انسانی لازم باشد. در هر حال لازم بود که سیاست‌گذاران با تنظیم کردن مدارک و شواهد، مقایسه هزینه‌ها و سودها و ارزیابی خطرات، مسیر اقدامات لازم را تعیین کنند. به دلیل پیچیدگی سیستم، سیاست‌گذاران نمی‌توانستند به تفسیرهای عمومی از شواهد و قراین موجود و فقط به نظر یک کارشناس اعتماد کنند. آن‌ها نیاز به اطلاعات قابل اعتماد و فراگیر علمی فنی و اقتصادی اجتماعی موجود در مورد تغییر اقلیم، اثرات زیست محیطی و اقتصادی اجتماعی آن داشتند. برای حل این مشکلات، سازمان هواشناسی جهانی (WMO^۱) و برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (UNEP^۲) در سال ۱۹۸۸، هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC^۳) را ایجاد کردند.

طبق گزارش‌های IPCC تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در مقادیر دما و بارش در چند دهه اخیر در سطح جهان شده است. به گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی مانند خشک‌سالی و سیلاب در بعضی مناطق افزایش یافته است. از این‌رو پرداختن به تغییرات در دما و بارش در حکم اولین اثر تغییر اقلیم در یک منطقه، حائز اهمیت است. در این راستا برای وضعیت اقلیمی، باید اقدام به تولید سناریوهای اقلیمی کرد. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس (AOGCM^۴) است.

1-World Meteorological Organization
2-United Nations Environment Programme
3-Intergovernmental Panel on Climate Change
4-Atmosphere-Ocean General Circulation Model

۱-۴- مدل‌های گردش عمومی جو

مدل‌های گردش عمومی جو در واقع حل معادلات حاکم بر جو بر اساس قوانین نیوتن و ترمودینامیک هستند. به عبارت دیگر قوانین نیوتن در سه محور X ، Y و Z نوشته می‌شوند که نهایتاً به عنوان معادلات تکانه از آن‌ها یاد می‌شود. این سه معادله در کنار قوانین عمومی گازها و ترمودینامیکی، اساس مدل‌های گردش عمومی جو را تشکیل می‌دهند. هدف مدل‌های گردش عمومی پیش‌بینی تحول زمانی جو می‌باشد. در ارتباط با این مدل‌ها دو دیدگاه عمده وجود دارد:

۱- دیدگاهی که هدف آن استفاده از این‌گونه مدل‌ها برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت تا فصلی (از یک ماه آینده تا کمتر از یک سال) می‌باشد. البته در مرکز هادلی انگلیس و سازمان هواشناسی ژاپن همین روش را برای پیش‌بینی‌های کمتر از ۵ سال نیز استفاده می‌کنند، منتها برای مناطق حاره که تأثیرپذیری بیشتری از دمای پهنه‌های اقیانوسی دارند. در واقع دو مرکز یاد شده، فقط با استفاده از داده‌های شرایط مرزی اقیانوسی، اقدام به پیش‌بینی ۲ تا ۵ سال اقلیم می‌کنند.

۲- دومین دیدگاه استفاده از این مدل‌ها برای پیش‌بینی اقلیم در مقیاس دهه تا صده می‌باشد که نمونه‌های آن هم‌اکنون در مراکز مختلف اقلیمی در حال اجرا می‌باشد و اقلیم کره زمین را تا سال ۲۳۰۰ میلادی با استفاده از همین مدل‌ها شبیه‌سازی نموده‌اند.

هر مدل گردش عمومی برای اجرا شدن به داده‌های شرایط اولیه نیاز دارد. شرایط اولیه در واقع همان میدان‌های اولیه متغیرهای هواشناسی در لحظه اجرای مدل هستند. در واقع آغازگری مدل با میدان‌های اولیه واقعی وضع هوا شروع می‌شود. البته گاهی ما مجبور می‌شویم برخی مقادیر واقعی فرا سنج‌های هواشناسی را به قیمت بهبود و پایداری پیش‌بینی‌ها حذف کنیم. مثلاً فرض کنید در ایستگاه زاہل دیدبان باد شدیدی با سرعت ۲۵ متر بر ثانیه گزارش نموده است. حال اگر مدل را با این باد ۲۵ متر بر ثانیه اجرا کنیم پاسخش واگرا می‌شود، یعنی پیش‌بینی‌ها غلط می‌شود. ولی اگر یک تعدیلی در این مقدار واقعی بدهیم پیش‌بینی‌ها بهبود پیدا می‌کنند. ممکن است شما ۲۵ متر بر ثانیه

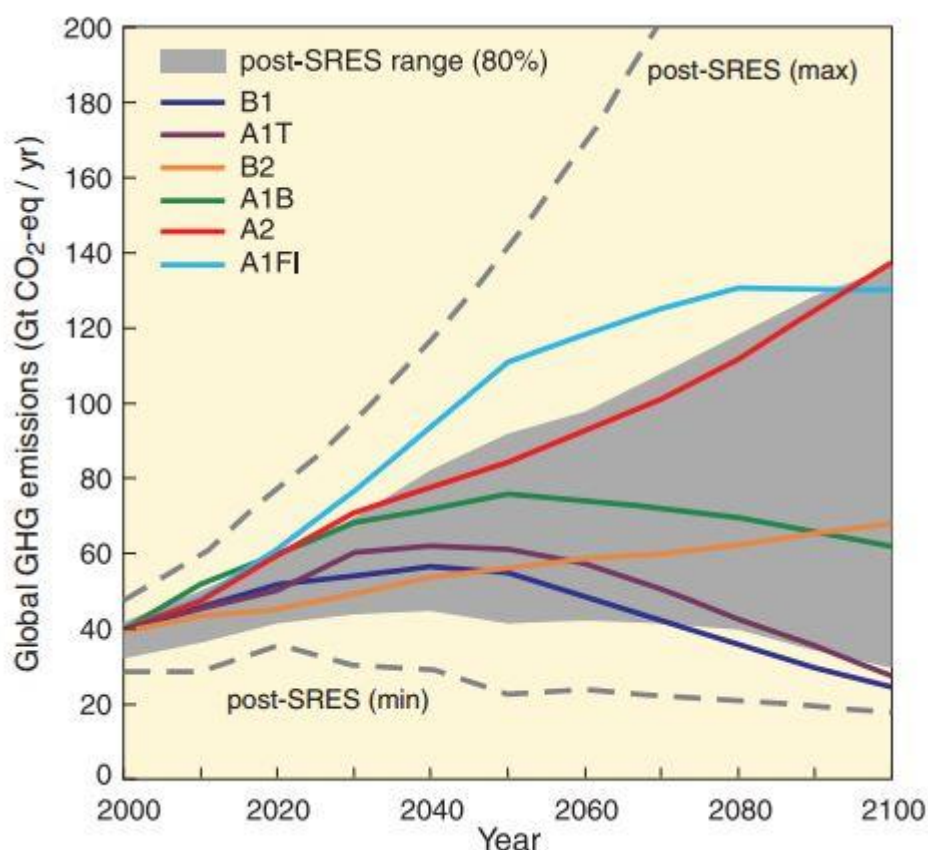
باد را به ۱۵ متر بر ثانیه تقلیل بدهید تا پیش‌بینی‌هایتان بهتر شود. این کار را کالیبراسیون می‌گویند. در حقیقت کالیبراسیون، یک بار مدل را با همان داده‌های واقعی اجرا می‌کند، بعد بررسی می‌کند که آیا با میدان پیش‌فرض اولیه، پیش‌بینی‌ها قابل قبول هستند یا خیر که اگر بودند پیش‌بینی با همان مقادیر میدان‌های اولیه اجرا می‌شود در غیر این صورت میدان‌های اولیه اصلاح می‌شوند. میدان‌ها آن‌قدر اصلاح می‌شوند که شرطی به نام کورانت-فریدریش-لوی (CFL) برقرار باشد. این شرط می‌گوید سرعت سریع‌ترین موج فیزیکی در جو یا در همان میدان‌های اولیه که به مدل می‌دهیم نایستی از سرعت محاسباتی مدل بیشتر باشد.

یکی از مهم‌ترین فرق دو دیدگاه که در بالا گفته شد، این است که آن دسته از مدل‌های گردش عمومی که برای پیش‌بینی فصلی استفاده می‌شوند، شرایط اولیه‌ای که استفاده می‌کنند، داده‌های واقعی هستند ولی در مدل‌هایی که پیش‌بینی‌ها برای مثلاً ۱۰۰ سال آینده اجرا می‌شوند، از شرایط مرزی وابسته به سناریوهای انتشار IPCC استفاده می‌شود. بنابراین نباید پیش‌بینی‌هایی که از مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار گرفته می‌شود برای پیش‌بینی‌های فصلی استفاده کرد.

۱-۵- سناریوهای انتشار (SRES)^۱

سناریوهای انتشار با لحاظ کردن شرایط اقتصادی، اجتماعی و توسعه‌ای به پیش‌بینی و برآورد میزان گازهای گلخانه‌ای و سایر گازهای آلاینده جوی در آینده می‌پردازند و هیچ‌گونه پیش‌بینی‌ای از وضعیت اقلیم و متغیرهای اقلیمی برای آینده نمی‌دهند.

شکل (۱-۱) [۱] نحوه انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا سال ۲۱۰۰، بر اساس هر یک از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای SRES نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱: سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای از سال ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ در نبود سیاست‌های اقلیمی

SRES در واقع نام اختصاری گزارش ویژه‌ای است که توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۰ منتشر شد. سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای که در گزارش مذکور آمده است، برای ارائه تصویری از تغییر اقلیم آینده کره زمین استفاده می‌شود. سناریوهای SRES در گزارش‌های سوم (TAR¹) و چهارم (AR4²) هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم که به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۷ چاپ شدند مورد استفاده قرار گرفتند.

1-Third Assessment Report
2-Fourth Assessment Report

مطابق آنچه در گزارش‌های سوم و چهارم IPCC آمده است، تعاریف هر یک از سناریوهای انتشار به این شرح می‌باشد:

الف - سناریو A1 : در این سناریو جهان یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. خانواده سناریوهای انتشار به سناریوهای اطلاق می‌شود که دارای موضوع و زمینه مشترکی هستند. مشخصات خانواده A1 به این شرح می‌باشد:

- رشد اقتصادی سریع،
- جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر رسیده و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد،
- گسترش سریع فناوری‌های جدید و کارآمد،
- دنیای همگرا که طبق آن درآمد و روش زندگی در بین مناطق با هم همگرا می‌شوند. گسترش سریع تعاملات اجتماعی و فرهنگی در دنیا.

بر مبنای تأکید بر فناوری، سه زیر مجموعه برای خانواده A1 وجود دارند که عبارت‌اند از:

۱ - A1F1 تأکید بر استفاده از سوخت‌های فسیلی

۲ - A1B تأکید بر استفاده متعادل از انواع منابع انرژی

۳ - A1T تأکید بر استفاده از منابع انرژی غیر فسیلی

ب - سناریوی A2 : مشخصات سناریو A2 که در آن برخلاف سناریوی A1، دنیا همگرا در

نظر گرفته نمی‌شود، به این شرح می‌باشد:

- دنیایی که در آن کشورها به طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند،
- جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می‌یابد،

- توسعه اقتصادی، منطقه محور است.

ج - سناریوی B2 : در سناریوی B2 دنیا همانند سناریوی A2 واگرا بوده با این تفاوت که

دوستدار محیط زیست در نظر گرفته می‌شود. مشخصات این سناریو به شرح ذیل می‌باشند:

- جمعیت به طور پیوسته افزایش می‌یابد، اما سرعت رشد آن نسبت به A2 کمتر است،

- تأکید بر راه‌حل‌های محلی به جای در نظر داشتن راه‌حل‌های جهانی برای ثبات اقتصادی،

اجتماعی و زیست محیطی،

- توسعه اقتصادی در حد متوسط،

- تغییرات تکنولوژیکی سریع بوده اما نسبت به A1 و B1 کمتر و پراکنده‌تر خواهد شد.

د - سناریوی B1 : در این سناریو دنیا یکپارچه و دوستدار محیط زیست در نظر گرفته

می‌شود که مشخصات آن عبارت‌اند از:

- رشد اقتصادی سریع همانند سناریوی A1 و مبتنی بر ارائه خدمات و اطلاعات،

- جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر می‌رسد و پس از آن به تدریج کاهش

می‌یابد،

- استفاده از منابع پاک و فناوری‌های نوین و با بازده بالا و کاهش مواد آلاینده،

- تأکید بر راه‌حل‌های جهانی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی.

در این تحقیق از سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 استفاده شده است که در اصطلاح عامیانه

سناریوی A2 سناریوی بدبینانه، به سناریوی B1 سناریوی خوش بینانه و به سناریوی A1B سناریوی

اعتدال نامیده می‌شود.

۱-۶- ریزمقیاس نمایی^۱

مهم‌ترین بخش مدل‌های گردش عمومی جو، تفکیک مکانی آن‌ها است که به وسیله آن، اقلیم واقعی کره زمین شبیه‌سازی می‌گردد. اما با توجه به این‌که قدرت تفکیک مدل‌های اقلیمی به طور نسبی پایین بوده و سلول‌های محاسباتی این مدل‌ها بزرگ‌تر از وسعت منطقه مورد مطالعاتی می‌باشند، لازم است که خروجی این مدل‌ها جهت فراهم شدن امکان مقایسه با داده‌های مشاهداتی، ریزمقیاس شوند. روش‌های مربوط به ریزمقیاس نمایی شامل روش‌های تناسبی^۲، دینامیکی^۳ و آماری^۴ می‌باشند که جهت کوچک نمایی داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی و افزایش قدرت تفکیک آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۷- اهداف مطالعه

اهداف تحقیق حاضر به شرح زیر می‌باشد:

- ۱ - بررسی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در مناطق مختلف ایران برای دوره پایه و گذشته ۱۹۸۱-۱۹۹۹ و بررسی عملکرد هر مدل با مقایسه خروجی این مدل‌ها با مقادیر مشاهداتی دما و بارش
- ۲ - صحت سنجی این مدل‌ها و انتخاب بهترین و مناسب‌ترین مدل برای هر منطقه
- ۳ - بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دمای ماکسیمم و مینیمم بر اساس مدل گردش عمومی انتخاب شده برای هر منطقه در دوره آینده ۲۰۴۶-۲۰۶۵

1-Downscaling
2-Proportional Downscaling
3-Dynamical Downscaling
4-Statistical Downscaling

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

۲- فصل دوم (مروری بر تحقیقات گذشته)

۲-۱- مقدمه

تغییر اقلیم پدیده‌ای است که بر اساس شواهد موجود، از زمان‌های بسیار دور وجود داشته و اکنون نیز وجود آن بسیار محتمل است. سرعت و ماهیت تغییرات پارامترهای اقلیمی در نیمه دوم قرن بیستم، متفاوت بوده و شتاب بیشتری به خود گرفته است. مسئله تغییر اقلیم همیشه با تردیدهای زیادی مواجه بوده و به همین دلیل محققان و دانشمندان مختلفی در زمینه ماهیت و علل آن، تحقیقات زیادی انجام داده و فرضیه‌هایی را اعلام کرده‌اند که بعضاً در تناقض با یکدیگر نیز هستند.

در سال‌های 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 می‌دانند. اما تعداد زیادی از دانشمندان نیز بر این عقیده‌اند که زمین از لحاظ محیط‌شناسی 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 برنامه‌های مختلف، موضوع تغییر اقلیم و تغییر آن به عنوان یک وضعیت برگشت ناپذیر بوده و بسیاری از محققان به ابعاد مختلف این مهم پرداخته‌اند.

با توجه به تأثیر بارزتر متغیرهای دما و بارندگی (نسبت به دیگر متغیرهای اقلیمی) بر سیستم‌های منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و غیره، مطالعات اولیه در زمینه تأثیر پدیده تغییر اقلیم، عمدتاً بر روی این دو متغیر می‌باشد. در ادامه نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده در این خصوص، آورده شده است.

۲-۲- پیشینه پژوهش در خارج کشور

در تحقیقی که توسط ژاو و همکاران^۱ (۲۰۰۵) در آفریقای جنوبی انجام شد، واکنش متغیرهای اقلیمی این منطقه نسبت به افزایش گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو GELATO، OPA، ARPEGE تحت سناریوی B2 از مجموع سناریوی SRES و روش ریزمقیاس کردن آماری استفاده شد. به منظور بررسی توانایی GCM در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در زمان حاضر و شبیه‌سازی تغییرات بارش تا پایان قرن ۲۱م، از روش آنالیز همبستگی استاندارد (CCA^۲) استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش CCA قادر به ایجاد برقراری رابطه مناسب بین بارندگی و میانگین فشار در سطح دریا، می‌باشد. شبیه‌سازی‌های به عمل آمده در بیشتر بخش‌های جنوبی آفریقا نشان می‌دهد که تا پایان قرن ۲۱م، بارندگی به میزان ۸/۲٪ کاهش خواهد یافت [۲].

ویلبی و هریس^۳ (۲۰۰۶) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان جریان‌های کم رودخانه تایمز در انگلستان پرداختند. در این تحقیق منابع عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM، روش‌های ریزمقیاس، 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 نشان داد که عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM بیشترین سهم و سناریوهای گازهای گلخانه‌ای کمترین سهم را در برآورد تابع احتمالاتی رواناب دارند [۳].

کریستین و لتنمایر^۴ (۲۰۰۶) اثر تغییر اقلیم را بر هیدرولوژی و منابع آب حوزه رودخانه کلورادو در ایالات متحده با حل مدل‌های بزرگ مقیاس هیدرولوژی و استفاده از خروجی‌های ۱۱ مدل GCM و دو سناریوی انتشار A2 و B1 مورد ارزیابی قرار دادند. سناریوهای اقلیمی کوچک مقیاس

1-Zhao et al

2-Canonical Correlation Analysis

3-Wilby and Harris

4-Christensen and Lettenmaier

شده به عنوان ورودی مدل بزرگ مقیاس هیدرولوژی VIC استفاده شد. سپس مجموعه‌ای از دما و بارش ریزمقیاس شده و مشتقات آن‌ها شامل گردش جریان و عملکرد سیستم مخزن با شبیه‌سازی‌های اقلیم معاصر در دوره تاریخی مقایسه شدند و نهایتاً نتایج در دوره آینده ارائه شد [۴].

ماکزینو و همکاران^۱ (۲۰۰۷)، ۱۷ مدل اقلیمی چهارمین گزارش ارزیابی IPCC را با شبیه‌سازی پارامترهای دمای ماکزیمم، دمای مینیمم و بارش روی حوزه دارلین استرالیا و به دست آوردن تابع چگالی احتمال^۲ برای هر متغیر، رتبه‌بندی کردند. آن‌ها در نهایت سه مدل CSIRO، IPSL و MIROC-m را پیشنهاد کردند. زیرا این مدل‌ها PDF های مشاهداتی هر سه متغیر را نسبت به دیگر مدل‌ها (که تنها جوابگوی PDF یک یا دو متغیر بودند)، به خوبی برآورد کردند [۵].

جاسون^۳ (۲۰۰۸) تغییر اقلیم قرن ۲۱م را در خاورمیانه مورد تحقیق قرار داد. در این راستا ۱۸ مدل اقلیمی GCM ارائه شده در چهارمین گزارش 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 [۶].

1-Maxino et al
2-PDFs
3-Jason

استیل دان و همکاران^۱ (۲۰۰۸) که جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم در ۹ حوضه واقع در کشور ایرلند انجام شد، داده‌های بارش و دمای استخراج شده از مدل ECHAM5 با استفاده از روش تناسبی ریزمقیاس شد. نتایج نشان داد که بارش زمستانه و تابستانه حوضه‌های مورد مطالعه به ترتیب افزایش و کاهش و دما در همه مناطق افزایش یافت [۷].

عبدو و همکاران^۲ (۲۰۰۹) برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه دریاچه تانا، اتیوپی (حداقل و حداکثر دما و بارش) از مدل گردش عمومی HadCM3 و برای ریزمقیاس نمودن از مدل ریزمقیاس نمایی آماری برای دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان دادند که برای دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۱ به ترتیب حجم رواناب برای فصل بارندگی با سناریوهای A2 و B2 به ترتیب ۱۱/۶ و ۱۰/۱ درصد کاهش خواهد یافت. آن‌ها همچنین نشان دادند که رواناب فصلی و سالیانه، زمانی که دما ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش ۲۰ درصد کاهش یابد، تقریباً ۳۳ درصد کاهش می‌یابد [۸].

راماراژ و همکاران^۳ (۲۰۰۹) در تحقیقی نتایج شبیه‌سازی مدل PRECIS در مورد داده‌های بارش و دمای حداکثر و حداقل را در استان تامیل نادو هندوستان مورد بررسی قرار دادند. این مدل شبیه‌سازی این داده‌ها را بر اساس خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 انجام می‌دهد. در این تحقیق با محاسبه شاخص آماری RMSE مشخص گردید که این مدل داده‌های دمای حداکثر را بهتر از دمای حداقل شبیه‌سازی نموده است [۹].

1-Steele-Dunne et al
2-Abdo et al
3-Ramaraj et al

گوو و همکاران^۱ (۲۰۰۹) در مطالعه خود اثر تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت و گندم و کارایی مصرف آب با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریوی تغییر اقلیم A2، B2 و A1B بررسی کردند [۱۰].

راج و ماجامدار^۲ (۲۰۱۰) اثر تغییر اقلیم را بر کارکرد مخزن سد هیراکو بر روی رودخانه مهانادی در هند، بررسی کرده‌اند. آن‌ها از سه مدل گردش عمومی تحت سه سناریو پخش گازهای گلخانه‌ای A1، B1، A1B، برای مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم و از روش CRF ریزمقیاس نمایی، استفاده کرده و سپس با استفاده از پویانمایی آماری، یک سیاست سازگاری، برای کم کردن اثر تغییر اقلیم بر کارکرد مخزن ارائه نموده‌اند. آن‌ها نشان دادند، در طول زمان میانگین جریان ورودی ماهانه به مخزن کاهش یافته و از طرف دیگر، جریان حداکثر افزایش می‌یابد. بنابراین با کاهش تراز آب مخزن، در صورتی که هدف اصلی در دراز مدت، کارایی مخزن در تأمین نیاز نیروگاه برقایی باشد، عملکرد آن برای کنترل سیلاب و تأمین آب کشاورزی نیاز به بازبینی دارد [۱۱].

سمنوف و استراتونویچ^۳ (۲۰۱۰) یک روش به منظور کاهش عدم قطعیت مدل‌های GCM بیان کردند. در این روش از چند مدل، از مدل‌های جهانی آب و هوایی، برای ارزیابی اثراتی که نیازمند سناریوی اقلیمی در مقیاس محلی هستند، استفاده می‌شود [۱۲].

نبرگا و همکاران^۴ (۲۰۱۱) اثرات تغییر اقلیم بر روی دبی رودخانه Paran در برزیل را با استفاده از سناریوهای انتشار B2، B1، A2 و A1B برای مدل‌های HadCM3، UKMO HadGEM1، NCAR CCSM30، MPI ECHAM5، IPSLCM4، CSIRO MK3، CCCMA CGCM3 مورد بررسی قرار دادند [۱۳].

1-Gou et al

2-Raje et al

3-Semenov and Stratonovitch

4-Noberga et al

سانیر و همکاران^۱ (۲۰۱۲) با مقایسه روش‌های مختلف ریزمقیاس سازی قدرت هر یک را برای مدل‌سازی نقاط اوج مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها نشان دادند، مدل‌های آماری مبتنی بر رگرسیون و مولدهای آب و هوا، دقت کمتری در پیش‌بینی نقاط پیک داشته و تقریباً نمی‌توانند آن‌ها را مدل کنند [۱۴].

۲-۳- پیشینه پژوهش داخل 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 آذربایجان غربی به روش تناسبی، ریزمقیاس نموده‌اند. نتایج، نشان از افزایش دما به میزان ۱/۵ تا ۴ درجه و تغییرات ۳۰ تا ۴۰ درصدی بارش دوره آبی نسبت به دوره پایه داشته است [۱۵].

سیاری و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر گرمایش جهانی بر حداکثر و حداقل دما و الگوی بارش حوضه کشف رود را تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 و دو مدل HadCM3 و CGCM3 برای سه دوره آبی بررسی نمودند. در این تحقیق، جهت ریزمقیاس نمایی از مدل ASD استفاده شده و مشاهده شد که در دوره‌های آبی، میانگین دما طبق هر دو مدل و دو سناریو افزایش خواهد یافت اما بارش بر اساس مدل HadCM3 افزایش و طبق مدل CGCM3 دچار کاهش خواهد شد [۱۶].

در تحقیق اشرف و همکاران (۱۳۹۰) نیز داده‌های 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 ۲۰۱۱-۲۰۳۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق، حاکی از افزایش بارش‌های بهاره، پاییزه و زمستانه، افزایش دما و کاهش ساعت آفتابی دوره مورد مطالعه در اغلب مناطق استان بوده است [۱۷].

1-Sunyer et al

گودرزی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت رواناب حوزه‌های مناطق خشک و به صورت موردی در حوضه رودخانه اعظم هرات-یزد پرداختند. به این منظور از روش ریزمقیاس نمایی تناسبی خروجی‌های مدل CGCM3 تحت سناریوهای انتشار A2 و یک مدل بارش-رواناب مفهومی IHACRES استفاده شده است. نتایج نشان از افزایش دما در همه ماه‌ها و افزایش میزان رواناب در اکثر ماه‌ها در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی داد [۱۸].

جاهد و همکاران (۱۳۹۰) در خصوص صحت سنجی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه‌سازی داده‌های دما در منطقه کرمان تحقیق نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های BCM2، INCM3 و AOM در شبیه‌سازی داده‌های دمای حداقل ماهانه، مدل‌های HadGEM، ECHO-G و CSIRO MK3 داده‌های دمای میانگین ماهانه و همچنین مدل‌های PCM، CSIRO AOM و MK3 در شبیه‌سازی دمای حداکثر ماهانه دارای بهترین عملکرد بودند [۱۹].

هاشمی نسب و همکاران (۱۳۹۰) بارش دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۰ کرمان را با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی 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 ماهانه و فصلی نشان می‌دهد که بارش در همه ماه‌های سال و همه فصول در ایستگاه کرمان افزایش دارد. همچنین در ۲۰ سال آتی نشان می‌دهد که میانگین بارش در ایستگاه کرمان حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. بررسی طول بازه تر و خشک نشان داد که طول بازه تر رو به افزایش می‌باشد [۲۰].

پورمحمدی و رحیمیان (۱۳۹۰) به بررسی خشک‌سالی چند ایستگاه مهم در مرکز ایران تحت تأثیر عدم قطعیت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در سه دهه آینده پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل HadCM3 و استفاده از دو سناریوی A2 و B2 به محاسبه وضعیت خشک‌سالی منطقه در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ اقدام کردند که مقایسه آن با وضعیت خشک‌سالی منطقه در دوره مشاهداتی نشان از ایجاد تغییرات در نوسانات سال‌های خشک و تر منطقه دارد [۲۱].

عسکری و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم سواحل بر نوسانات آب دریای خزر با خروجی مدل گردش عمومی UKMO پرداختند. نتایج خروجی این مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوزه آبریز دریای خزر نشان داد که تا پایان سال ۲۰۵۰ متوسط دما حدوداً ۲ درجه افزایش و بارش نیز در سطوح حوزه با توجه به ایستگاه‌های مورد مطالعه ۱۲-۷ میلی‌متر 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 پیش‌بینی کرد [۲۲].

امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تغییر اقلیم در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در جنوب استان کرمان با استفاده از ریزمقیاس نمایی مدل GFDLCM2.1 تحت سناریوهای A1B و A2، B1 پرداختند. نتایج حاصل از ریزمقیاس سازی به کمک مدل LARS-WG نشان داد که در دهه ۲۰۲۰ در جنوب استان کرمان شاهد افزایش دما و بارش خواهیم بود [۲۳].

قدمی و دهنو (۱۳۹۳) به مقایسه دو مدل ECHO-G و ECHAM50M در پیش‌بینی با ریزمقیاس نمایی تناسبی و عامل تغییر در غرب ایران پرداختند. طبق نتایج به دست آمده بیشترین تغییرات فصلی مربوط به دو فصل بهار و زمستان می‌باشد [۲۴].

دنه دزفولی و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه‌سازی متغیر دما در ایستگاه‌های اهواز و آبادان با استفاده از هفت مدل گردش عمومی جو پرداختند. پس از بررسی عملکرد هفت مدل HadCM3، CNRMCM3، CSIRO MK3، GFDLCM2.0، INMCM3، IPSLCM4 و BCM2 توسط سه معیار ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا و خطای بایس و مقایسه آن‌ها به این نتیجه رسید که مدل GFDLCM2.0 به طور مشترک دارای بهترین عملکرد در شبیه‌سازی متغیر دما برای هر دو ایستگاه بوده است [۲۵].

بیاتی و توکلی (۱۳۹۳) اثر تغییر اقلیم را با استفاده مدل گردش عمومی HadCM3 در ایستگاه خرم‌آباد بررسی کردند. آن‌ها با در نظر گرفتن سناریوهای انتشار A2 و B2 و ریزمقیاس سازی توسط مدل آماری SDSM و مقایسه با داده‌های مشاهداتی بیشترین افزایش در میانگین دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای متوسط تا سال ۲۱۰۰ را در این منطقه به ترتیب ۶/۹، ۴/۵ و ۶/۲۲ درجه سانتی‌گراد مربوط به ماه جولای و تبخیر و تعرق ۱/۰۸ میلی‌متر را در ماه ژوئن به دست آوردند [۲۶].

مجیدی راد و همکاران (۱۳۹۴) به پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر روند خشک‌سالی و ترسالی شمال غرب ایران با استفاده از مدل HadCM3 پرداختند. نتایج به دست آمده از ریزمقیاس سازی این مدل توسط مدل LARS-WG و مقایسه با دوره مشاهداتی حاکی از افزایش میزان شدت خشک‌سالی در غرب محدوده مورد مطالعه است که به سمت شرق از میزان خشک‌سالی‌ها کاسته می‌شود [۲۷].

۲-۴- جمع‌بندی

با توجه به اهمیت مدل‌های اقلیمی به عنوان ابزار اصلی در تحقیقات تغییر اقلیم و نیز تعدد این مدل‌ها، انتخاب بهترین و مناسب‌ترین مدل برای مناطق مختلف ایران با اقلیم‌های خاص خود از اهمیت قابل توجهی برخوردار است که تاکنون در کمتر تحقیقی به آن پرداخته شده است و در اکثر موارد به بررسی تغییر اقلیم در یک منطقه خاص اشاره شده است. لذا لازم است تحقیقاتی در خصوص صحت سنجی این مدل‌ها برای هر منطقه از ایران انجام شده و مدل بهینه هر منطقه در جهت به حداقل رساندن عدم قطعیت‌های موجود در پیش‌بینی‌های اقلیمی، انتخاب گردد. مطالعه حاضر در راستای این هدف و با مقایسه ۴ مدل مختلف گردش عمومی جو برای مناطق مختلف ایران و انتخاب کردن مدل بهینه برای هر منطقه و پس از آن بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر هر منطقه از کشور طبق مدل انتخاب شده بر بارش و دمای ماکسیمم و دمای مینیمم آن ناحیه تحت سناریوهای انتشار می‌باشد که در فصل بعد به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۳- فصل سوم (مواد و روش‌ها)

۳-۱- مقدمه

در این فصل در ابتدا مواد و روش‌های این تحقیق ارائه می‌گردد. مواد این تحقیق شامل داده‌های هواشناسی و خروجی مدل‌های اقلیمی برای مناطق مختلف ایران می‌باشد که مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه به عملکردهای مورد استفاده جهت انتخاب مدل برتر اشاره می‌شود و همچنین روش ریزمقیاس نمایی تناسبی یا عامل تغییر توضیح داده خواهد شد.

۳-۲- مواد تحقیق و مناطق مورد مطالعه

مناطق مورد مطالعه در این تحقیق شش منطقه شمال شرق، شمال، شمال غرب، مرکز، جنوب شرق و جنوب غرب می‌باشد. برای انتخاب ایستگاه‌های مربوط به هر منطقه نیاز به انتخاب مدل‌های گردش عمومی جو و دانستن نحوه شبکه‌بندی هر مدل اقلیمی بر اساس ابعاد و تفکیک بندی آن مدل‌ها داریم تا بتوانیم ایستگاه‌های مشترک در همه شبکه‌بندی‌های این مدل‌ها را تعیین کنیم.

۳-۲-۱- انتخاب مدل‌های اقلیمی

امروزه تهیه و استخراج داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی (در مقیاس ماهانه) از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی، امکان پذیر است. یکی از معتبرترین مراکز ارائه دهنده این داده‌ها، سایت CCCSN^۱ که متعلق به سایت سازمان محیط زیست کانادا و با پایگاه اطلاعاتی IPCC در ارتباط است، می‌باشد. این سایت، امکان استخراج داده‌های ماهانه شبیه‌سازی شده توسط ۲۴ مدل گردش عمومی جو برای اغلب پارامترهای اقلیمی (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، بارش، فشار و غیره) بر اساس سناریوهای مختلف انتشار (A1B، A2 و B1) را طبق خصوصیات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه برای کاربر فراهم می‌کند. اما چنان چه قبلاً ذکر شد، عمده‌ترین مسئله در استفاده از خروجی

1-Canadian Climate Change Scenarios Network

مدل‌های اقلیمی، بزرگ بودن مقیاس سلول‌های محاسباتی آن‌ها در مقایسه با منطقه مورد مطالعه و یا به عبارت دیگر کم بودن قدرت تفکیک فضایی آن‌هاست. بنابراین لازم است خروجی آن‌ها قبل از استفاده در مطالعات تغییر اقلیم جهت تولید سناریوهای اقلیم منطقه‌ای، ریزمقیاس شود. در این تحقیق با توجه به هدف مطالعه، روش ریزمقیاس نمایی تناسبی که بر اساس آن، سری زمانی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل‌ها عیناً مورد استفاده قرار می‌گیرند، انتخاب شد.

۳-۲-۲- ریزمقیاس کردن تناسبی

در روش ریزمقیاس نمایی تناسبی، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو مستقیماً از سلولی که منطقه مورد مطالعه در آن قرار دارد، استخراج شده و در حقیقت، هیچ عملیات آماری مقدماتی بر روی داده‌های خروجی ارائه شده به کاربر صورت نگرفته و بنابراین در مقایسه با روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری و دینامیکی که به دلیل اعمال روش‌های آماری مختلف بر روی داده‌ها با منابع خطای عمده‌ای همراه خواهند بود، کم‌خطاتر می‌باشد. در این روش به طور معمول نسبت‌های ماهانه برای سری‌های تاریخی به دست می‌آید. ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم برای دما و بارش تولید می‌شود. لذا برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر اختلاف برای دما (رابطه ۳-۱) و نسبت برای بارندگی (رابطه ۳-۲) برای متوسط دراز مدت هر ماه در دوره آتی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل ۱۹۸۱-۱۹۹۹ برای هر سلول از شبکه محاسباتی، محاسبه می‌گردد.

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM, fut, i} - \bar{T}_{GCM, base, i}) \quad (1-3)$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{GCM, fut, i}}{\bar{P}_{GCM, base, i}} \right) \quad (2-3)$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین دراز مدت ۲۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{T}_{GCM, fut, i}$ میانگین ۲۰ ساله دمای

شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه (۲۰۴۶-۲۰۶۵)، میانگین $\bar{T}_{GCM,base,i}$ برای هر ماه، میانگین ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (۱۹۸۱-۱۹۹۹) برای هر ماه، میانگین $\bar{P}_{GCM,fut,i}$ برای هر ماه، میانگین ۲۰ ساله بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه (۲۰۴۶-۲۰۶۵)، میانگین $\bar{P}_{GCM,base,i}$ برای هر ماه، میانگین ۲۰ ساله بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (۱۹۸۱-۱۹۹۹) برای هر ماه می‌باشند.

سپس از روش عامل تغییر^۱ برای ریزمقیاس کردن تناسبی داده‌های طرح استفاده می‌شود. در روش عامل تغییر برای به دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی دما در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (۱۹۸۱-۱۹۹۹) افزوده می‌شود و برای به دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی بارش در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم در مقادیر مشاهداتی (۱۹۸۱-۱۹۹۹) ضرب می‌شود:

$$T_i = T_{obs} + \Delta T_i \quad (3-3)$$

$$P_i = P_{obs} \times \Delta P_i \quad (4-3)$$

در رابطه (۳-۳) T_{obs} بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۸۱-۱۹۹۹)، T_i سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی دما در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و ΔT_i سناریوی تغییر اقلیم ریزمقیاس شده می‌باشد.

در رابطه (۴-۳) P_{obs} بیانگر سری زمانی بارش مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۸۱-۱۹۹۹)، P_i سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی بارش در دوره آتی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و ΔP_i سناریوی تغییر اقلیم ریزمقیاس شده می‌باشد.

چنان چه قبلاً گفته شد، قدرت تفکیک فضایی مدلهای اقلیمی مختلف با یکدیگر متفاوت است، بنابراین شبکه‌بندی آنها نیز همگی بر هم منطبق نبوده و در حقیقت طول و عرض جغرافیایی

1-Change Factor

سلولی که ایستگاه مورد نظر در آن قرار گرفته در مدل‌های مختلف متفاوت است. در نتیجه مسلماً داده‌های خروجی شبیه‌سازی شده در مدل‌ها از مناطق مختلف، استخراج شده و مقایسه آن‌ها صحیح نمی‌باشد. برای رفع این مسئله و فراهم شدن امکان مقایسه، لازم است که مدل‌هایی که سلول‌های آن‌ها بر هم منطبق می‌باشند، شناسایی شوند که بر این اساس از مجموع مدل‌های موجود ۳ مدل BCM2^۱ طراحی شده در مرکز BCCR^۲ نروژ، CNRMCM3^۳ طراحی شده در مرکز CNRM^۴ فرانسه و MIROC3.2 medres^۵ طراحی شده در مرکز IRCC^۶ ژاپن مورد انتخاب قرار گرفتند. مدل HADCM3 به علت شباهت حدودی ابعادی و بالأخص کاربرد زیاد آن در مطالعات اقلیمی هم در کنار سه مدل قبل برای انجام مطالعه اقلیمی در این تحقیق استفاده شد. در جدول (۳-۱) مشخصات ۴ مدل اقلیمی استفاده شده در این تحقیق نشان داده شده است.

جدول ۳-۱: مشخصات مدل‌های اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش

نام مدل	گروه مؤسس	سناریوهای شبیه‌سازی	قدرت تفکیک	متغیرهای شبیه‌سازی شده مورد استفاده در تحقیق
BCM2	BCCR	B1, A1B, A2	2.8125°×2.7906°	بارش (Pr)، دمای ماکسیمم (Tasmax)، دمای مینیمم (Tasmin)
CNRMCM3	CNRM	B1, A1B, A2	2.8125°×2.7906°	بارش (Pr)، دمای ماکسیمم (Tasmax)، دمای مینیمم (Tasmin)
MIROC3.2 medres	IRCC	B1, A1B, A2	2.8125°×2.7906°	بارش (Pr)، دمای ماکسیمم (Tasmax)، دمای مینیمم (Tasmin)
HadCM3	UKMO	B1, A1B, A2	3.75°×2.5°	بارش (Pr)

1-Bergen Climate Model-Version 2

2-Bjerknes Centre for Climate Research

3-Centre National de Recherché Meteorologiques-Climate Model-version 3

4-Centre National de Recherché Meteorologiques

5-Model for Interdisciplinary Research Centre on Climate-version 3.2

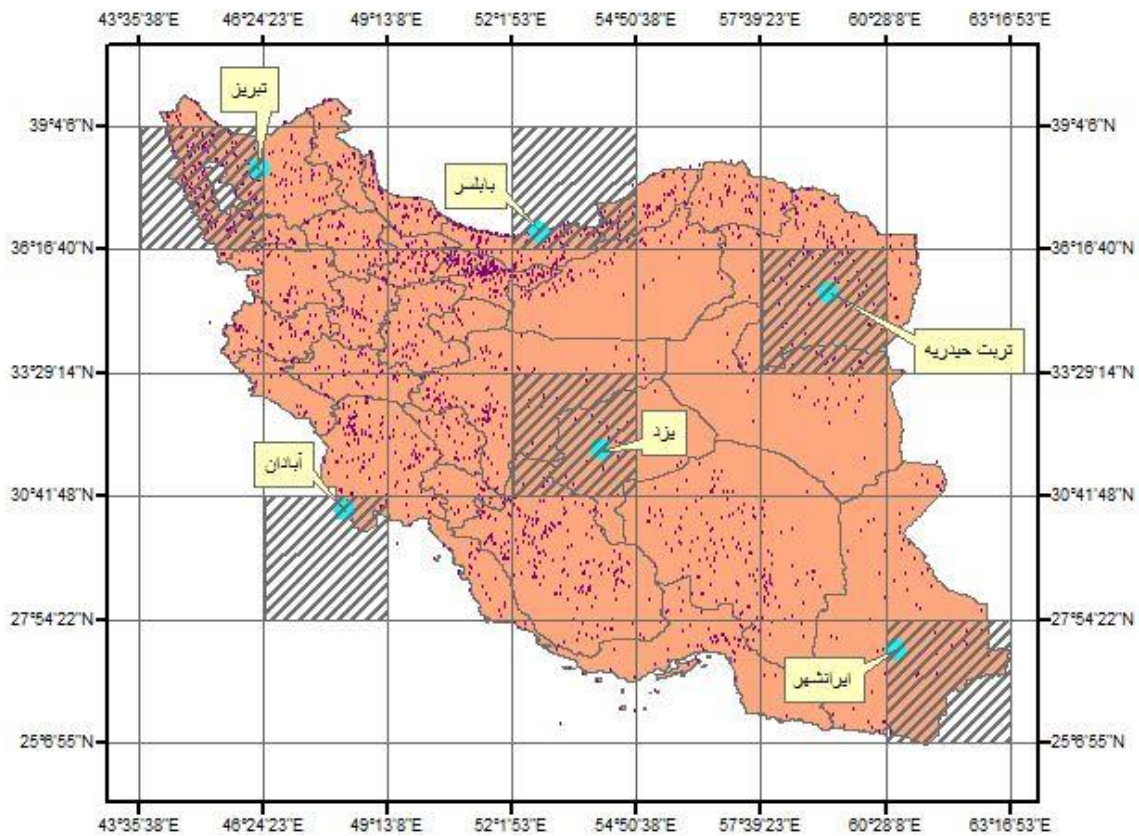
6-Interdisciplinary Research Centre on Climate

همان طور که در جدول (۱-۳) مشاهده می‌کنیم همه مدل‌ها جز مدل HadCM3 برای شبیه‌سازی هر سه متغیر بارش، دمای ماکسیمم و دمای مینیمم استفاده می‌شوند و مدل HadCM3 تنها برای متغیر بارش با دیگر مدل‌ها مقایسه می‌شود که علت آن هم این است مدل HadCM3 برای دمای ماکسیمم و مینیمم شبیه‌سازی انجام نمی‌دهد و برای دمای میانگین کاربرد دارد.

حال با توجه به ابعاد طول و عرض شبکه مدل‌های اقلیمی مورد استفاده می‌توانیم مناطق مورد مطالعه در تحقیق را مشخص نماییم که برای این کار با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS شبکه‌بندی مدل‌ها را انجام داده و پس از آن ایستگاه‌های مشترک بین سه مدل BCM2، CNRMCM3، MIROC3.2 medres و مدل HadCM3، برای مناطق شمال شرق، شمال، شمال غرب، مرکز، جنوب شرق و جنوب غرب انتخاب می‌کنیم.

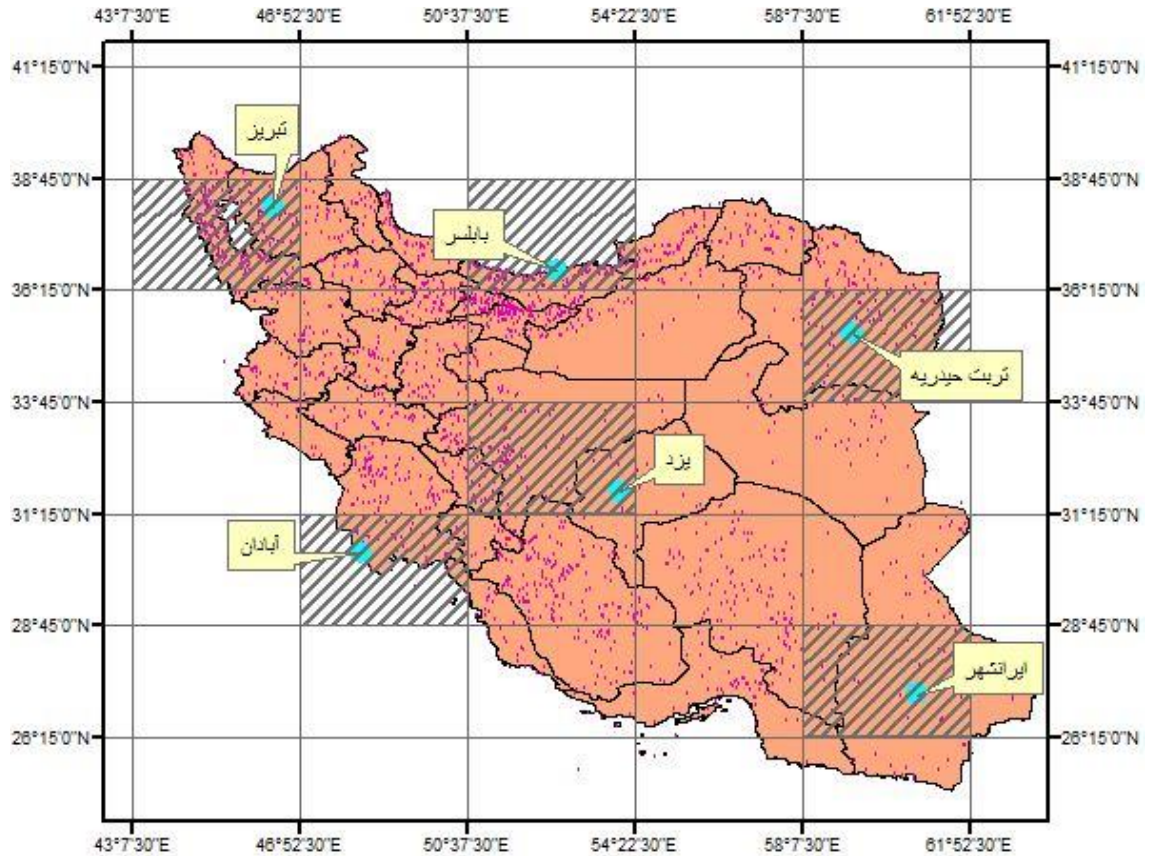
شکل (۱-۳)، شبکه‌بندی مدل‌های MIROC3.2 medres و CNRMCM3.BCM2 و مناطق

مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳ : شبکه‌بندی مدل‌های MIROC3.2 medres و CNRMCM3.BCM2

شکل (۲-۳) نیز شبکه‌بندی مدل HadCM3 و مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳: شبکه‌بندی مدل HadCM3

اکنون با مشخص شدن شبکه‌بندی مدل‌ها، ایستگاه‌های مشترک در هر دو شبکه را برای مناطق مختلف ایران انتخاب می‌کنیم که جدول (۲-۳) ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب برای هر منطقه از کشور را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۲: خصوصیات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک مناطق مورد مطالعه در این پژوهش

ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه
1450.8	35° 16' N	59° 13' E	ترت حیدریه (شمال شرق)
-21	36° 43' N	52° 39' E	بابلسر (شمال)
1361	38° 05' N	46° 17' E	تبریز (شمال غرب)
1230	31° 54' N	54° 17' E	یزد (مرکز)
591.1	27° 12' N	60° 42' E	ایران شهر (جنوب شرق)
6.6	30° 22' N	48° 15' E	آبادان (جنوب غرب)

۳-۲-۳- انتخاب سناریوهای انتشار و استخراج داده‌های مورد نیاز

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی، ورودی اصلی مدل‌های اقلیمی را تشکیل می‌دهد. اما با توجه به این‌که تعیین میزان انتشار این گازها به طور قطعی امکان پذیر نیست، سناریوهای مختلفی به نام سناریوهای انتشار که دربرگیرنده مؤلفه‌هایی است که تغییرات گازهای گلخانه‌ای مختلف در آینده را برآورد و تعیین می‌کنند، ارائه شده است. این سناریوها شامل عناصر مختلف فیزیکی، شیمیایی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشند که به منظور هرچه نزدیک‌تر شدن خروجی مدل‌ها به شرایط واقعی، در آن‌ها منظور می‌شوند. معتبرترین سناریوهای اقلیمی که توسط IPCC مورد تأیید قرار گرفته و امروزه در انواع مدل‌های مختلف پیش‌بینی تغییر اقلیم در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند، سناریوهای A1B، A2 و B1 می‌باشند. بر اساس سناریوی A1B رشد سریع اقتصادی و جمعیتی در جهان رخ خواهد داد به طوری که بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن بوده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهشی خواهد بود. همچنین، رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر بر اساس این سناریو در دوره‌های آتی به وقوع خواهد پیوست. سناریوی A2 مبین رشد سریع جمعیت

جهان اما همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف می‌باشد. بر طبق سناریوی B1 نیز در دهه‌های آتی همگرایی جمعیت در سطح جهان رخ خواهد داد و تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر، صورت خواهد گرفت. در مطالعه حاضر، هر سه سناریوی مذکور برای دوره آینده پس از انتخاب مدل برتر مورد استفاده قرار گرفته است. پس از انتخاب چهار مدل اقلیمی مذکور و نیز ایستگاه‌های سینوپتیک مشترک بین آن‌ها، استخراج داده‌های بارش، دمای ماکسیمم و مینیمم بر اساس موقعیت جغرافیایی شش ایستگاه صورت گرفت.

۳-۳- معیارهای عملکرد

در این تحقیق لازم است تا برای صحت سنجی مدل‌ها و انتخاب مدل بهینه برای هر منطقه از کشور عملکرد مدل‌ها در شبیه‌سازی متغیرهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور از معیارهای عملکرد ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش-ساتکلیف^۳ استفاده می‌گردد.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (5-3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n}} \quad (6-3)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (7-3)$$

1-Coefficient of Determination
2-Root-Mean-Square Error
3-Nash-Sutcliffe

در روابط (۳-۵) تا (۳-۷)، P_i و Q_i به ترتیب i امین داده شبیه‌سازی شده توسط مدل و واقعی (مشاهده شده)، \bar{P} و \bar{Q} میانگین کل داده‌های P_i و Q_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند.

مقدار R^2 بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بوده که مقدار آن بین صفر تا یک می‌باشد. هر چه مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده رابطه قوی‌تر خطی بین دو مقدار می‌باشد. با توجه به این که این معیار فقط الگوی رفتاری داده‌های مشاهداتی را شبیه‌سازی می‌کند از دو معیار دیگر RMSE و ضریب نش-ساتکلیف نیز استفاده می‌گردد. کمتر شدن RMSE که به منزله اختلاف حداقل بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است، نشان از عملکرد بهتر مدل دارد. در مورد ضریب نش-ساتکلیف، هرچه این عدد به یک نزدیک‌تر باشد عملکرد مدل بهتر می‌باشد.

فصل چهارم

نتایج و بحث

۴- فصل چهارم (نتایج و بحث)

۴-۱- مقدمه

طبق مطالب گفته شده در قبل، پس از انتخاب چهار مدل اقلیمی با استفاده از سه شاخص عملکرد، مدل مناسب برای هر منطقه که کارایی بهتری در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی را داراست، برمی‌گزینیم و پس از آن برای ایستگاه‌های منتخب شش منطقه کشور با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی تناسبی مقدار متغیرهای بارش، دمای ماکسیمم و مینیمم را برای دوره آینده به دست می‌آوریم.

۴-۲- بررسی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه‌سازی بارش، دمای

ماکسیمم و مینیمم برای دوره پایه در مناطق مختلف ایران

به منظور بررسی کیفی عملکرد مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی متغیرهای بارش، دمای ماکسیمم و مینیمم هر منطقه، از روابط (۳-۵)، (۳-۶) و (۳-۷) استفاده گردید. جداول (۴-۱)، (۴-۲) و (۴-۳) به ترتیب معیارهای عملکرد مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی داده‌های بارش، دمای ماکسیمم و مینیمم هر منطقه، نسبت به داده‌های مشاهداتی مربوط به همان منطقه را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱: بررسی عملکرد مدل‌ها برای پیش‌بینی متغیر بارش

عملکرد منطقه	HADCM3			BCM2			CNRMCM3			MIROC3.2 medres		
	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²
تربت حیدریه (شمال شرق)	0.762	8.623	0.806	0.47	14.104	0.589	0.148	15.034	0.692	0.215	10.278	0.581
بابلسر (شمال)	0.598	6.86	0.728	-0.078	14.94	0.364	0.041	12.89	0.311	0.588	8.863	0.171
تبریز (شمال غرب)	-1.546	22.822	0.335	-0.389	17.757	0.764	0.145	14.526	0.604	0.718	7.968	0.647
یزد (مرکز)	0.602	7.655	0.556	-1.454	9.964	0.669	-2.439	14.95	0.251	-1.365	8.893	0.453
ایران‌شهر (جنوب شرق)	0.592	9.153	0.77	-0.886	22.022	0.338	-1.269	27.534	0.563	0.489	11.533	0.472
آبادان (جنوب غرب)	-0.597	9.924	0.673	0.73	4.164	0.217	-2.827	11.541	0.326	-0.419	3.117	0.651

جدول ۴-۲: بررسی عملکرد مدل‌ها برای پیش‌بینی متغیر دمای ماکسیمم

عملکرد منطقه	BCM2			CNRMCM3			MIROC3.2 medres		
	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²
تربت حیدریه (شمال شرق)	0.57	2.104	0.689	0.448	3.034	0.592	0.015	4.278	0.481
بابلسر (شمال)	0.078	3.54	0.364	-0.041	3.89	0.311	0.588	1.863	0.471
تبریز (شمال غرب)	0.389	4.757	0.464	0.745	2.526	0.504	0.58	3.968	0.647
یزد (مرکز)	-0.054	5.964	0.669	0.439	4.95	0.251	0.665	2.893	0.453
ایران‌شهر (جنوب شرق)	-0.886	3.022	0.338	-1.269	2.534	0.563	0.689	1.533	0.472
آبادان (جنوب غرب)	0.73	2.164	0.717	0.227	3.541	0.526	0.419	3.117	0.651

جدول ۳-۴: بررسی عملکرد مدل‌ها برای پیش‌بینی متغیر دمای مینیمم

عملکرد منطقه	BCM2			CNRMCM3			MIROC3.2 medres		
	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²
تربت‌حیدریه (شمال شرق)	0.57	1.104	0.649	0.648	1.034	0.592	0.015	4.278	0.481
بابلسر (شمال)	0.278	2.54	0.364	-0.041	2.89	0.475	0.588	0.863	0.671
تبریز (شمال غرب)	0.389	4.757	0.464	0.445	3.526	0.504	0.58	2.968	0.647
یزد (مرکز)	-1.054	6.964	0.569	-0.439	4.95	0.651	0.865	1.893	0.753
ایران‌شهر (جنوب شرق)	-0.886	3.022	0.738	-0.269	2.534	0.563	0.689	1.533	0.872
آبادان (جنوب غرب)	0.73	1.164	0.717	0.227	3.541	0.526	0.419	2.117	0.651

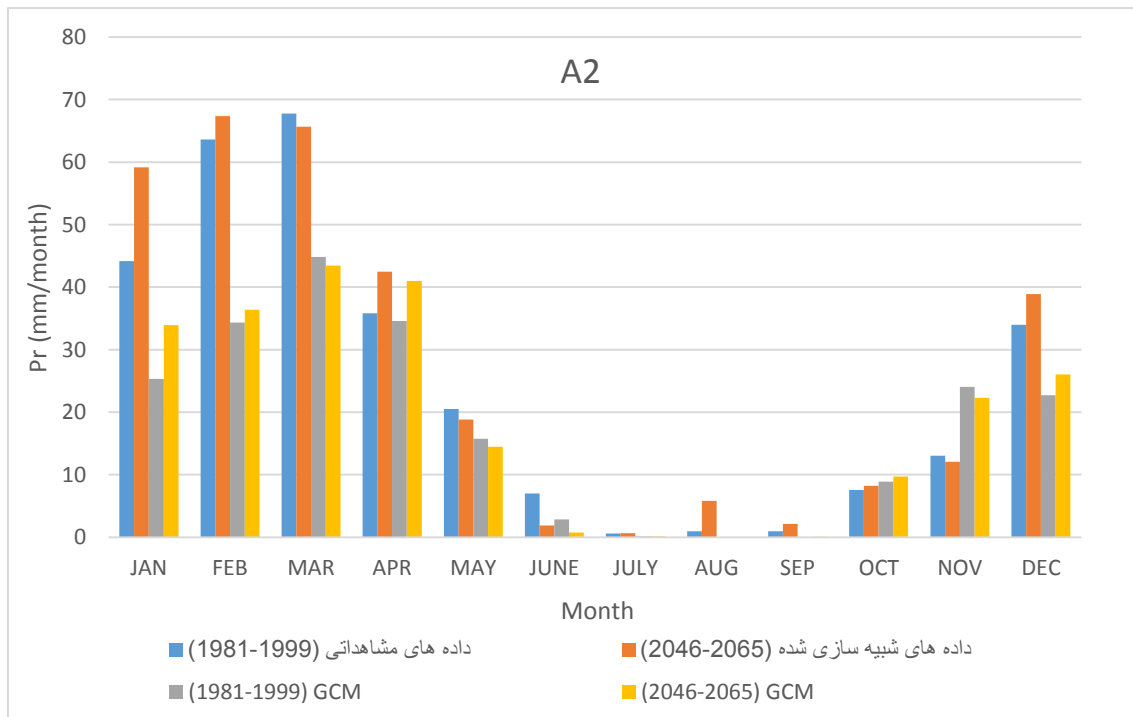
همان‌طور که در جداول (۱-۴)، (۲-۴) و (۳-۴) مشاهده می‌کنیم، مدل برتر برای هر منطقه از جهت بهترین عملکرد در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی با رنگ مشخص شده است. در مرحله بعد به بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دمای مناطق شش‌گانه کشور در دوره آینده ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با استفاده از مدل گردش عمومی منتخب تحت سناریوهای A2، A1B و B1 می‌پردازیم.

۳-۴- بررسی تغییرات بارش

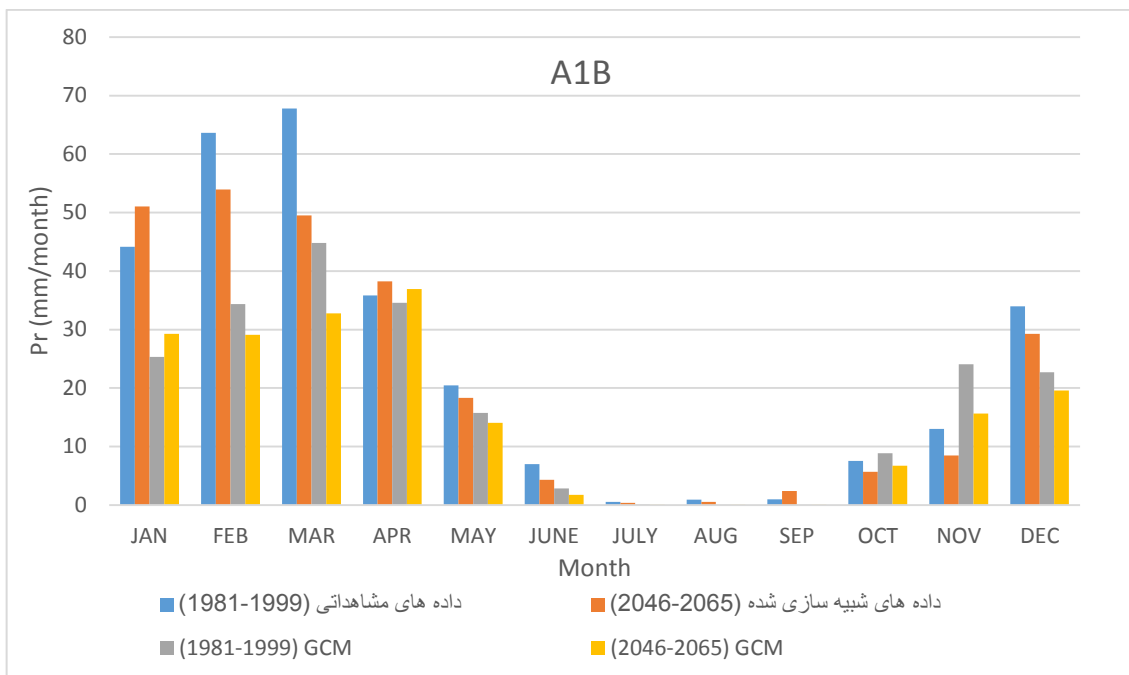
در این قسمت به ترتیب به بررسی تغییرات بارش ایستگاه‌های تربت‌حیدریه (شمال شرق)، بابلسر (شمال)، تبریز (شمال غرب)، یزد (مرکز)، ایرانشهر (جنوب شرق) و آبادان (جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل مناسب با منطقه خود تحت سناریوهای A2، A1B و B1 می‌پردازیم. در شکل‌های زیر چهار سری زمانی مربوط به داده‌های مشاهداتی، داده‌های شبیه‌سازی شده، خروجی GCM برای دوره زمانی گذشته و آینده مشاهده می‌شود که هر شکل مربوط به یک سناریو می‌باشد.

۳-۴-۱- بررسی تغییرات بارش ایستگاه تربت‌حیدریه (شمال شرق) بر اساس خروجی

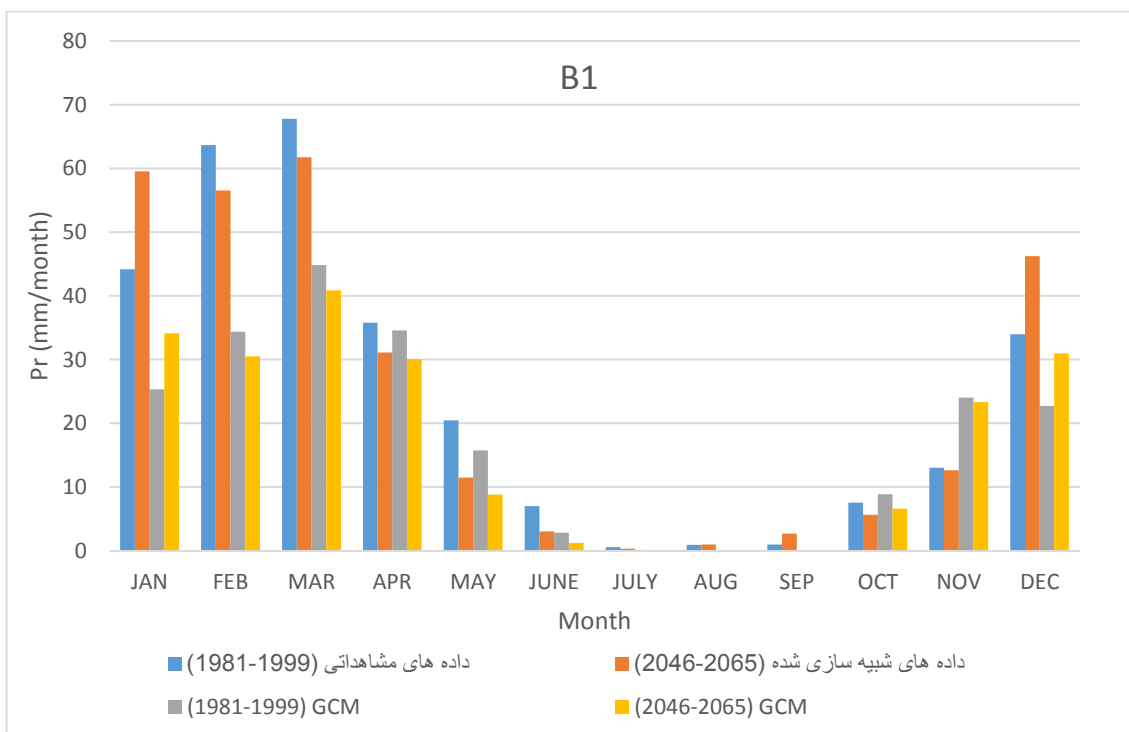
مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۱: تغییرات بارش ایستگاه تربت‌حیدریه بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2



شکل ۲-۴: تغییرات بارش ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B

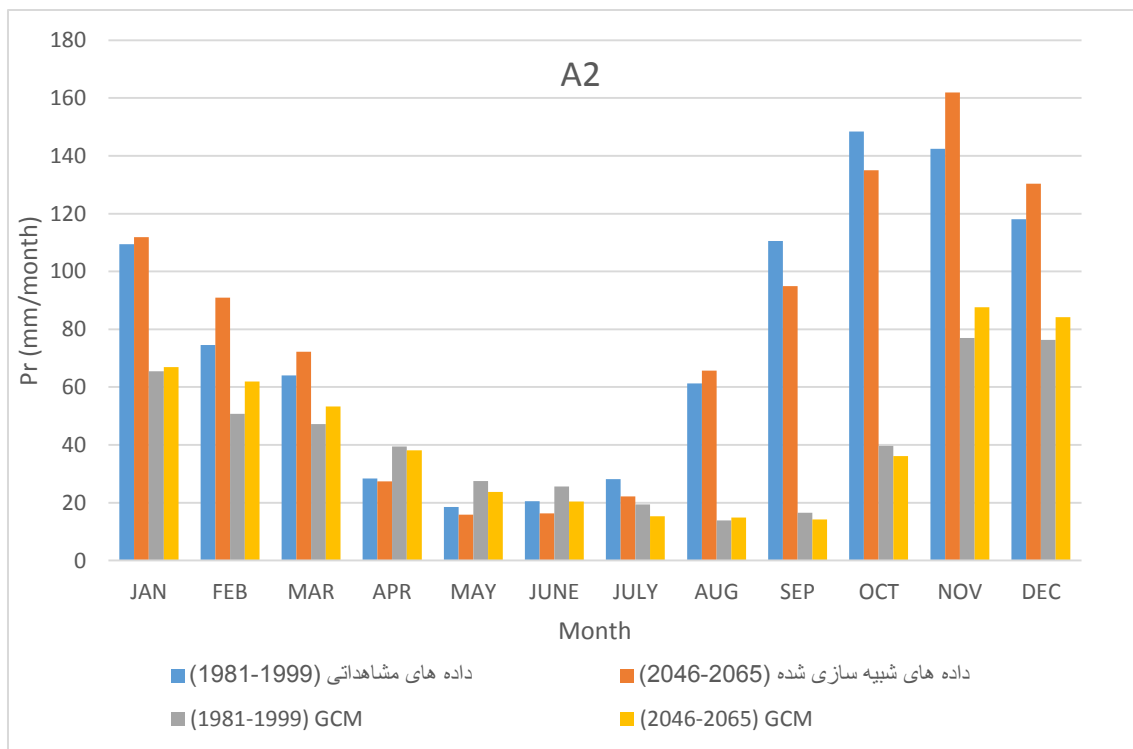


شکل ۳-۴: تغییرات بارش ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو B1

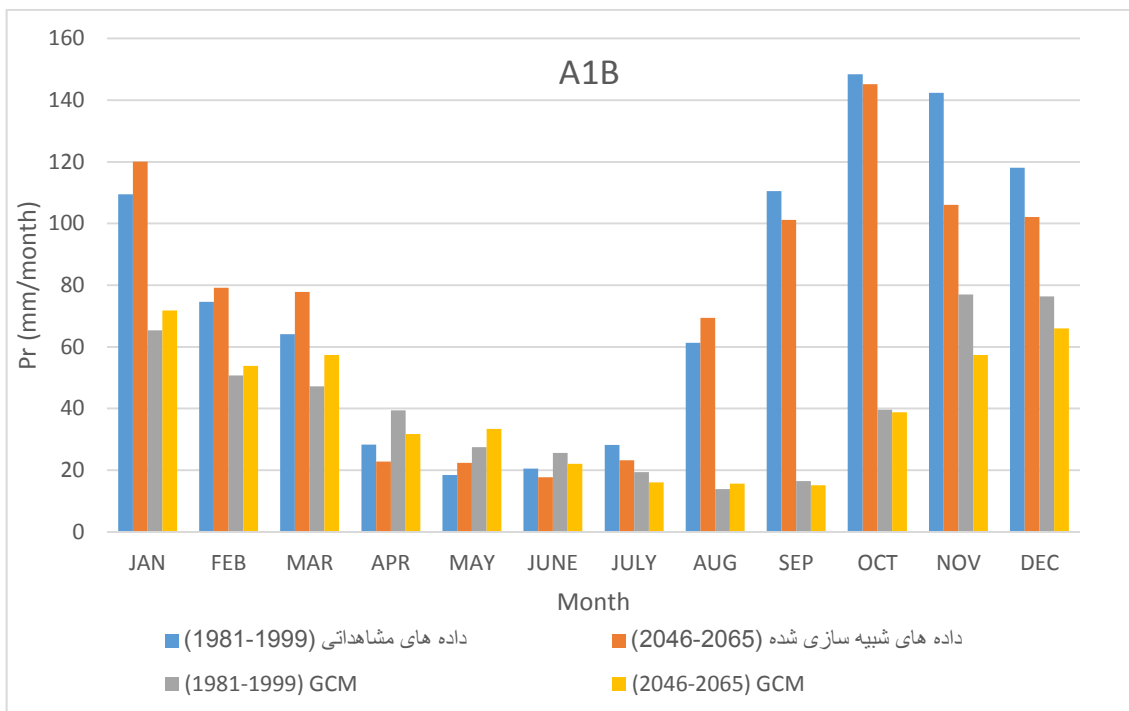
همان گونه که در شکل‌های (۱-۴) تا (۳-۴) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان بارش تربت‌حیدریه در دوره گذشته در ماه مارس که اوایل فصل بهار می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه جولای که در فصل تابستان قرار دارد می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه فوریه مربوط به سناریو A2 و در فصل زمستان و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه جولای به طور مشترک در سناریوهای A1B و B1 در فصل تابستان می‌باشد.

۲-۳-۴- بررسی تغییرات بارش ایستگاه بابلسر (شمال) بر اساس خروجی مدل

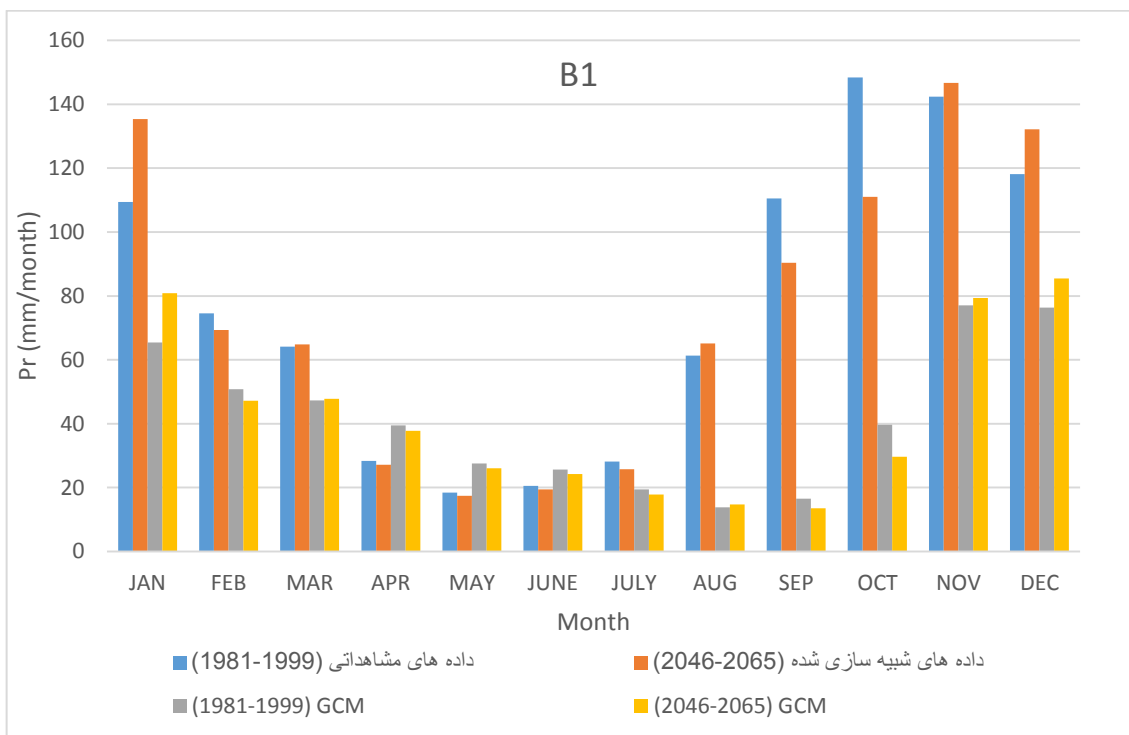
HadCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۴: تغییرات بارش ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2



شکل ۴-۵: تغییرات بارش ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B

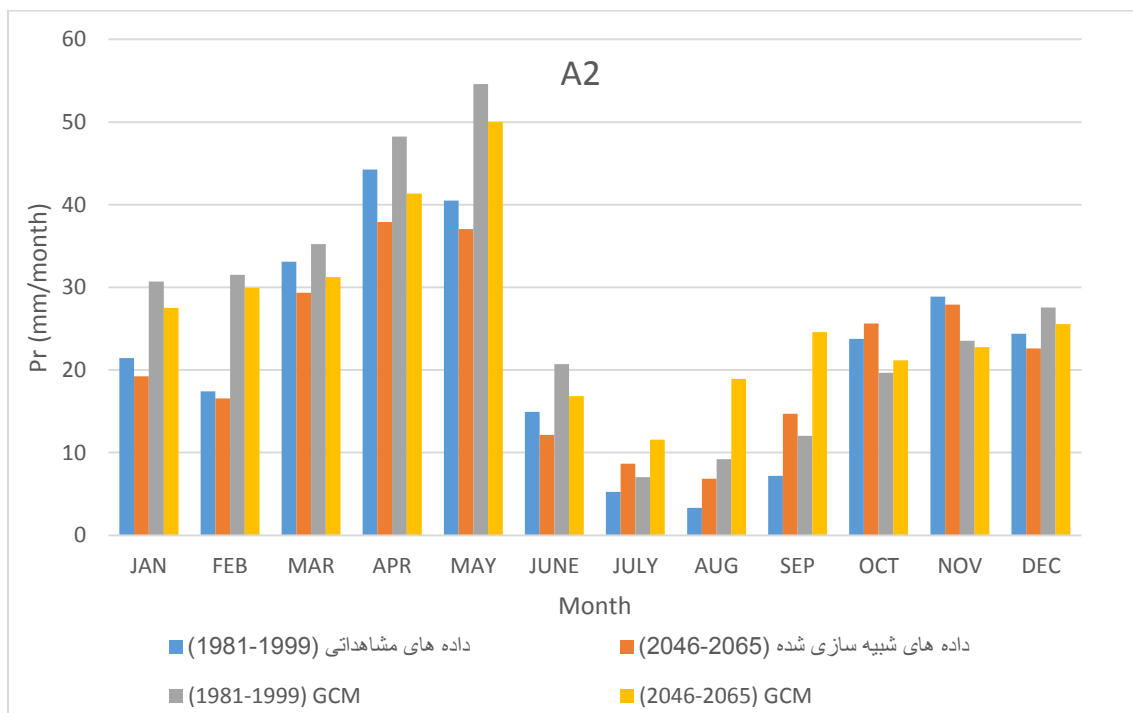


شکل ۴-۶: تغییرات بارش ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو B1

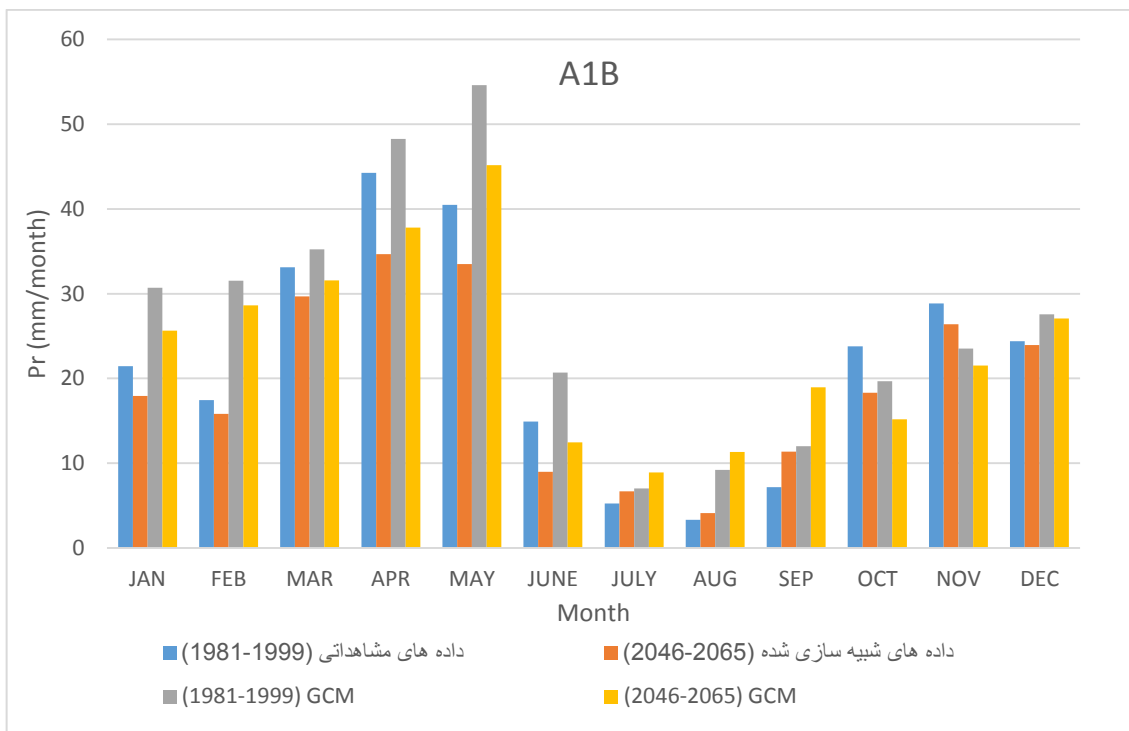
همان گونه که در شکل‌های (۴-۴) تا (۴-۶) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان بارش بابل‌سر در دوره گذشته در ماه اکتبر که در فصل پاییز می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه می که در اواخر فصل بهار قرار دارد می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه نوامبر مربوط به سناریو A2 و در فصل پاییز و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه می و سناریو A2 در اواخر فصل بهار می‌باشد.

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

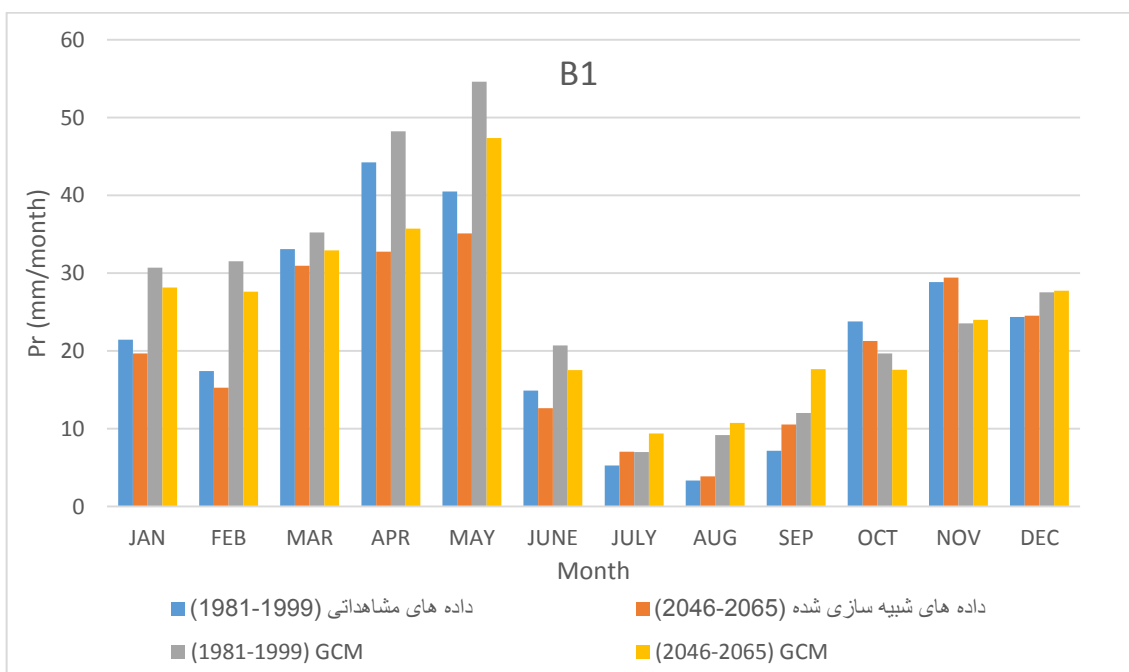
MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۷: تغییرات بارش ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریو A2



شکل ۸-۴: تغییرات بارش ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B

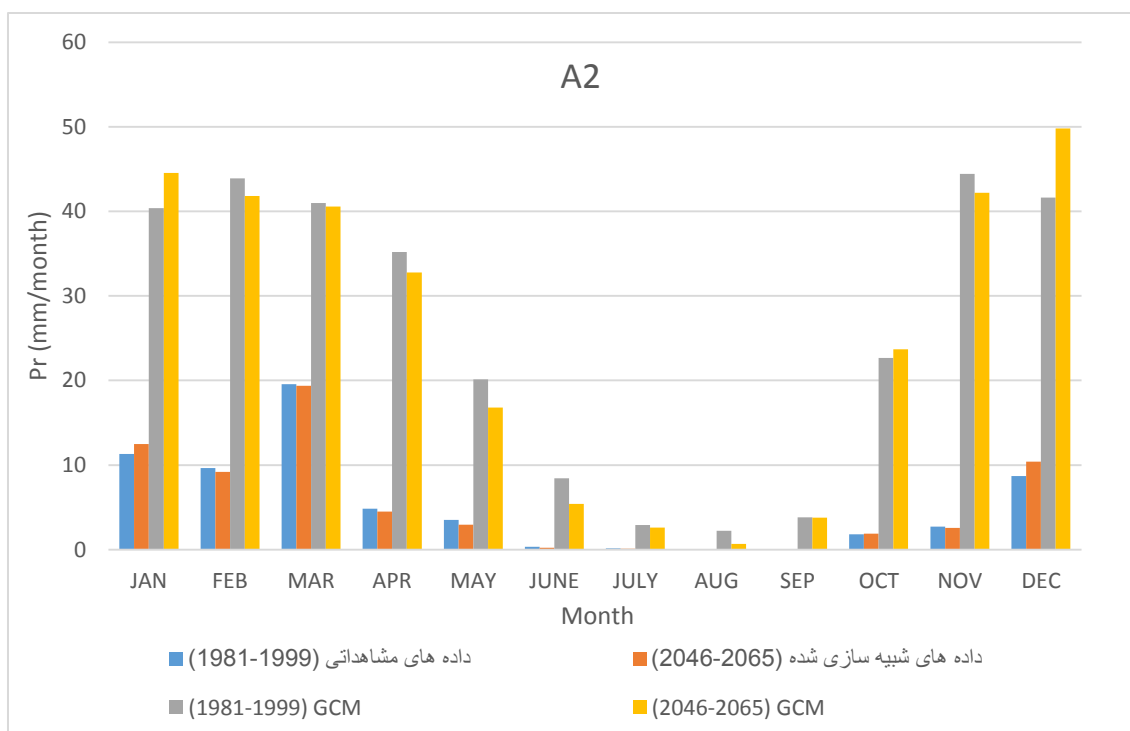


شکل ۹-۴: تغییرات بارش ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریو B1

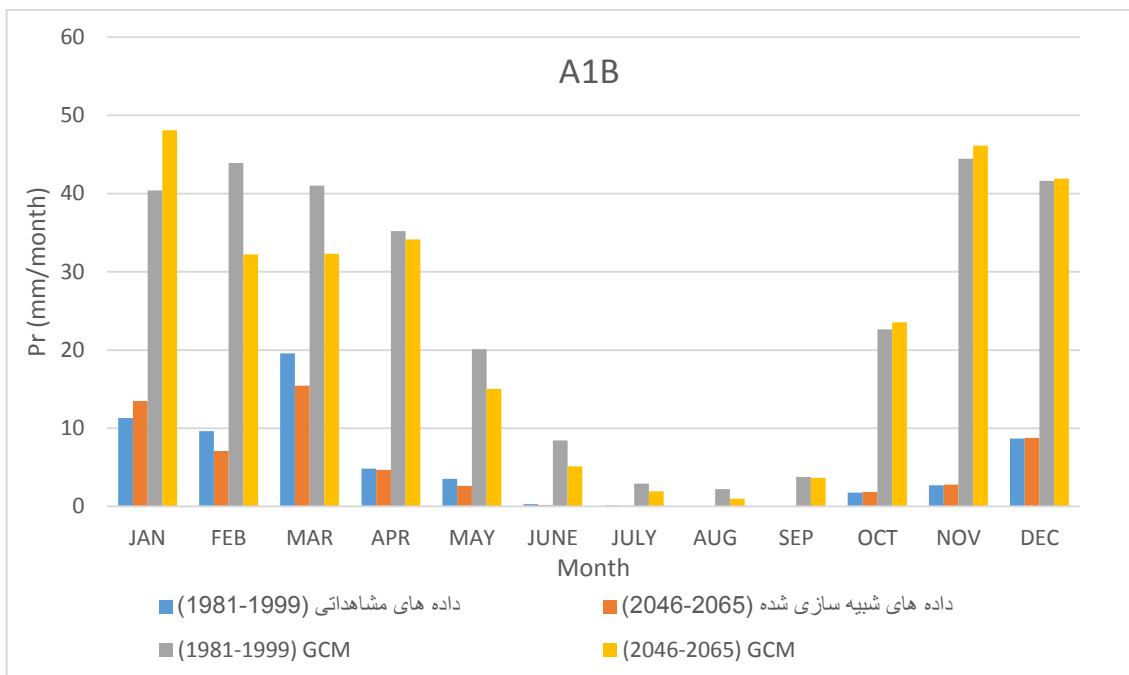
همان گونه که در شکل‌های (۷-۴) تا (۹-۴) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان بارش تبریز در دوره گذشته در ماه آوریل که در فصل بهار می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه اوت که در فصل تابستان قرار دارد می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه آوریل مربوط به سناریو A2 و در فصل بهار و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه اوت و سناریو B1 در فصل تابستان می‌باشد.

۴-۳-۴- بررسی تغییرات بارش ایستگاه یزد (مرکز) بر اساس خروجی مدل HadCM3

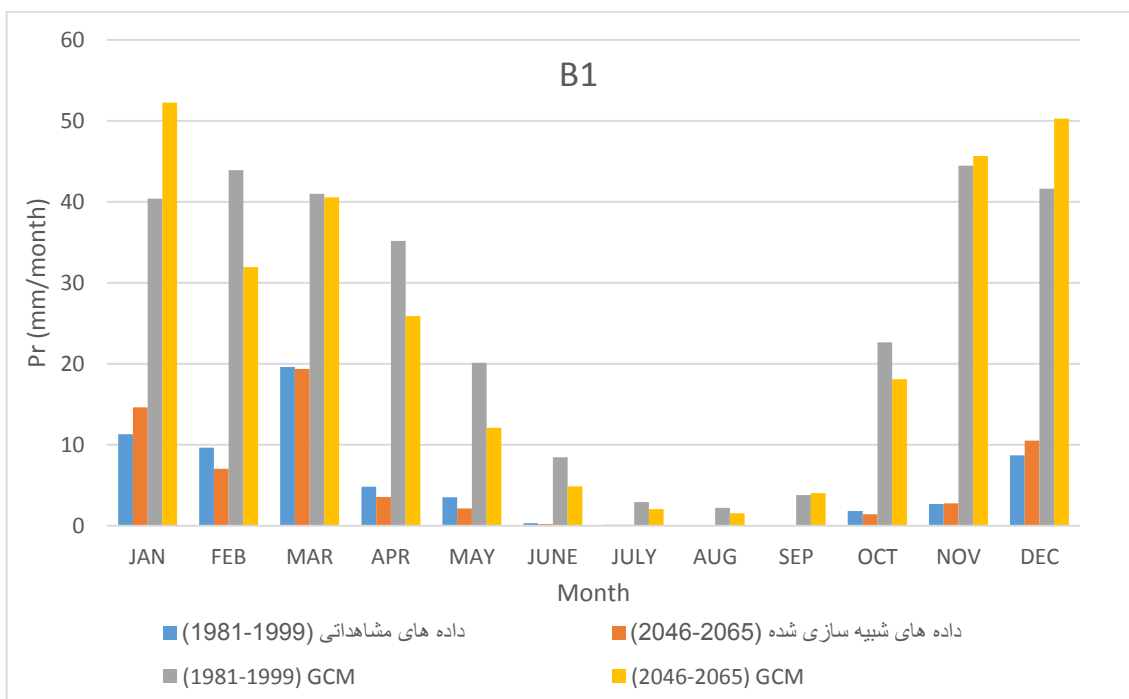
تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۱۰: تغییرات بارش ایستگاه یزد بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2



شکل ۴-۱۱: تغییرات بارش ایستگاه یزد بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B

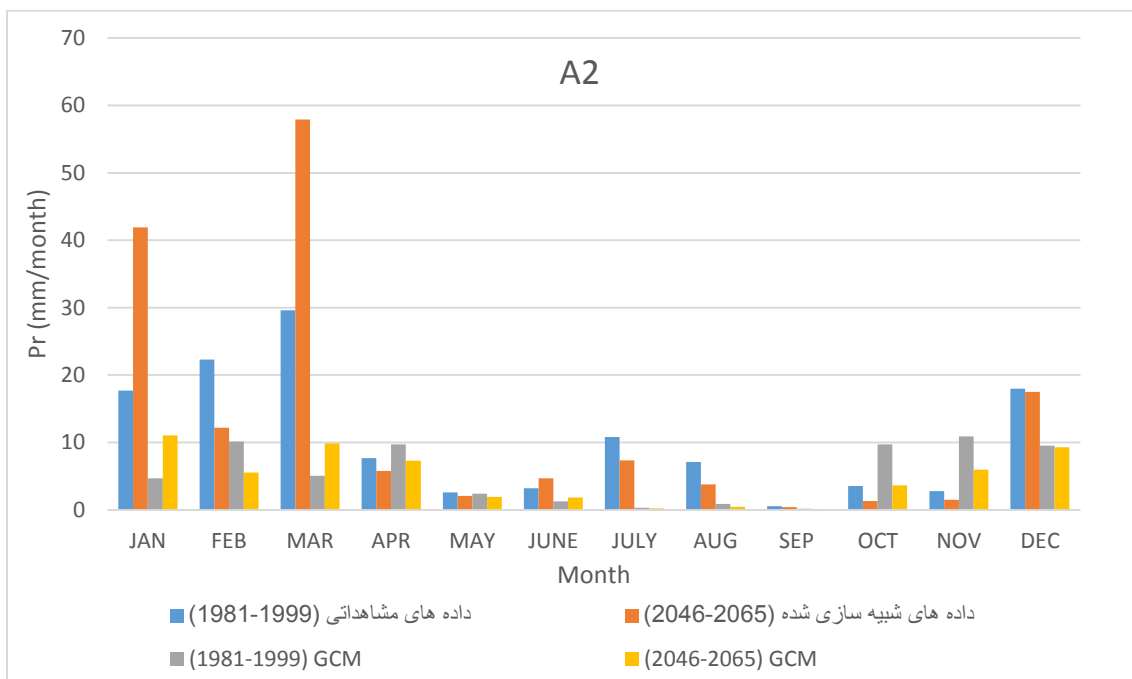


شکل ۴-۱۲: تغییرات بارش ایستگاه یزد بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو B1

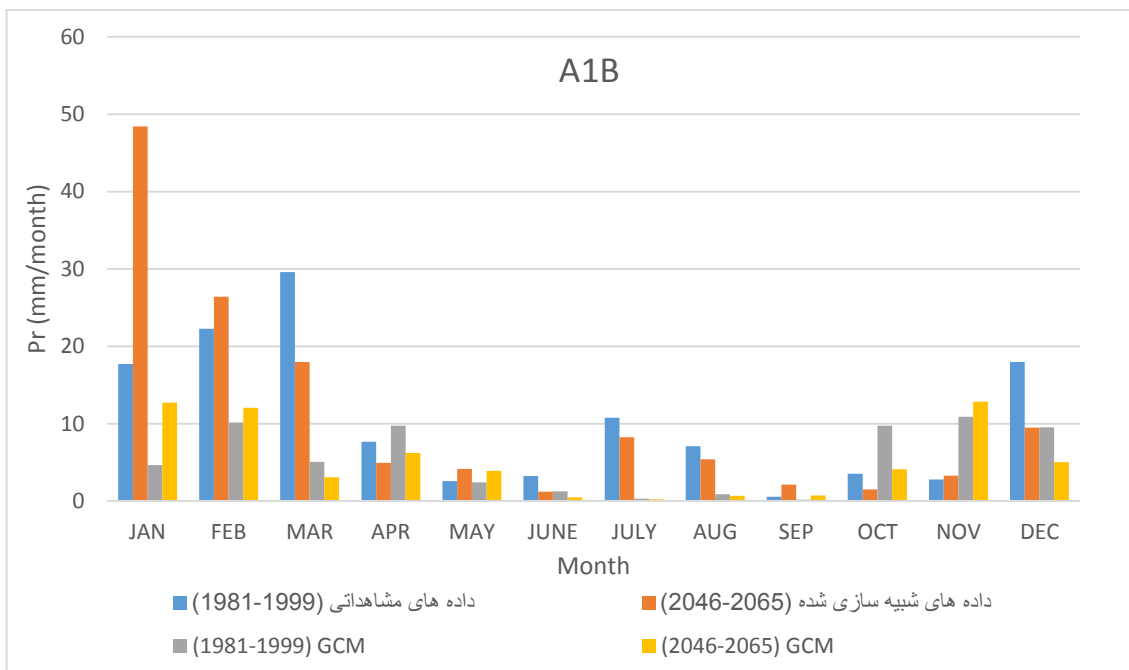
همان گونه که در شکل‌های (۴-۱۰) تا (۴-۱۲) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان بارش یزد در دوره گذشته در ماه مارس که در اوایل فصل بهار می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر که تقریباً صفر است می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه مارس به طور مشترک در سناریوهای A2 و B1 و در اوایل فصل بهار و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر که تقریباً صفر است در هر سه سناریو می‌باشد.

۴-۳-۵- بررسی تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر (جنوب شرق) بر اساس خروجی

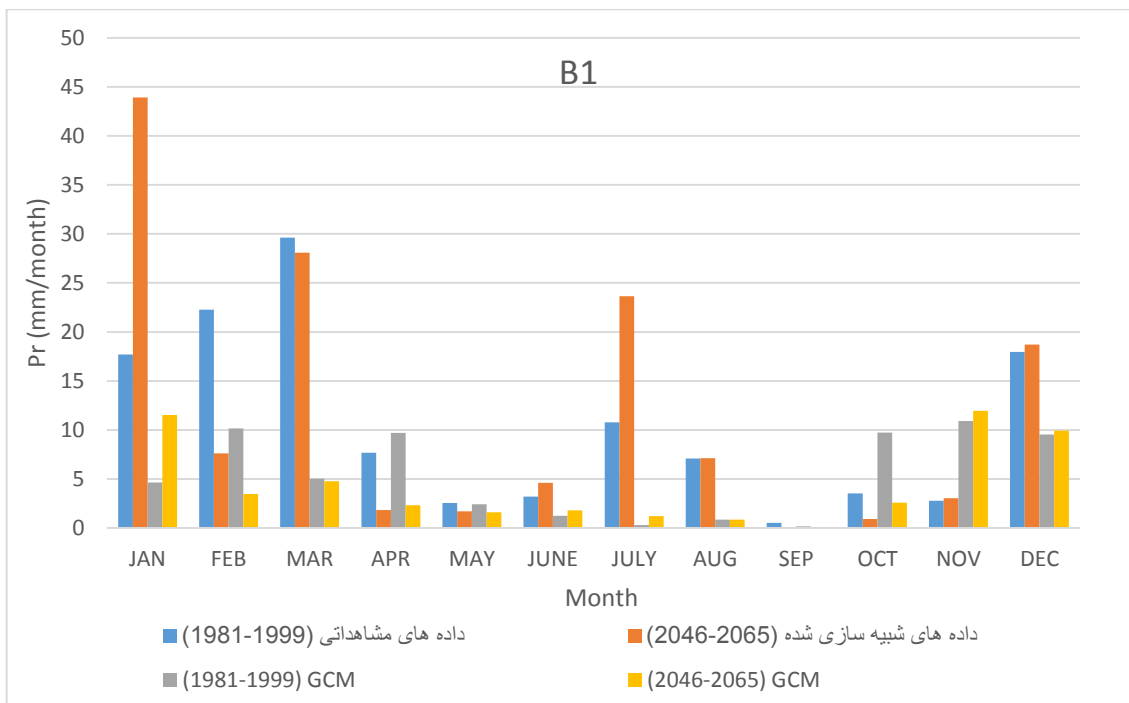
مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۱۳: تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A2



شکل ۴-۱۴: تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو A1B

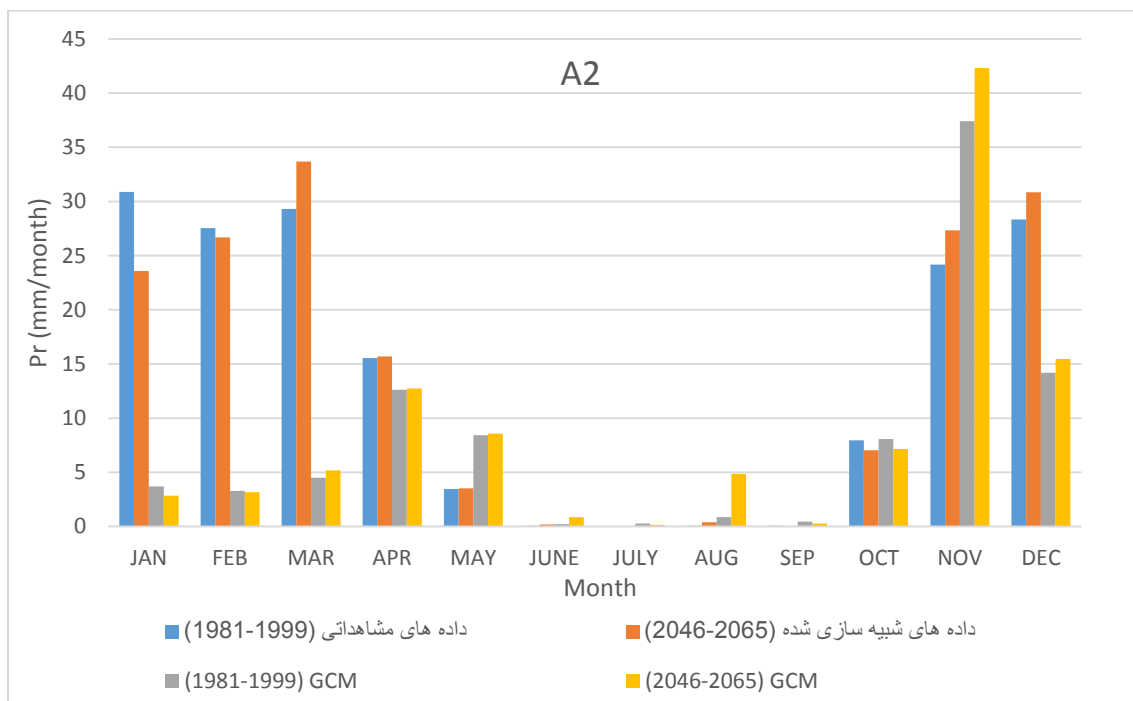


شکل ۴-۱۵: تغییرات بارش ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی مدل HadCM3 تحت سناریو B1

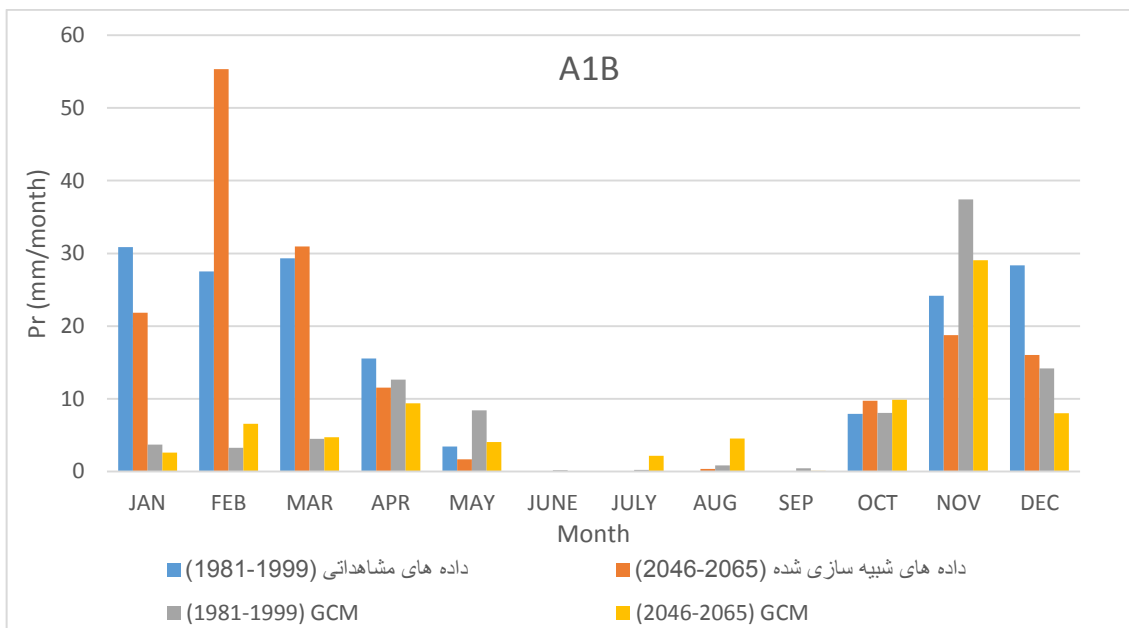
همان گونه که در شکل‌های (۴-۱۳) تا (۴-۱۵) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان بارش ایران‌شهر در دوره گذشته در ماه مارس که در اوایل فصل بهار می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه سپتامبر که در اواخر فصل تابستان قرار دارد می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه مارس مربوط به سناریو A2 و در اوایل فصل بهار و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه سپتامبر و به طور مشترک در سناریوهای A2 و B1 در اواخر فصل تابستان می‌باشد.

۴-۳-۶- بررسی تغییرات بارش ایستگاه آبادان (جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل

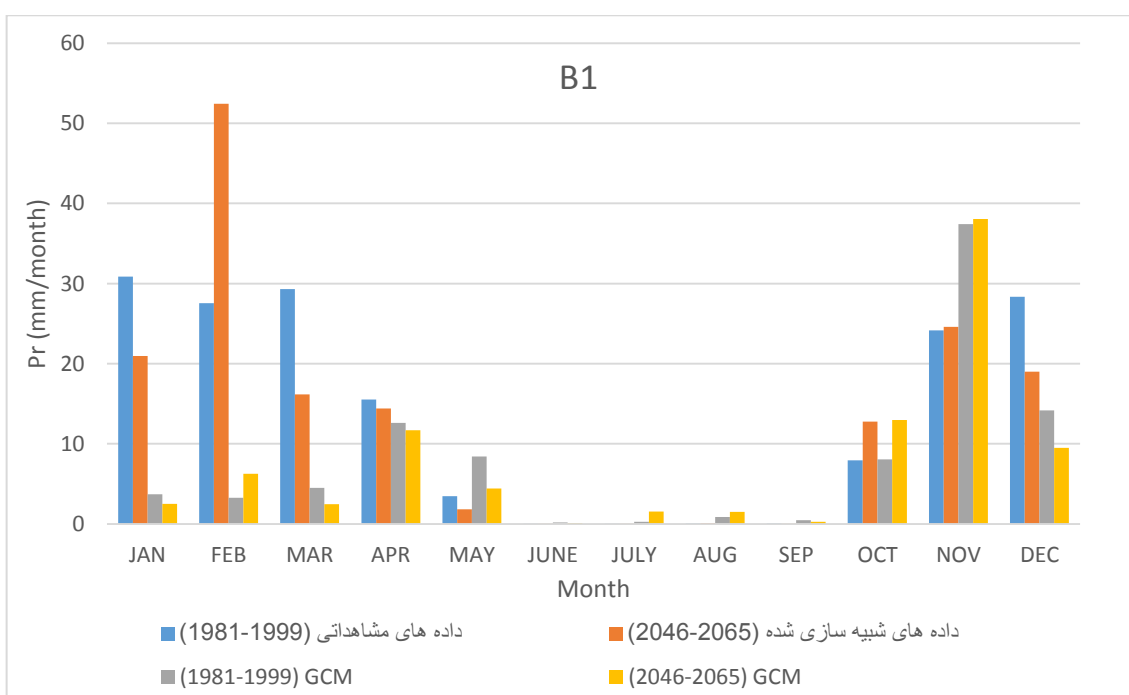
BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۱۶: تغییرات بارش ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A2



شکل ۴-۱۷: تغییرات بارش ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A1B



شکل ۴-۱۸: تغییرات بارش ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو B1

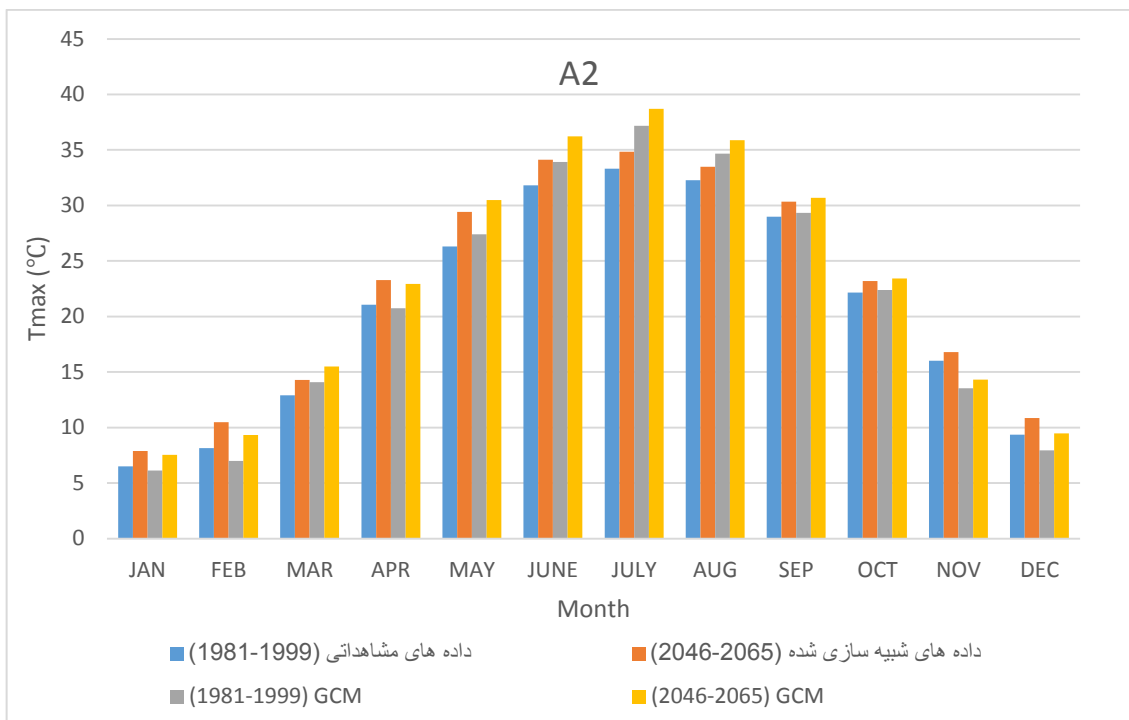
همان گونه که در شکل‌های (۴-۱۶) تا (۴-۱۸) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان بارش آبادان در دوره گذشته در ماه ژانویه که در فصل زمستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر که تقریباً صفر است می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه فوریه مربوط به سناریو A1B و در فصل زمستان و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر که تقریباً صفر است در هر سه سناریو می‌باشد.

۴-۴- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم

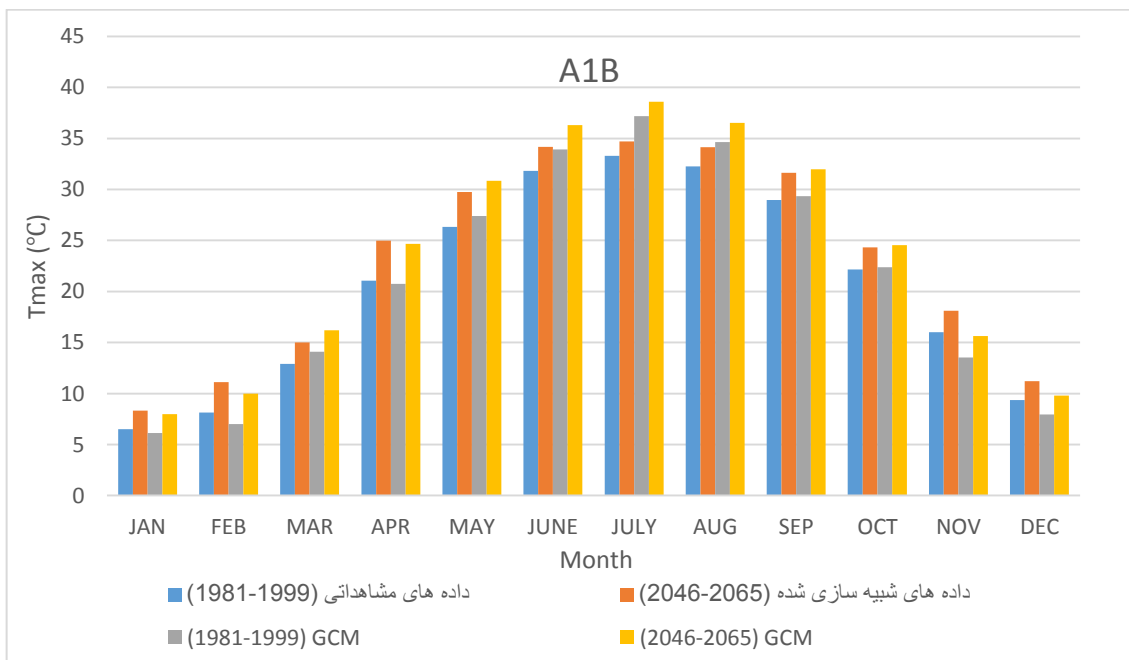
در این قسمت به ترتیب به بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه‌های تربت‌حیدریه (شمال شرق)، بابلسر (شمال)، تبریز (شمال غرب)، یزد (مرکز)، ایرانشهر (جنوب شرق) و آبادان (جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل مناسب با منطقه خود تحت سناریوهای A2، A1B و B1 می‌پردازیم. در شکل‌های زیر چهار سری زمانی مربوط به داده‌های مشاهداتی، داده‌های شبیه‌سازی شده، خروجی GCM برای دوره زمانی گذشته و آینده مشاهده می‌شود که هر شکل مربوط به یک سناریو می‌باشد.

۴-۴-۱- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت‌حیدریه (شمال شرق) بر

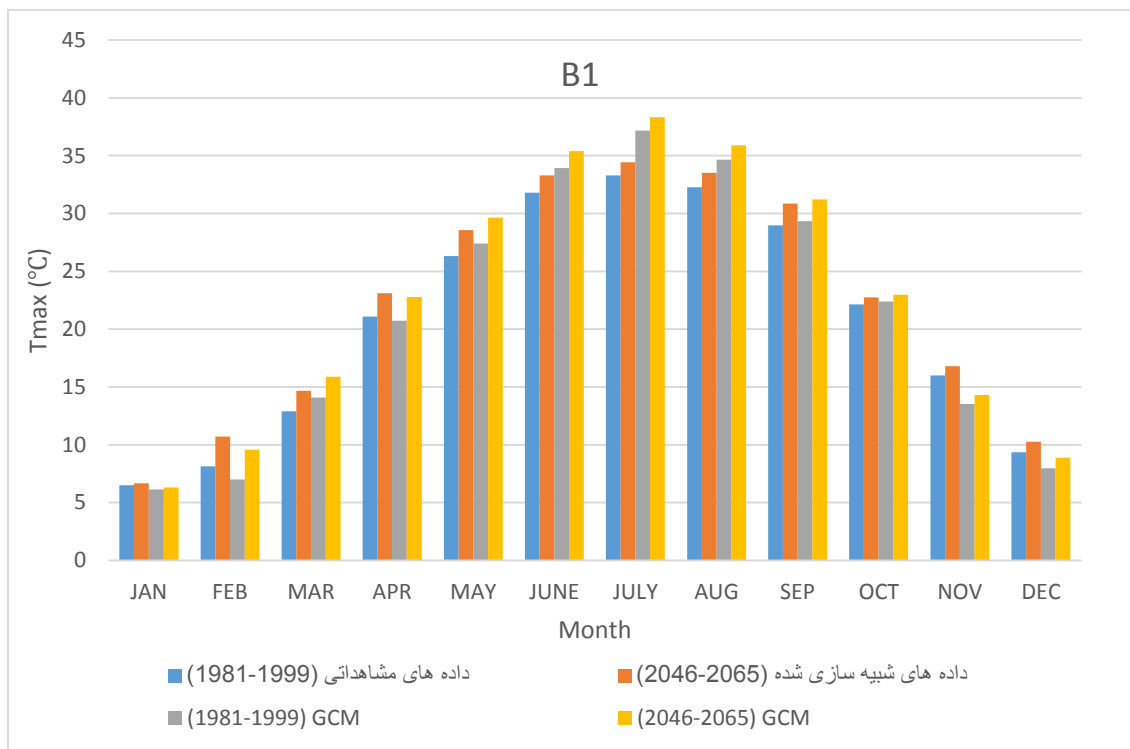
اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۱۹: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A2



شکل ۴-۲۰: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A1B

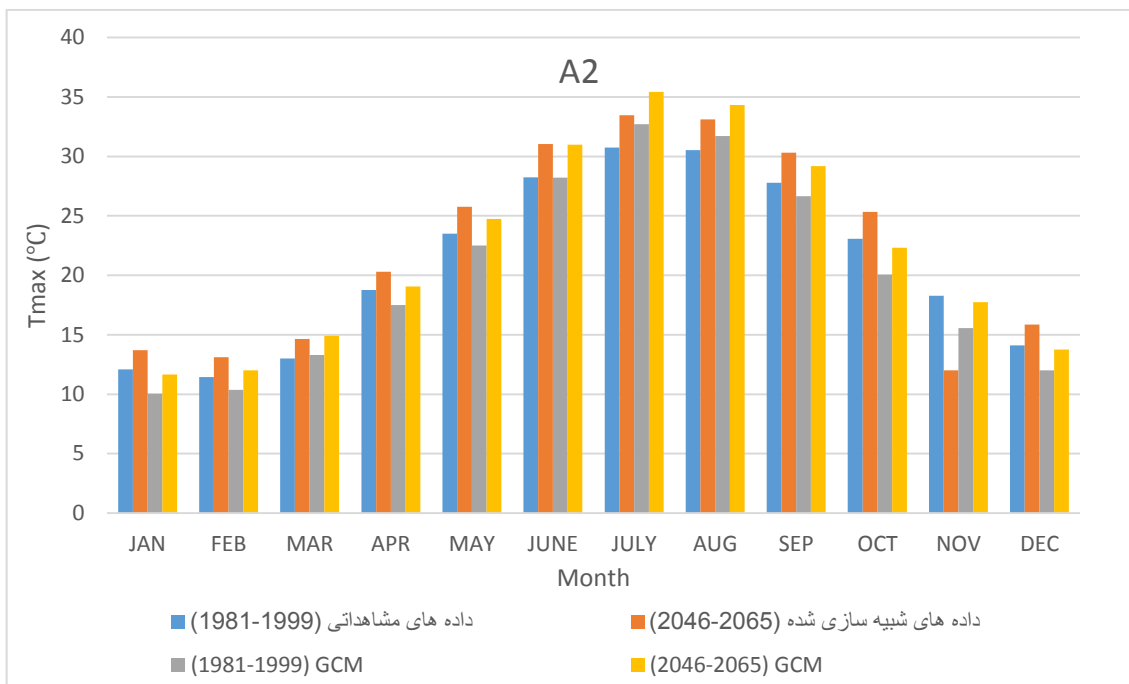


شکل ۴-۲۱: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو B1

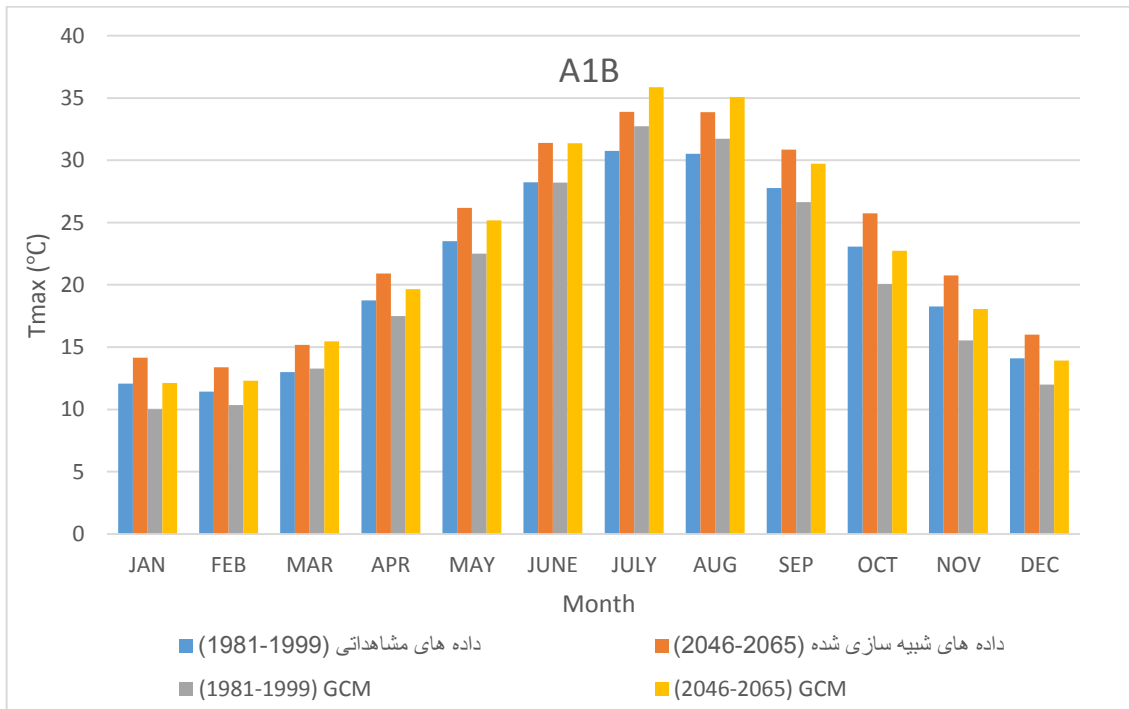
همان گونه که در شکل‌های (۴-۱۹) تا (۴-۲۱) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای ماکسیمم تربت حیدریه در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A2 و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۴-۲- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه بابلسر (شمال) بر اساس خروجی

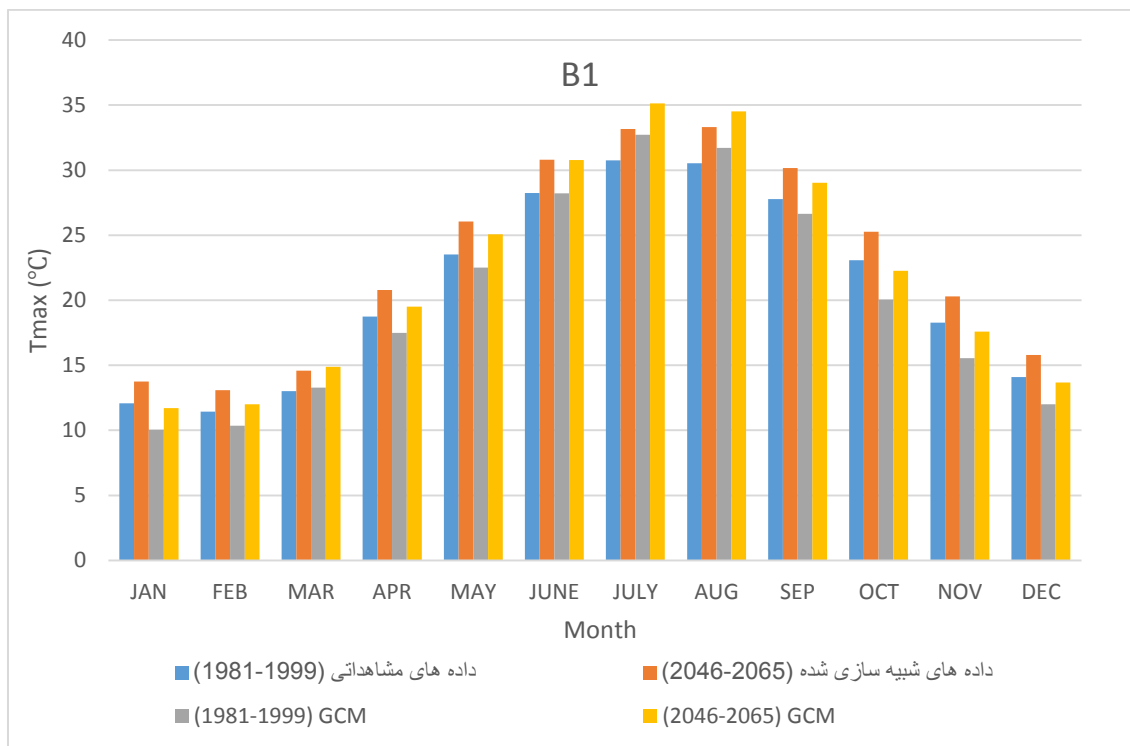
مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۲۲: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2



شکل ۴-۲۳: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B

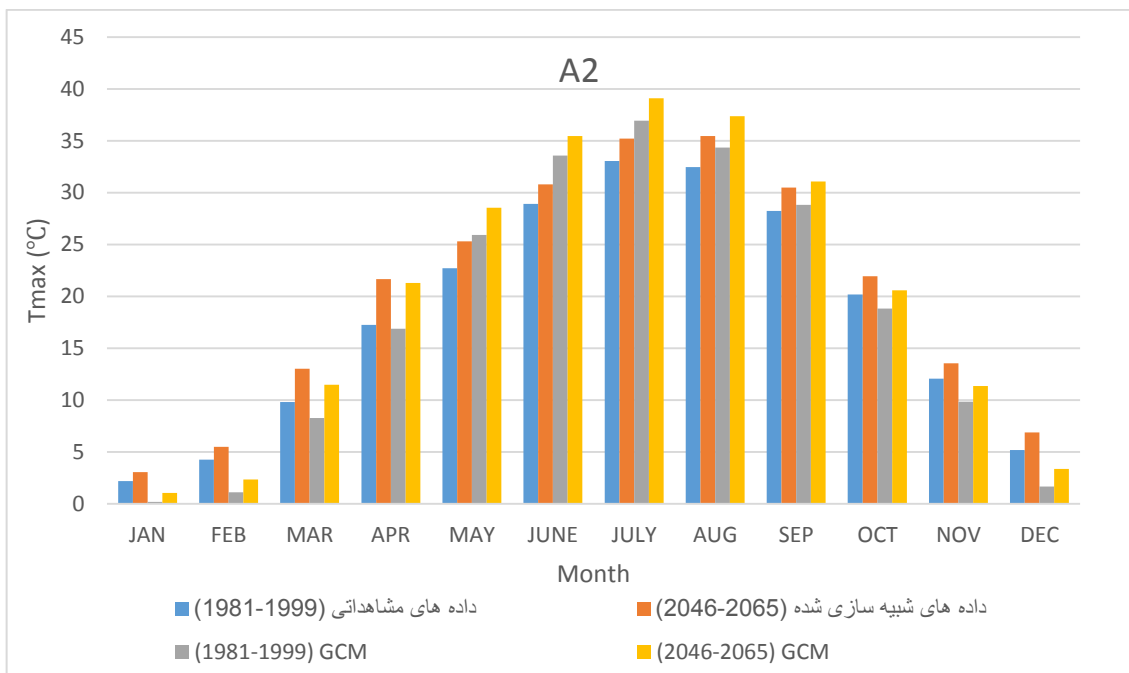


شکل ۴-۲۴: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1

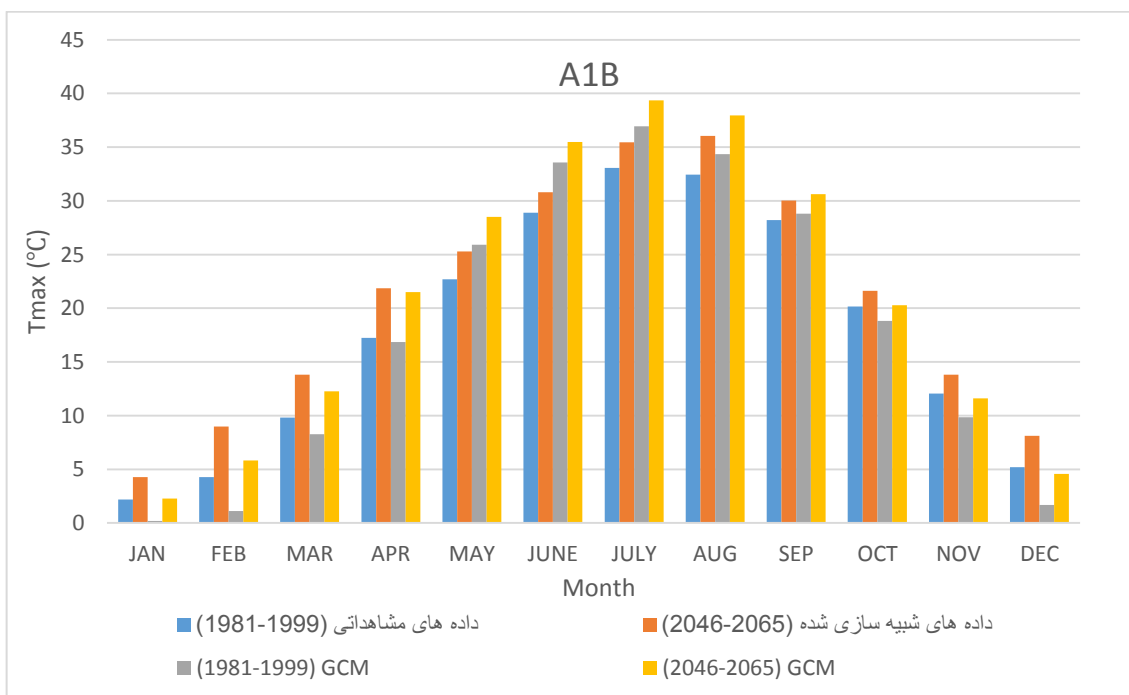
همان گونه که در شکل‌های (۴-۲۲) تا (۴-۲۴) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای ماکسیمم بابلسر در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه فوریه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۴-۳- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تبریز (شمال غرب) بر اساس

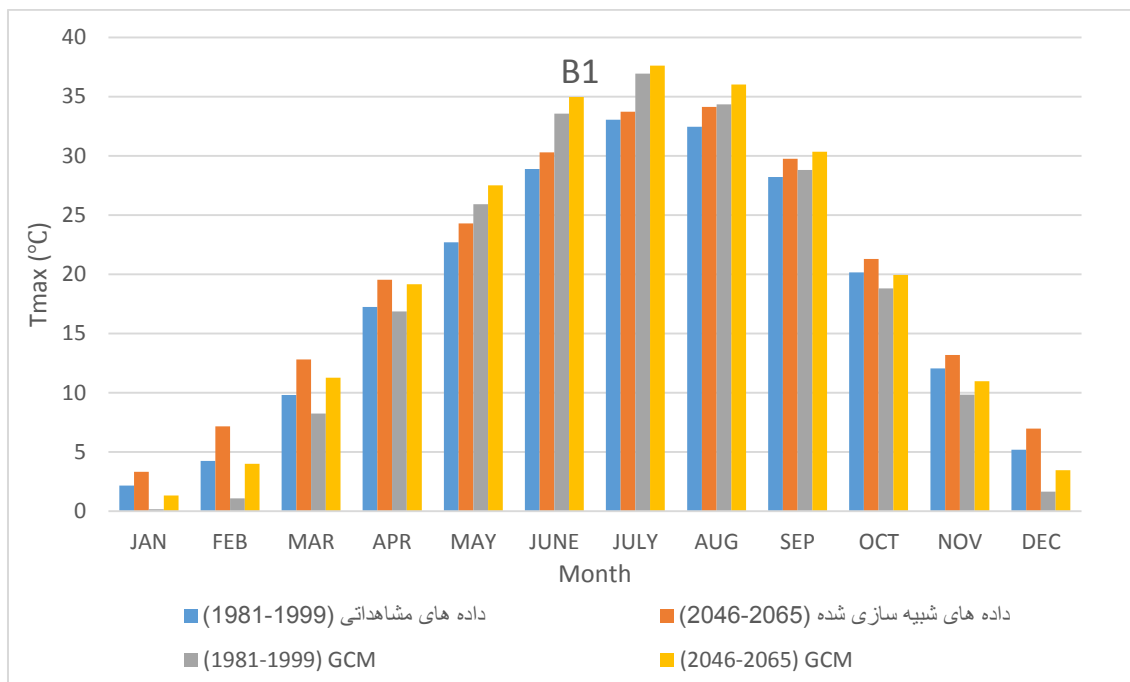
خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۲۵: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریو A2



شکل ۴-۲۶: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریو A1B

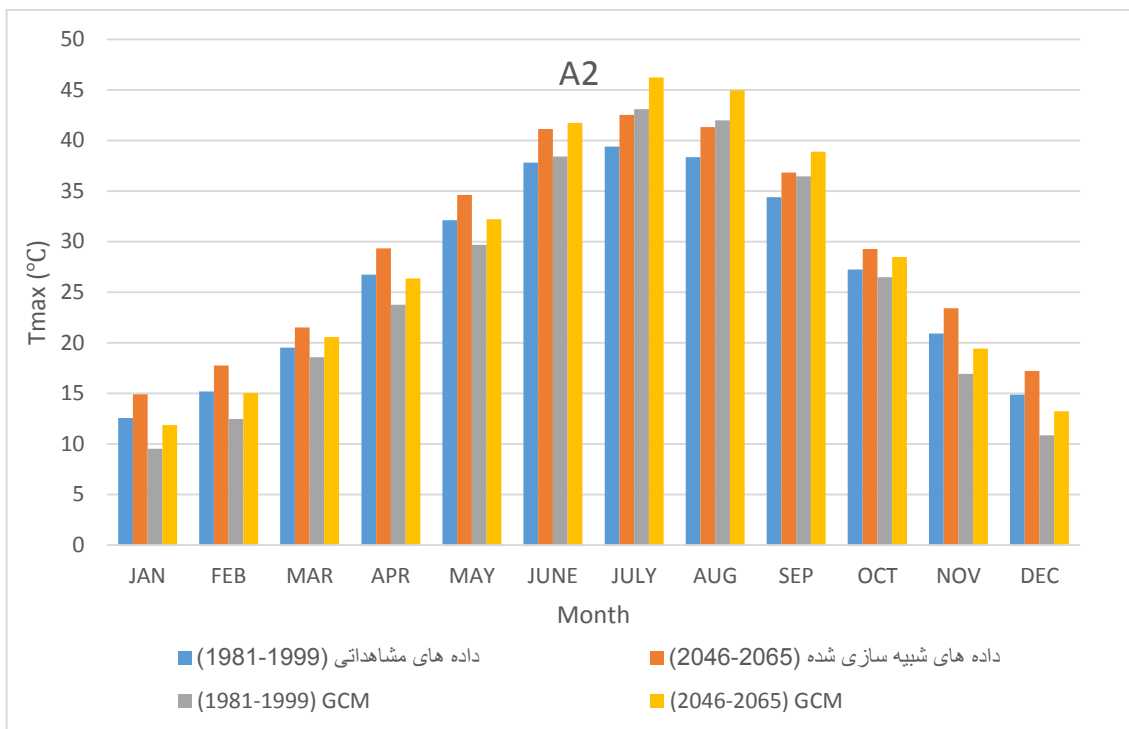


شکل ۴-۲۷: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریو B1

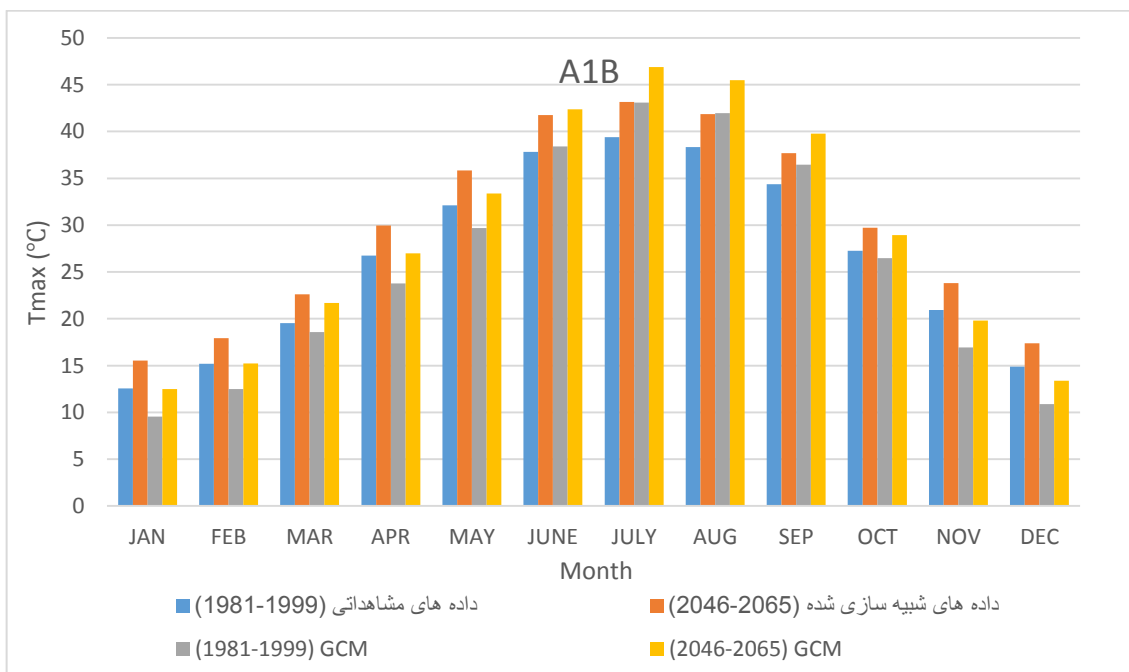
همان گونه که در شکل‌های (۴-۲۵) تا (۴-۲۷) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای ماکسیمم تبریز در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه اوت مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۴-۴- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه یزد (مرکز) بر اساس خروجی مدل

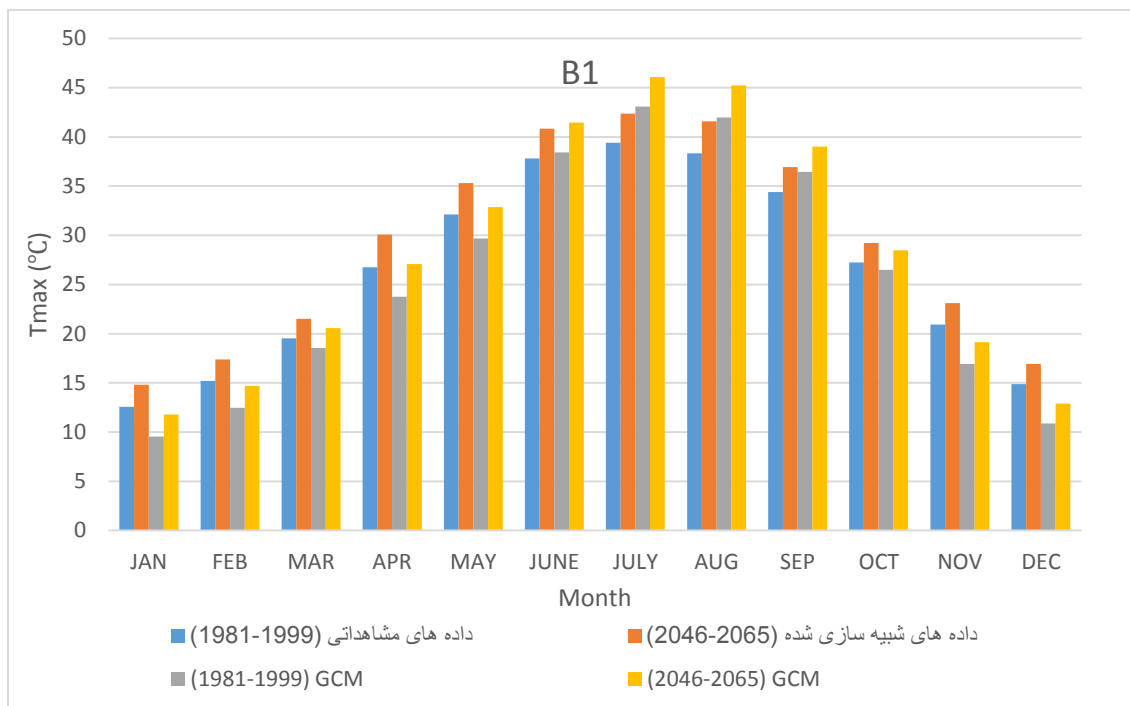
MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A1B، A2 و B1



شکل ۴-۲۸: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2



شکل ۴-۲۹: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B

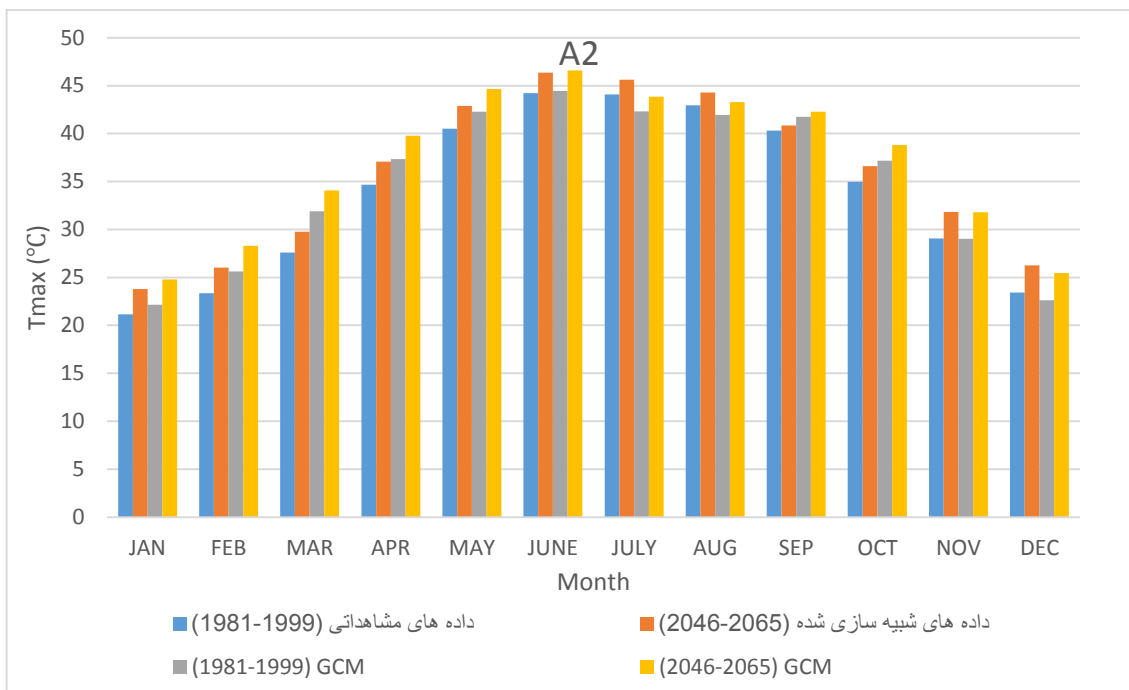


شکل ۴-۳۰: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1

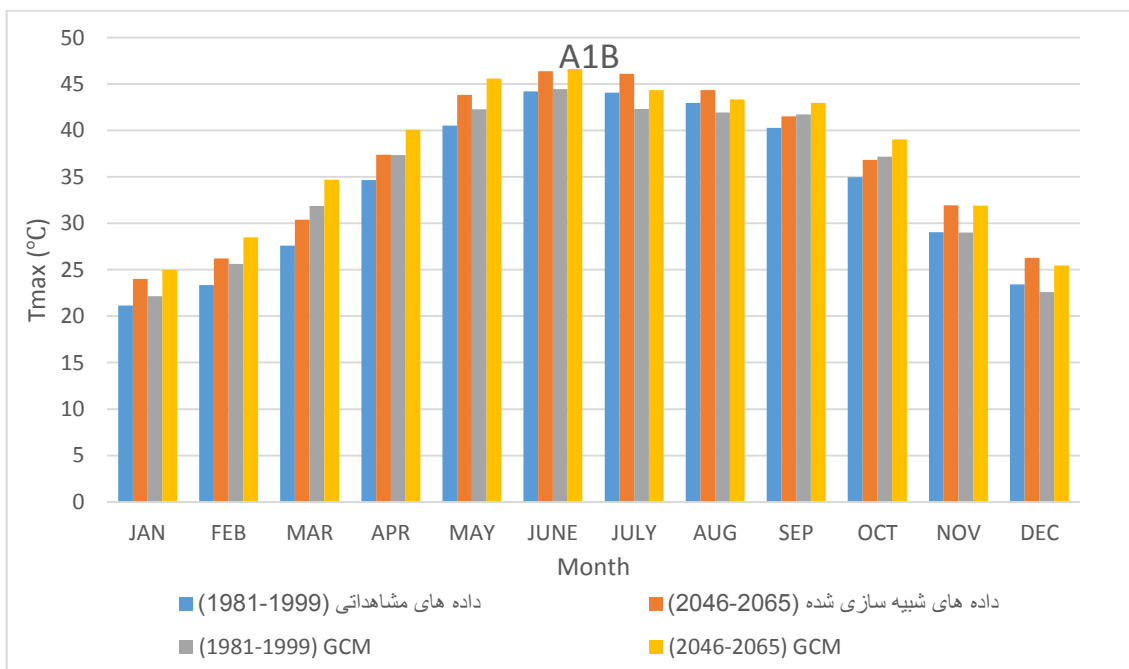
همان گونه که در شکل‌های (۴-۲۸) تا (۴-۳۰) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای ماکسیمم یزد در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۴-۵- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه ابرانشهر (جنوب شرق) بر اساس

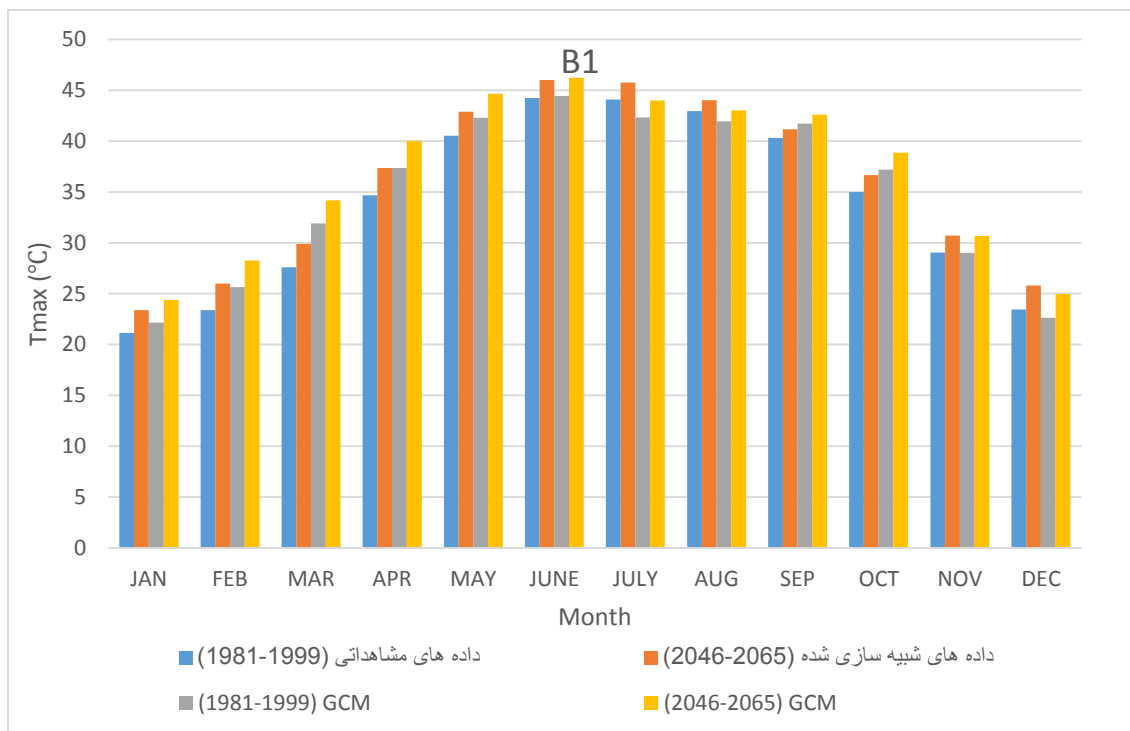
خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۳۱: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2



شکل ۴-۳۲: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B

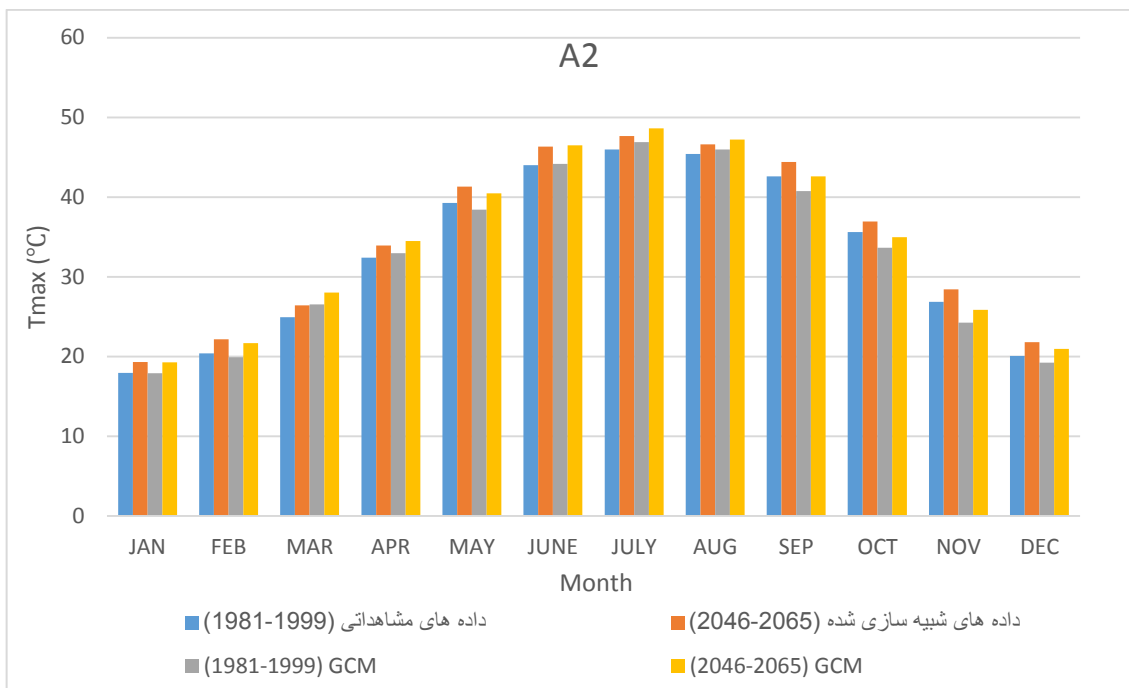


شکل ۴-۳۳: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1

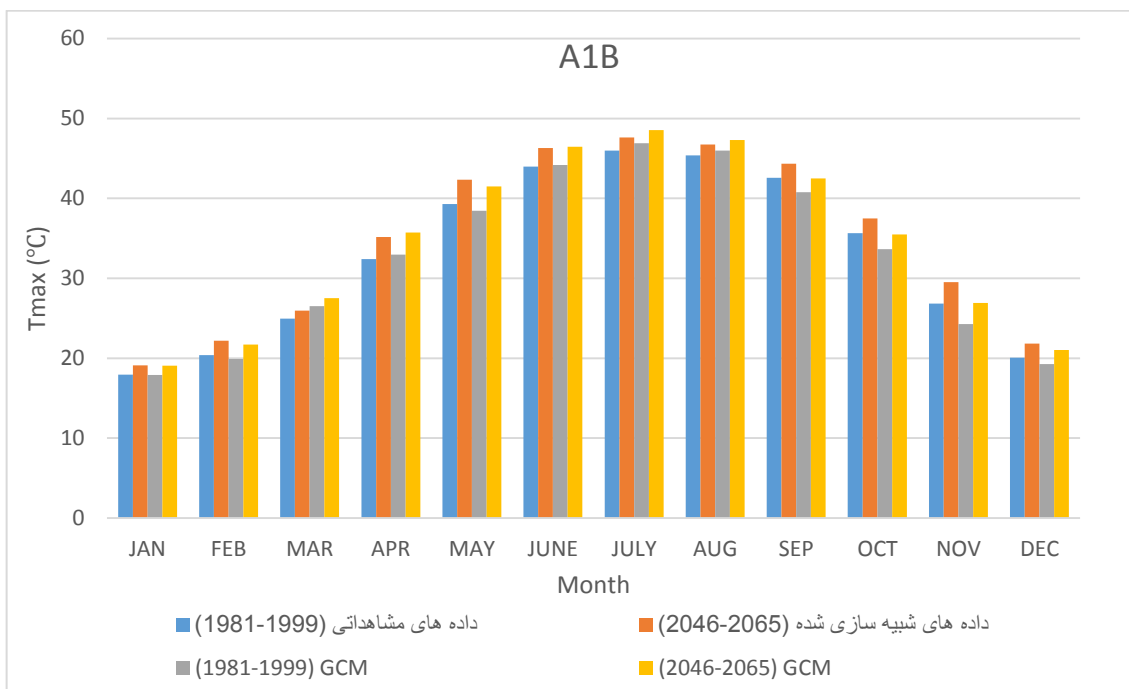
همان گونه که در شکل‌های (۴-۳۱) تا (۴-۳۳) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای ماکسیمم ایرانشهر در دوره گذشته در ماه ژوئن که در اوایل فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه فوریه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه ژوئن مربوط به سناریو A1B و در اوایل فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۴-۶- بررسی تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه آبادان (جنوب غرب) بر اساس

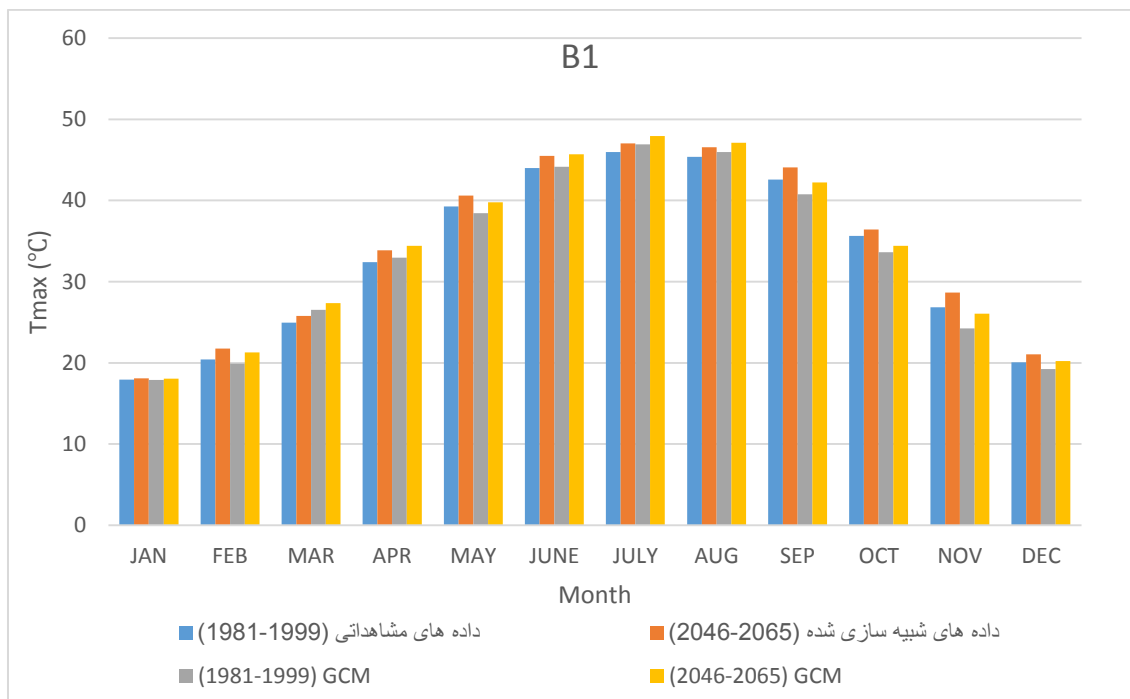
خروجی مدل BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۳۴: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A2



شکل ۴-۳۵: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A1B



شکل ۴-۳۶: تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو B1

همان گونه که در شکل های (۴-۳۴) تا (۴-۳۶) مشاهده می کنیم، بیشترین میزان دمای ماکسیمم آبادان در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می باشد.

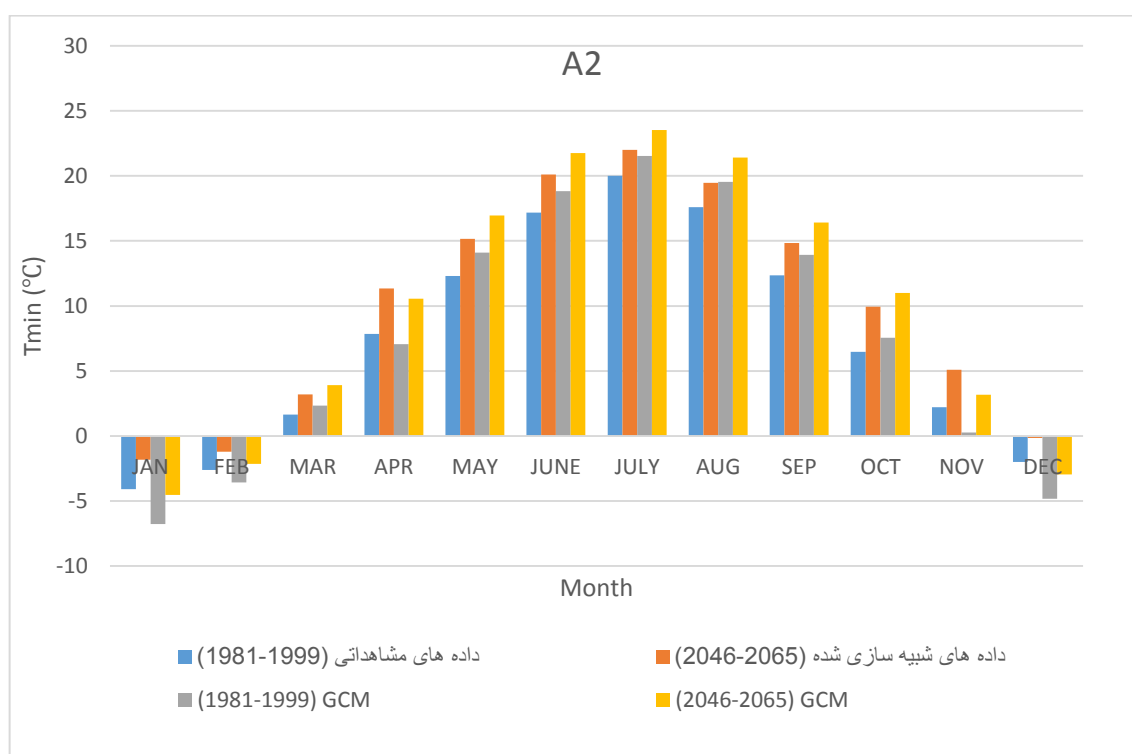
۴-۵- بررسی تغییرات دمای مینیمم

در این قسمت به ترتیب به بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه های تربت حیدریه (شمال شرق)، بابلسر (شمال)، تبریز (شمال غرب)، یزد (مرکز)، ایرانشهر (جنوب شرق) و آبادان (جنوب غرب) بر اساس خروجی مدل مناسب با منطقه خود تحت سناریوهای A2، A1B و B1 می پردازیم. در

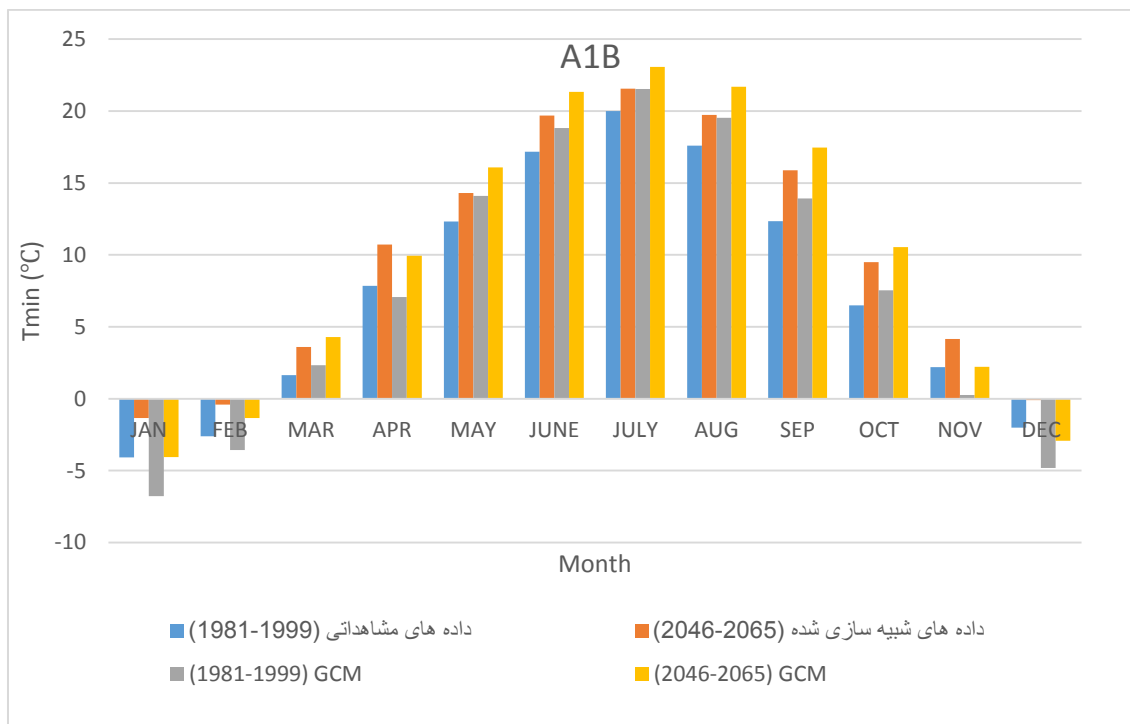
شکل‌های زیر چهار سری زمانی مربوط به داده‌های مشاهداتی، داده‌های شبیه‌سازی شده، خروجی GCM برای دوره زمانی گذشته و آینده مشاهده می‌شود که هر شکل مربوط به یک سناریو می‌باشد.

۴-۵-۱- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت‌حیدریه (شمال شرق) بر اساس

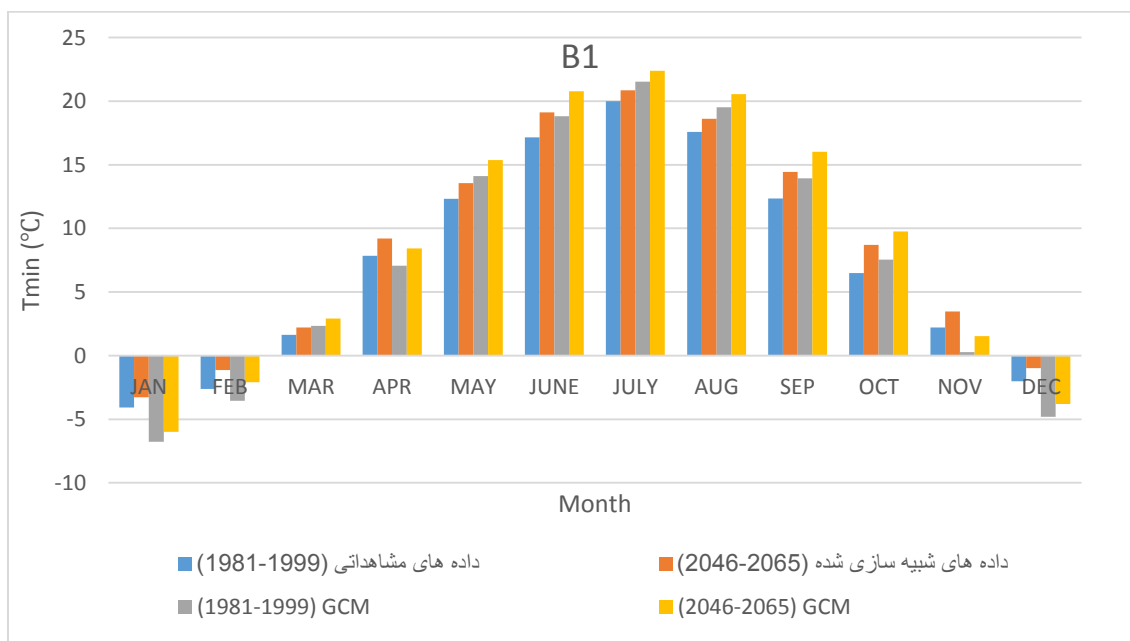
خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۳۷: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت‌حیدریه بر اساس خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریو A2



شکل ۴-۳۸: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریو A1B

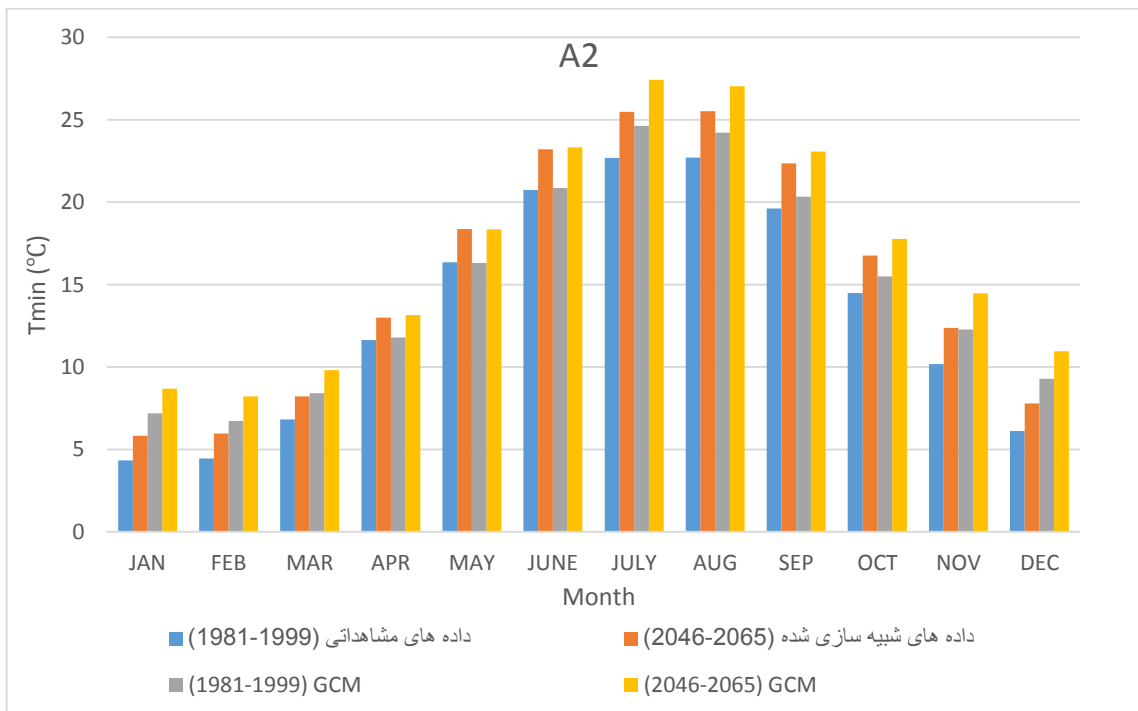


شکل ۴-۳۹: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت حیدریه بر اساس خروجی مدل CNRMCM3 تحت سناریو B1

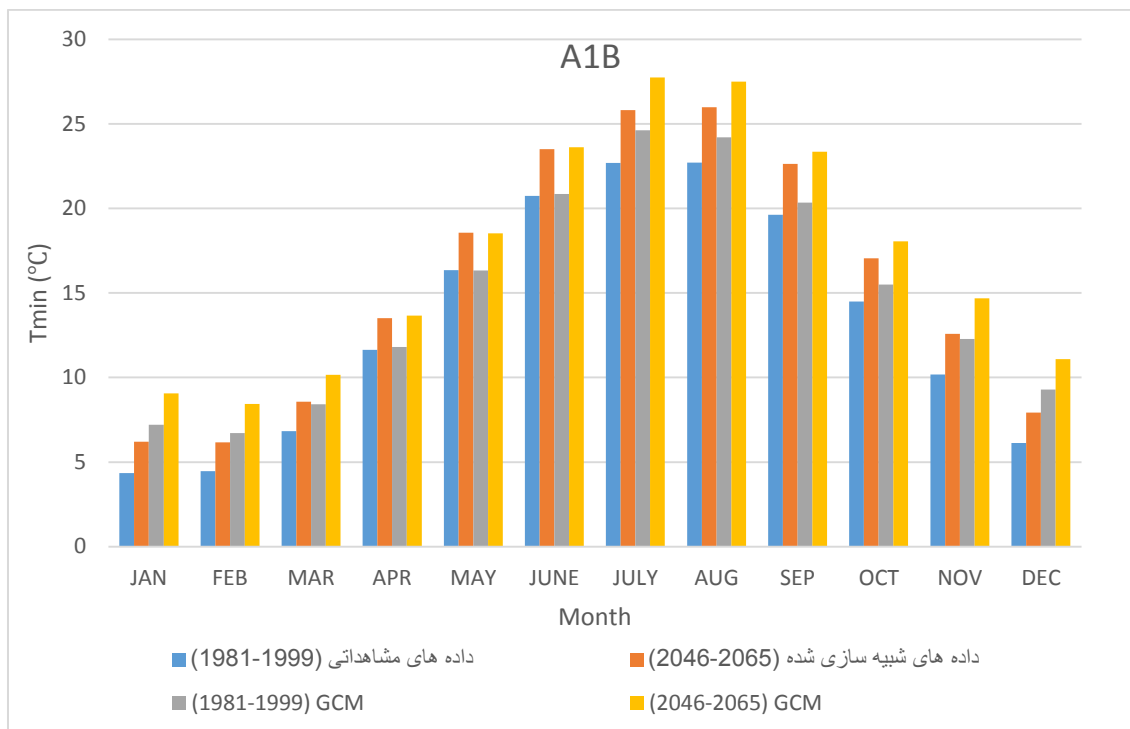
همان گونه که در شکل‌های (۳۷-۴) تا (۳۹-۴) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای مینیمم تربت‌حیدریه در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A2 و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۵-۲- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه بابلسر (شمال) بر اساس خروجی

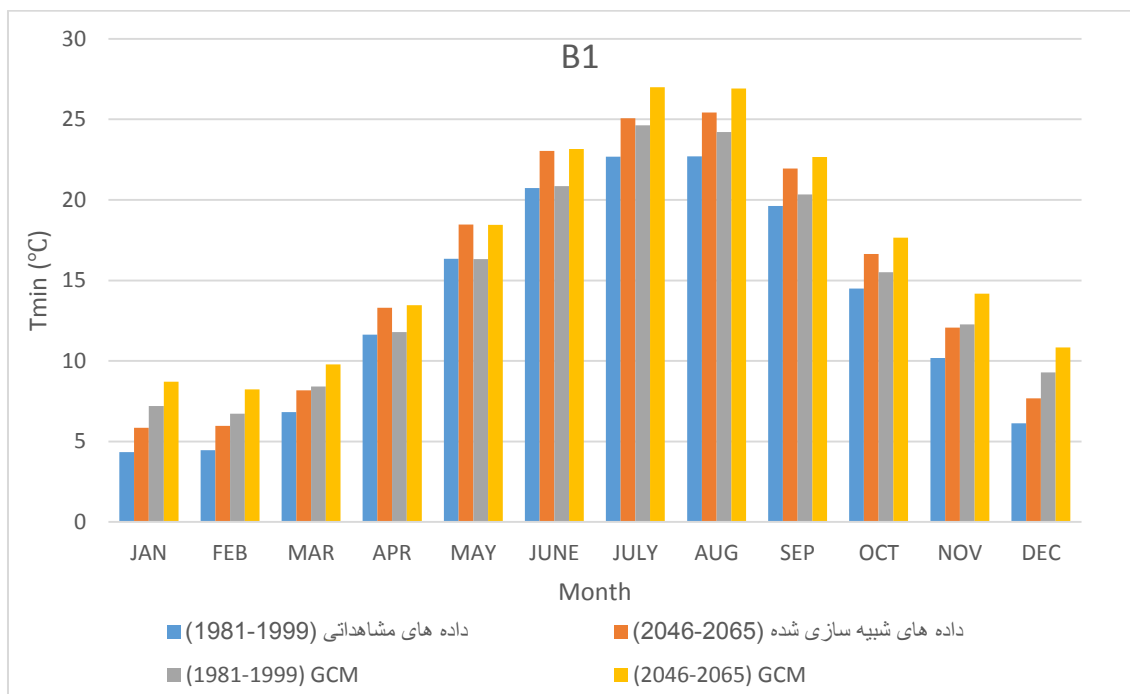
مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۴۰: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2



شکل ۴-۴۱: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B

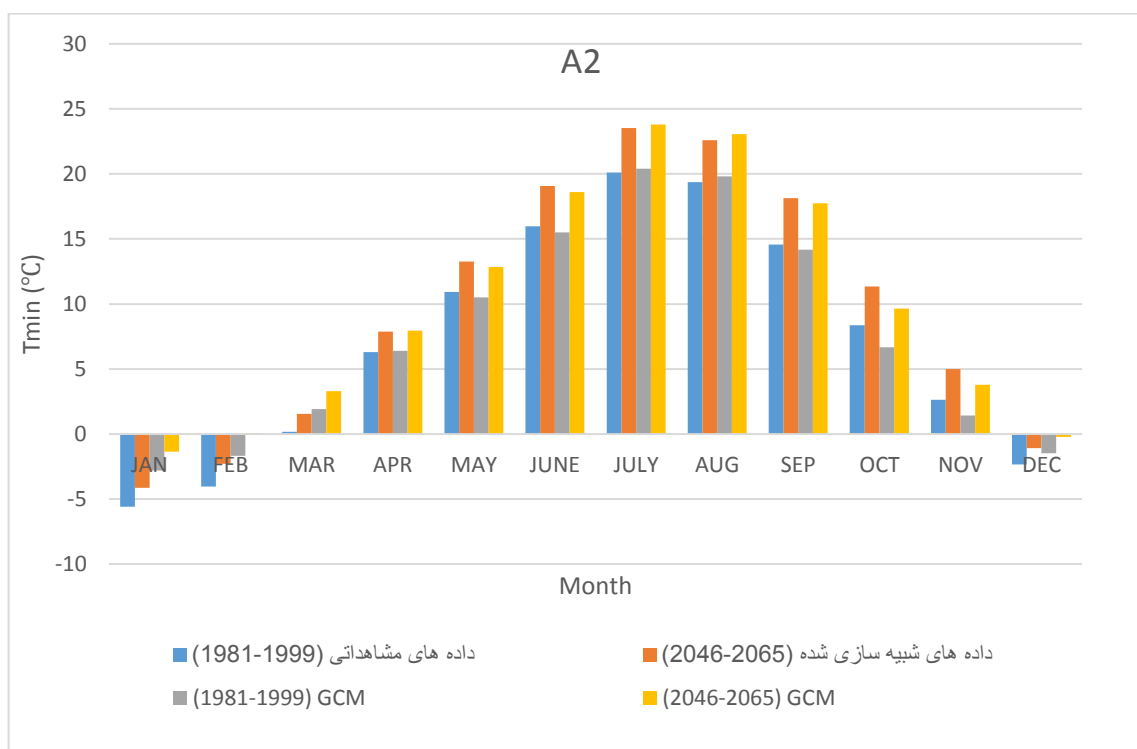


شکل ۴-۴۲: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه بابلسر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1

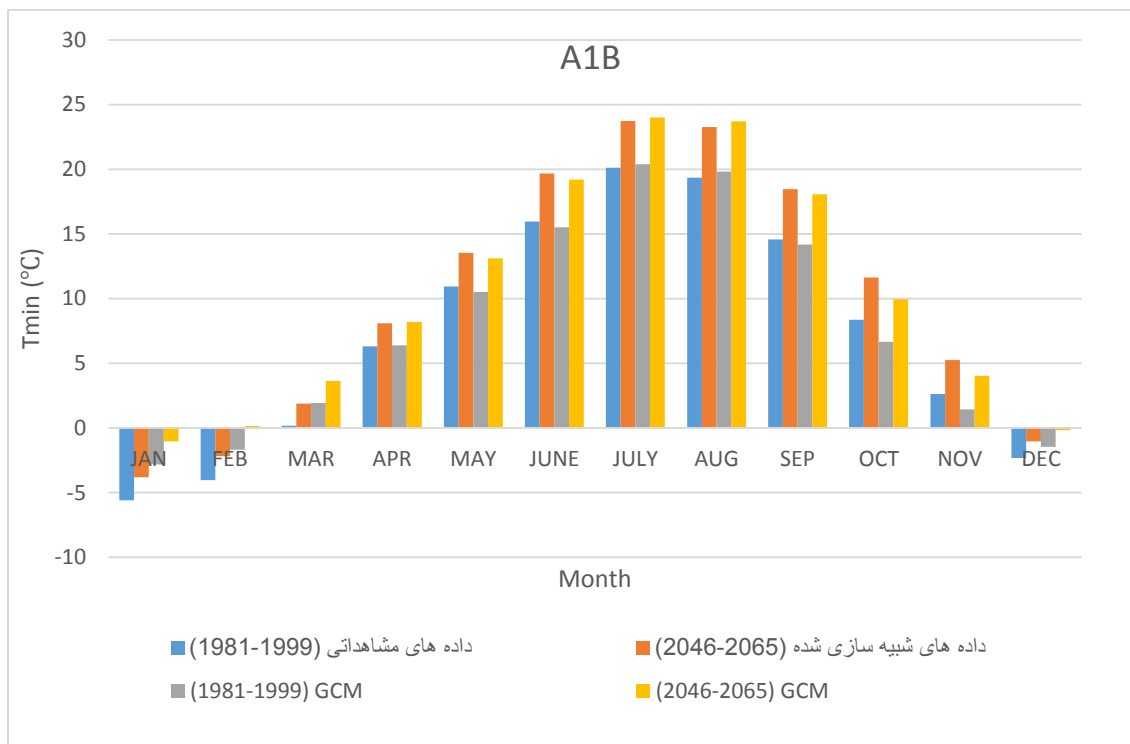
همان گونه که در شکل‌های (۴-۴۰) تا (۴-۴۲) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای مینیمم بابل در دوره گذشته در ماه اوت که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه اوت مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۵-۳- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تبریز (شمال غرب) بر اساس

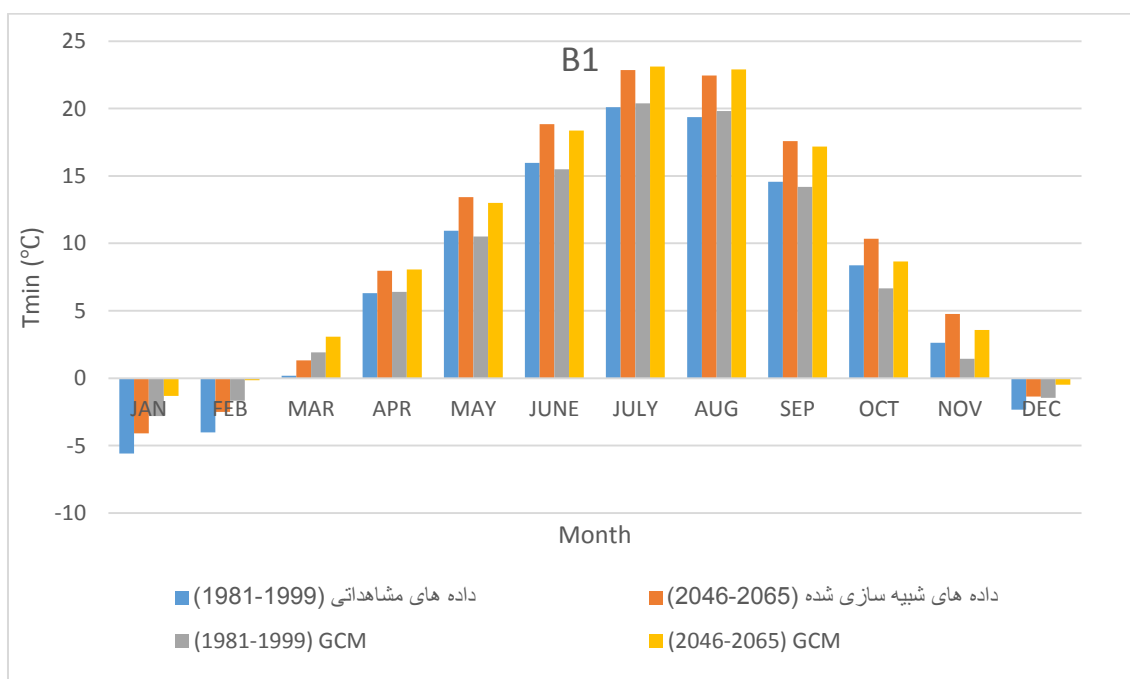
خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۴۳: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2



شکل ۴۴-۴: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B

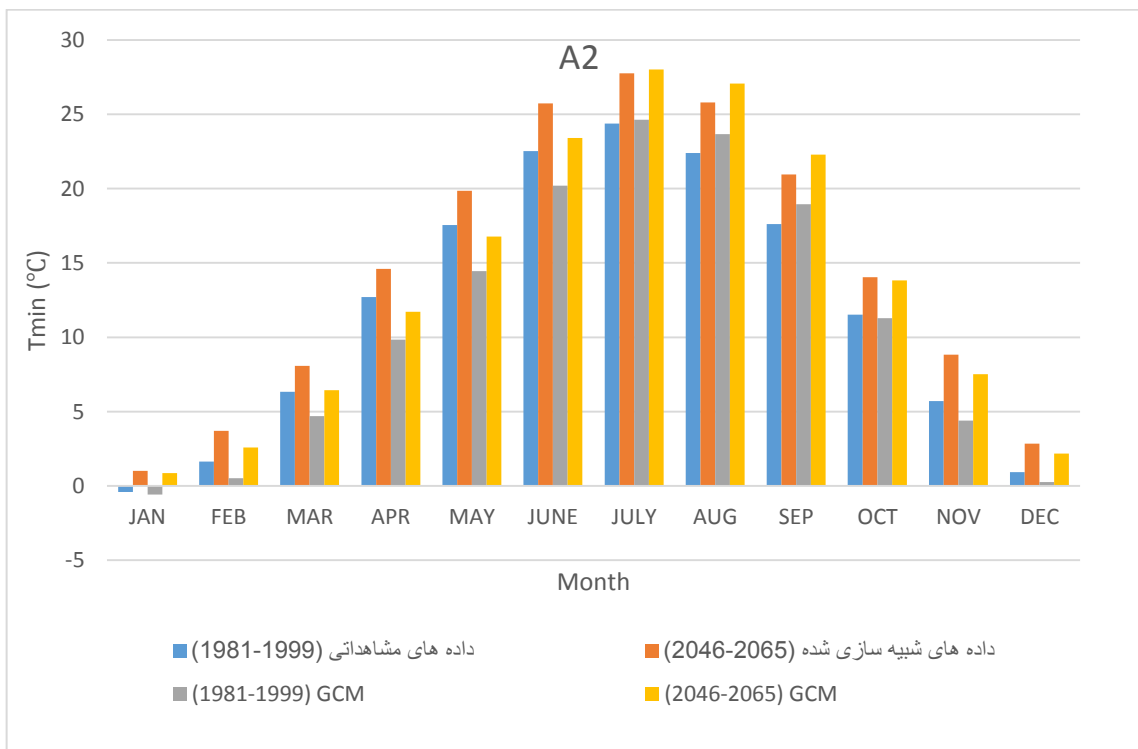


شکل ۴۵-۴: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تبریز بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1

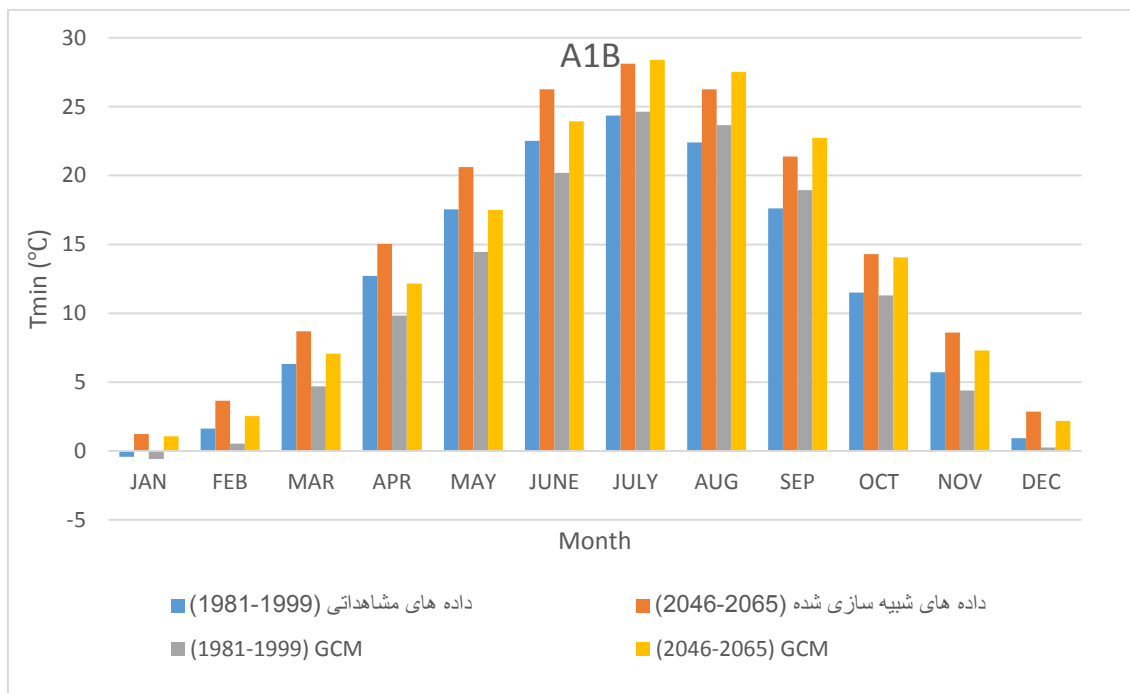
همان گونه که در شکل‌های (۴-۴۳) تا (۴-۴۵) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای مینیمم تبریز در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۵-۴- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه یزد (مرکز) بر اساس خروجی مدل

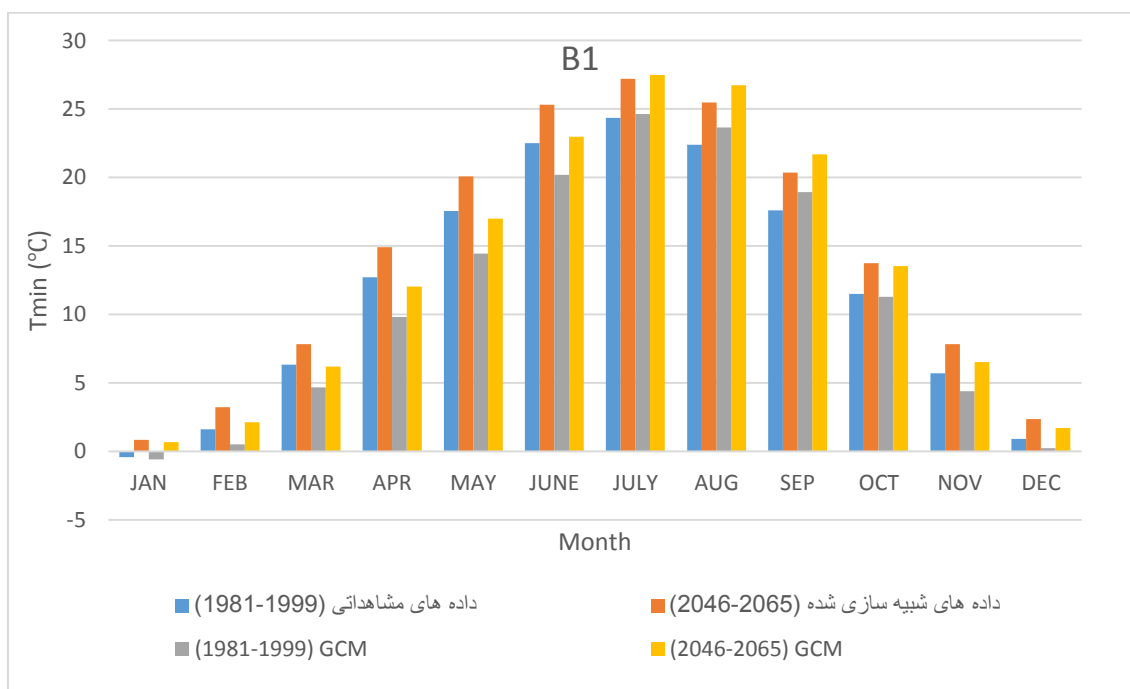
MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۴۶: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2



شکل ۴-۴۷: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B

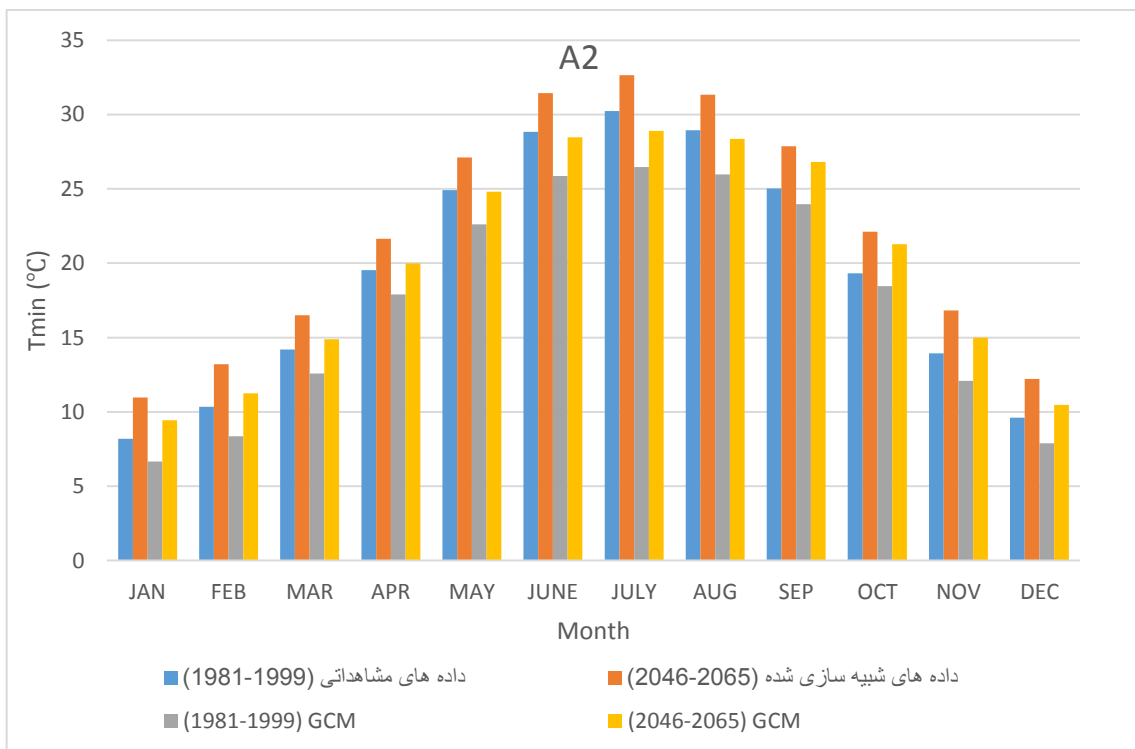


شکل ۴-۴۸: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه یزد بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1

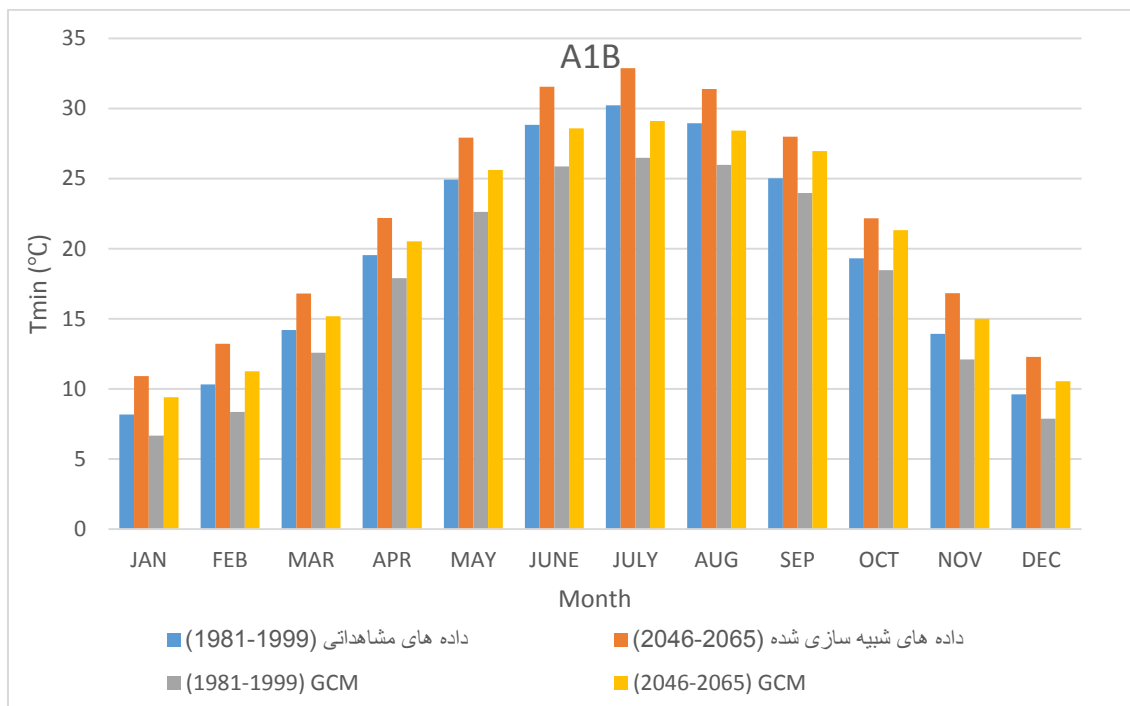
همان گونه که در شکل‌های (۴-۴۶) تا (۴-۴۸) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای مینیمم یزد در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

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

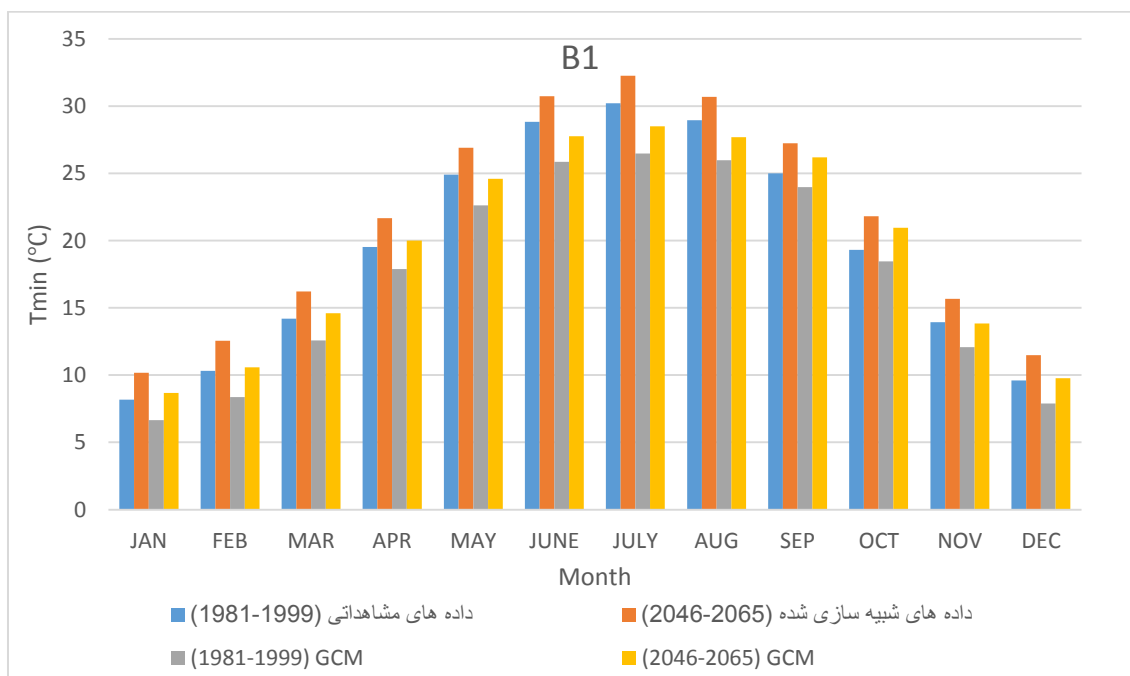
خروجی مدل MIROC3.2 medres تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۴۹: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A2



شکل ۴-۵۰: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو A1B

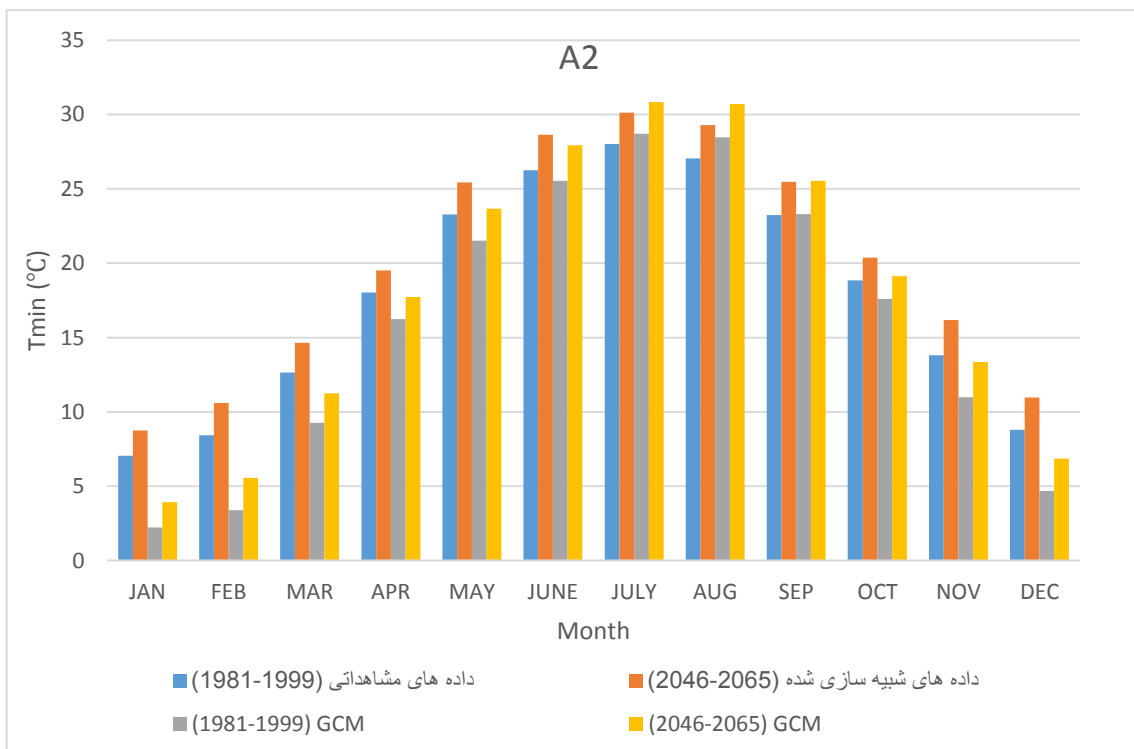


شکل ۴-۵۱: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه ایرانشهر بر اساس خروجی MIROC3.2 medres تحت سناریو B1

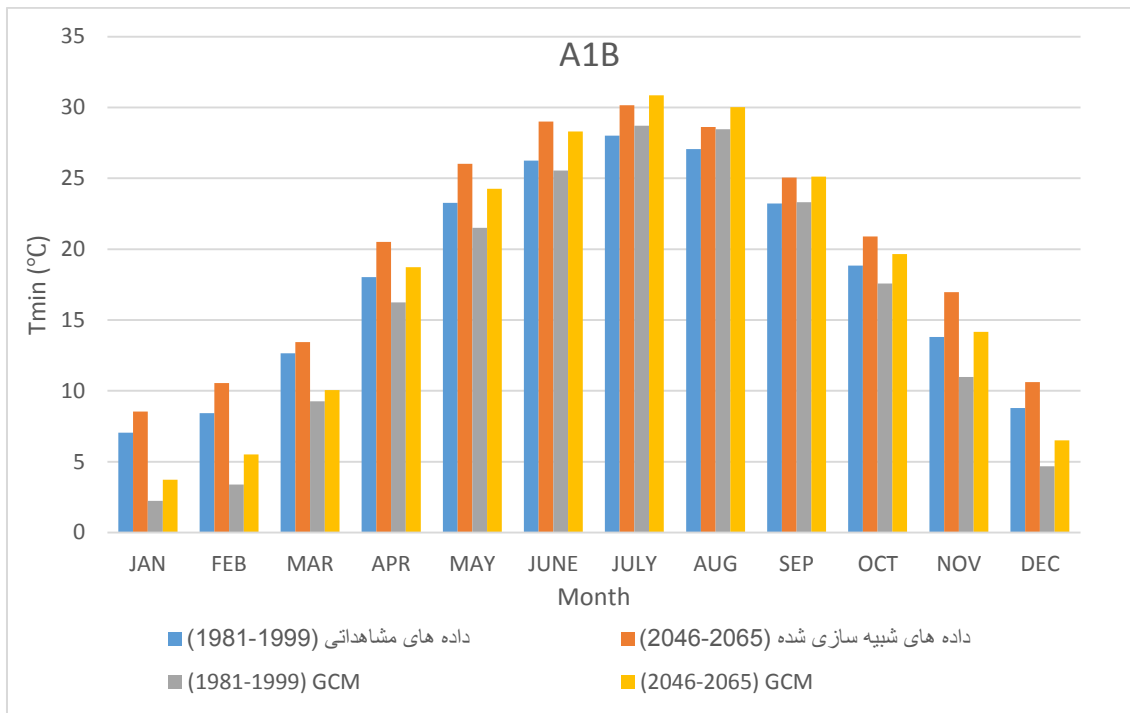
همان گونه که در شکل‌های (۴-۴۹) تا (۴-۵۱) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای مینیمم ایران‌شهر در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۵-۶- بررسی تغییرات دمای مینیمم ایستگاه آبادان (جنوب غرب) بر اساس

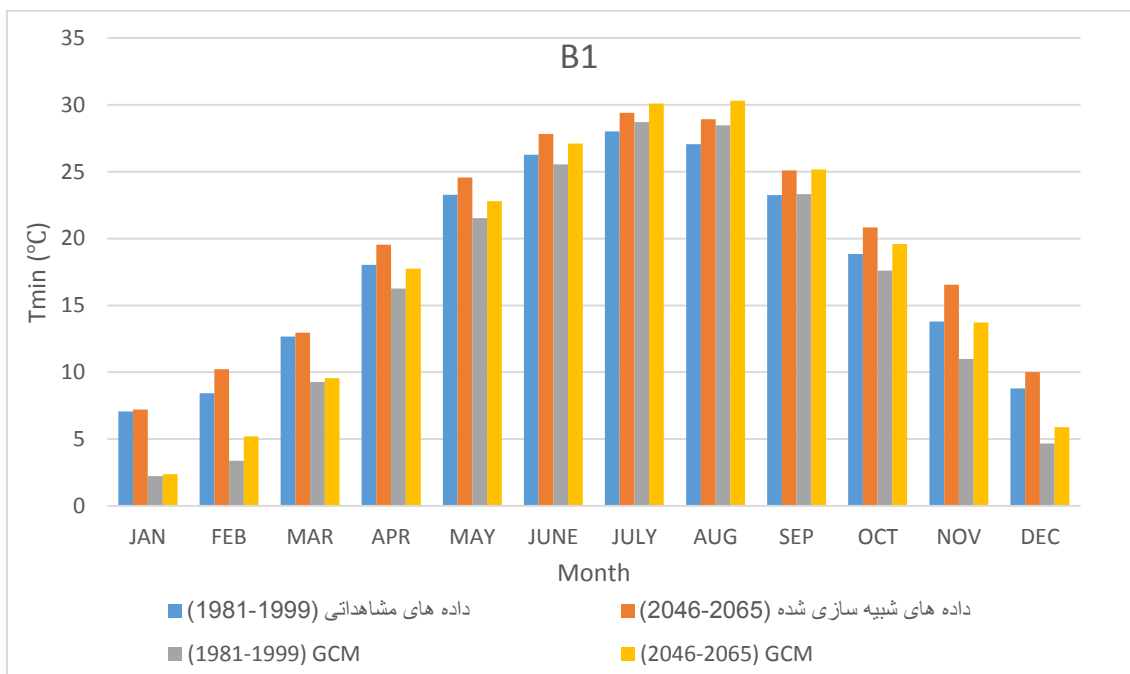
خروجی مدل BCM2 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



شکل ۴-۵۲: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A2



شکل ۴-۵۳: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو A1B



شکل ۴-۵۴: تغییرات دمای مینیمم ایستگاه آبادان بر اساس خروجی مدل BCM2 تحت سناریو B1

همان گونه که در شکل‌های (۴-۵۲) تا (۴-۵۴) مشاهده می‌کنیم، بیشترین میزان دمای مینیمم آبادان در دوره گذشته در ماه جولای که در فصل تابستان می‌باشد را شاهد هستیم و کمترین میزان مربوط به ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

۴-۶- نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی مختلف و مقایسه با مدل اقلیمی منتخب

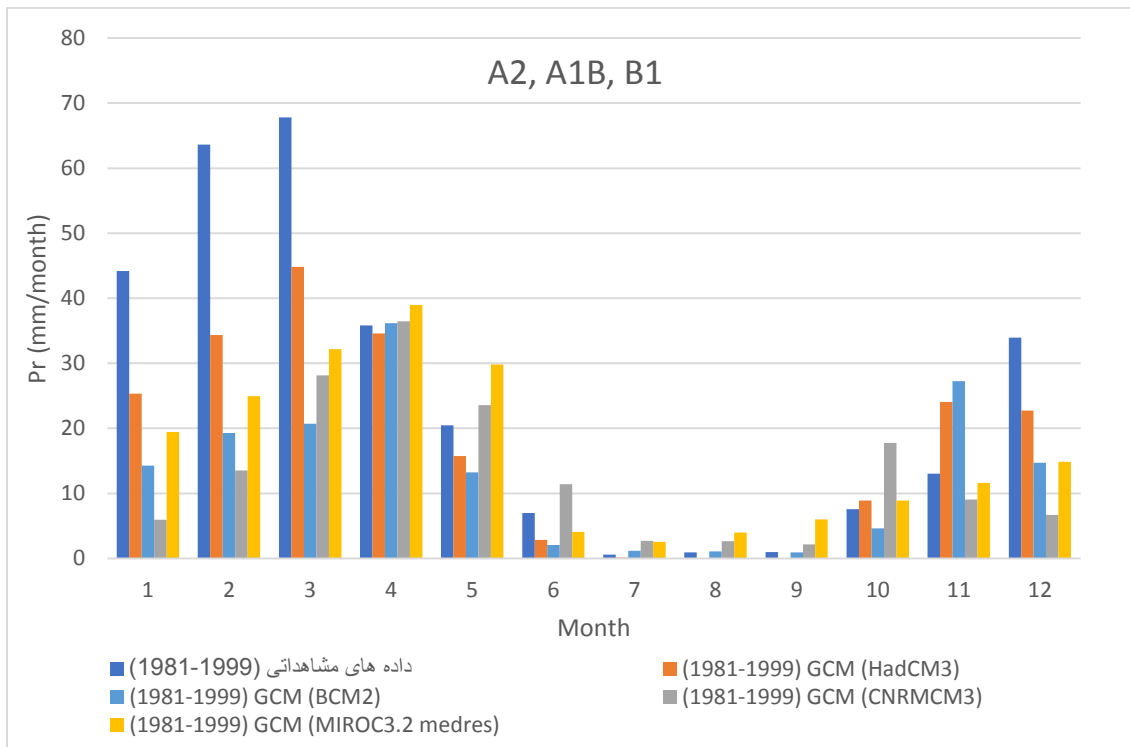
یک منطقه

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از تغییرات بارش، دمای ماکسیمم و دمای مینیمم بر اساس همه مدل‌های اقلیمی موجود و مقایسه آن‌ها با نتایج به دست آمده از مدل منتخب برای هر متغیر تحت سناریوهای A2، A1B و B1 می‌پردازیم. برای این منظور یک منطقه از شش منطقه مورد مطالعه (شمال شرق: ایستگاه تربت‌حیدریه) در این پژوهش به طور نمونه مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

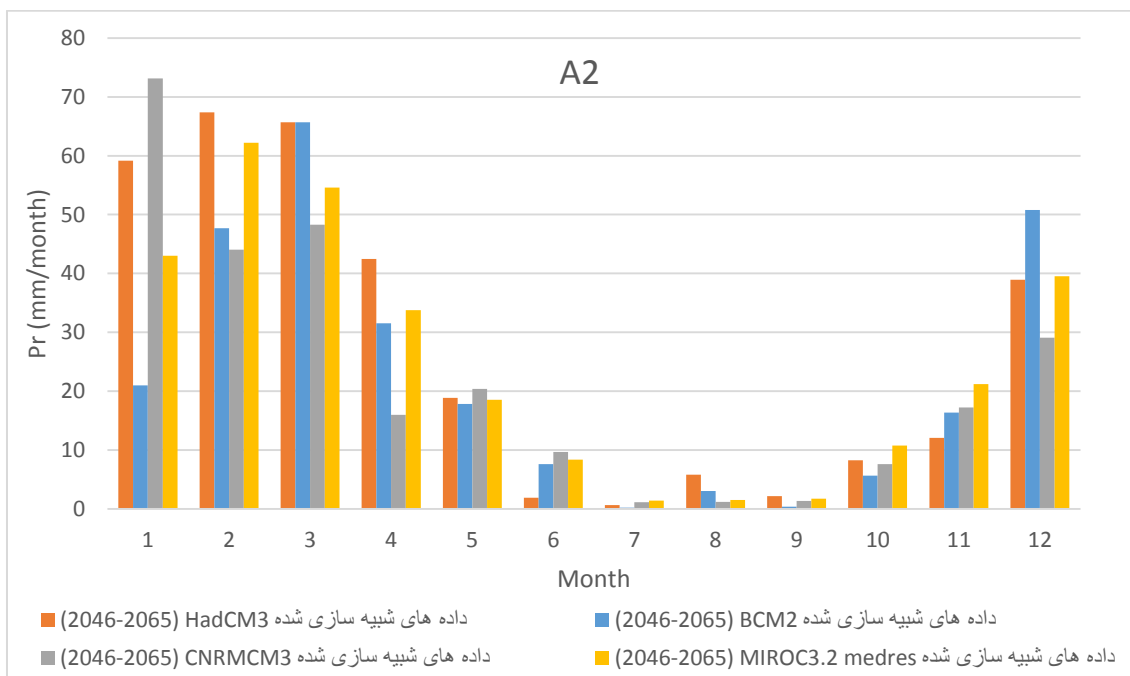
۴-۶-۱- بررسی و مقایسه تغییرات بارش ایستگاه تربت‌حیدریه (شمال شرق) بر

اساس خروجی مدل‌های دیگر با مدل منتخب HadCM3 تحت سناریوهای A2،

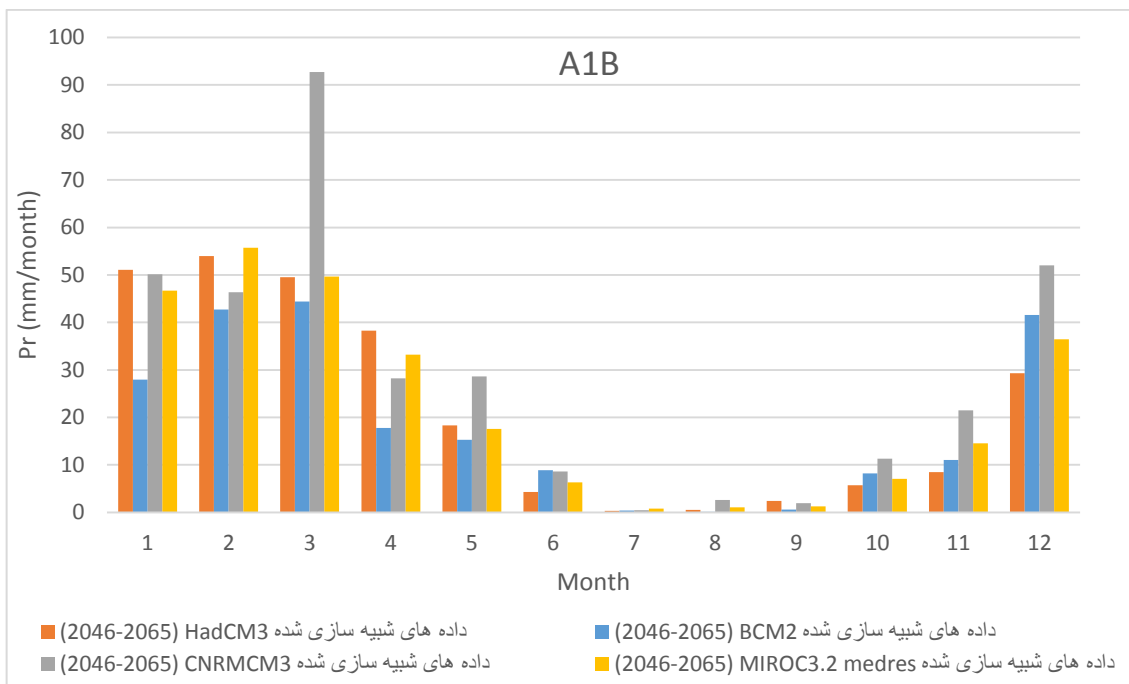
A1B و B1



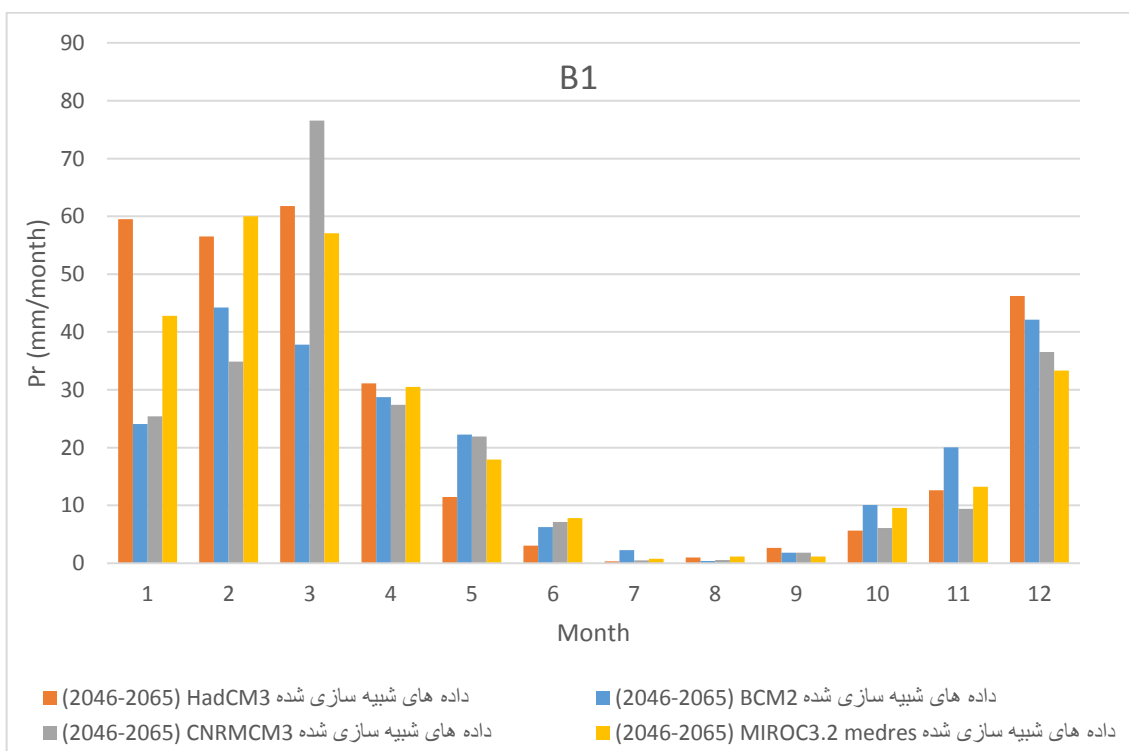
شکل ۴-۵۵: داده‌های بارش مشاهداتی و GCM گذشته چهار مدل اقلیمی تحت سه سناریو



شکل ۴-۵۶: داده‌های بارش شبیه‌سازی شده چهار مدل اقلیمی تحت سناریو A2



شکل ۴-۵۷: داده‌های بارش شبیه‌سازی شده چهار مدل اقلیمی تحت سناریو A1B



شکل ۴-۵۸: داده‌های بارش شبیه‌سازی شده چهار مدل اقلیمی تحت سناریو B1

جدول زیر میزان اختلاف بارش سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره

گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 برای چهار مدل اقلیمی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۴: میزان اختلاف بارش سالانه در دوره آینده نسبت به دوره گذشته

تحت سه سناریو برای چهار مدل اقلیمی

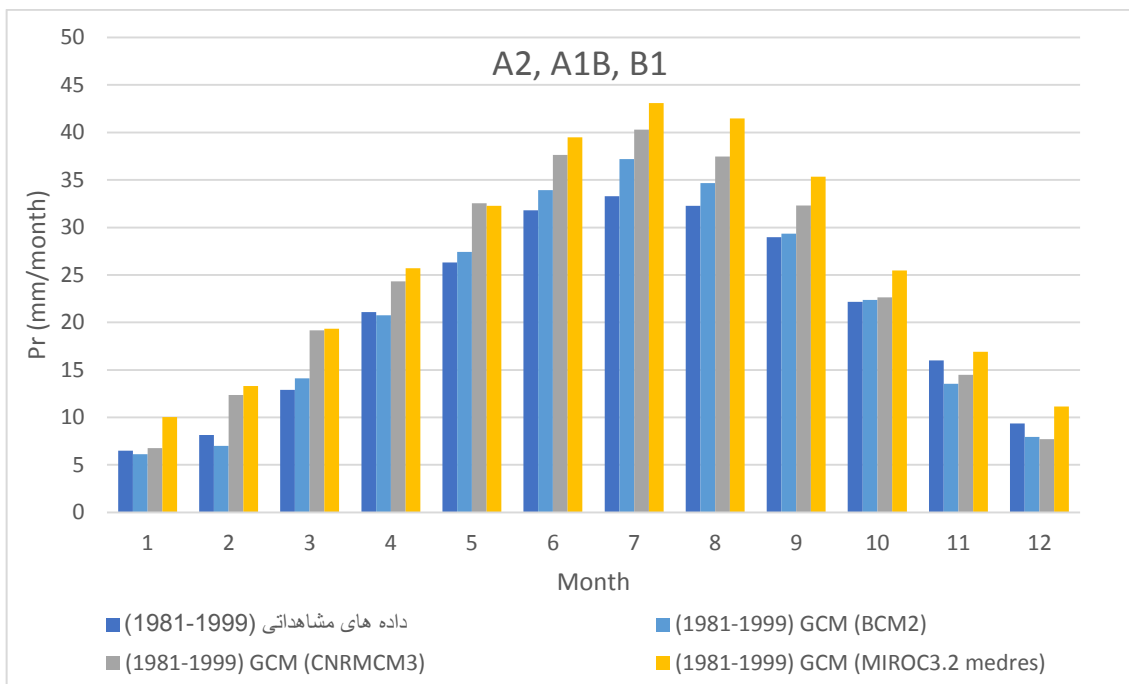
Pr (mm/month)	A2	A1B	B1
HadCM3*	27	-34	-4
BCM2	-28	-77	-56
CNRMCM3	-27	49	-48
MIROC3.2 medres	1	-25	-21

علامت * نشان دهنده مدل منتخب برای متغیر بارش در منطقه شمال شرق می‌باشد.

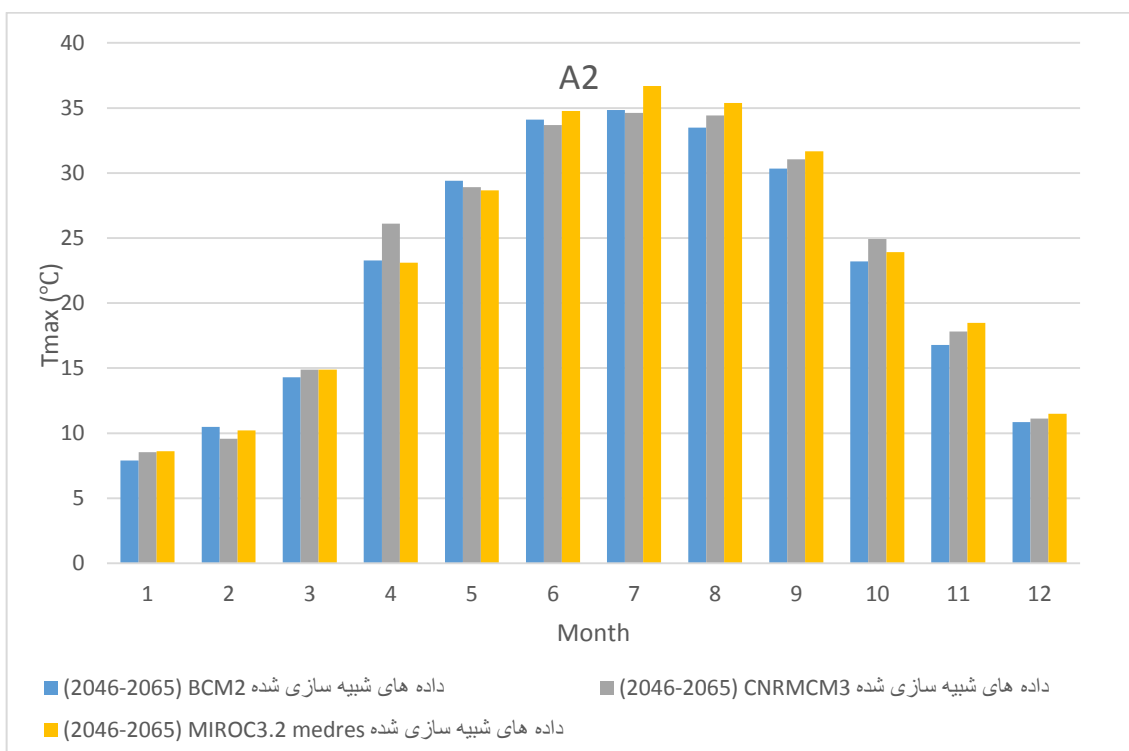
۴-۶-۲- بررسی و مقایسه تغییرات دمای ماکسیمم ایستگاه تربت حیدریه (شمال

شرق) بر اساس خروجی مدل‌های دیگر با مدل منتخب BCM2 تحت

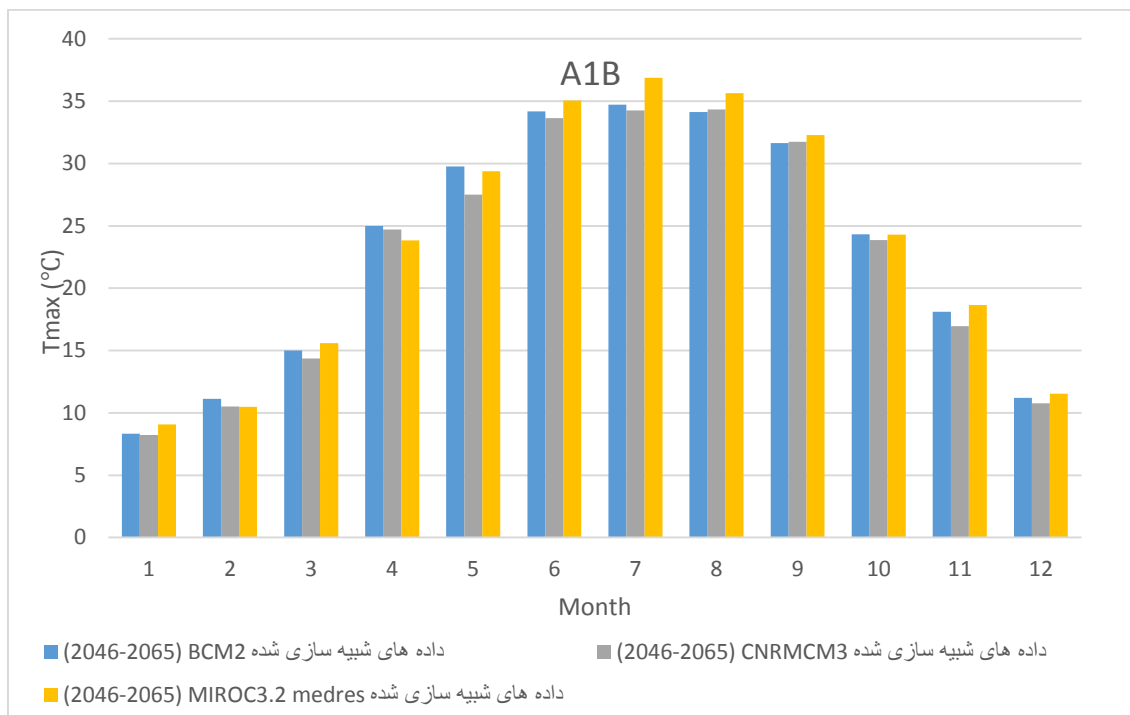
سناریوهای A2، A1B و B1



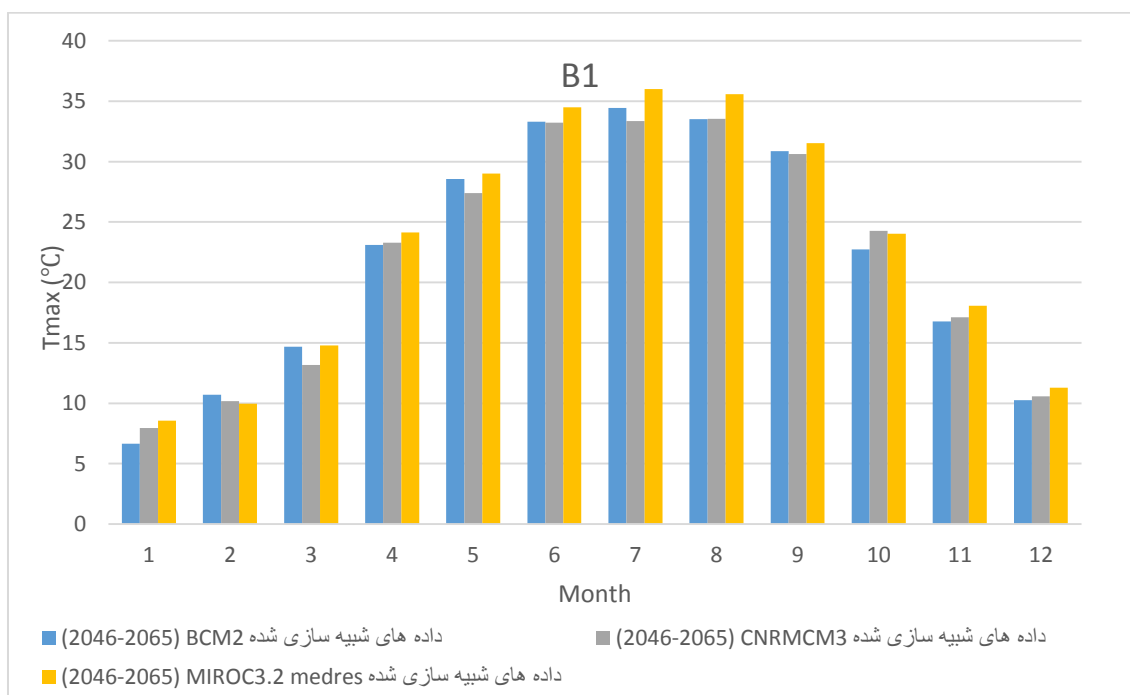
شکل ۴-۵۹: داده‌های دمای ماکسیمم مشاهداتی و GCM گذشته سه مدل اقلیمی تحت سه سناریو



شکل ۴-۶۰: داده‌های دمای ماکسیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو A2



شکل ۴-۶۱: داده‌های دمای ماکسیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو A1B



شکل ۴-۶۲: داده‌های دمای ماکسیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو B1

جدول زیر میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 برای سه مدل اقلیمی را نشان می‌دهد.

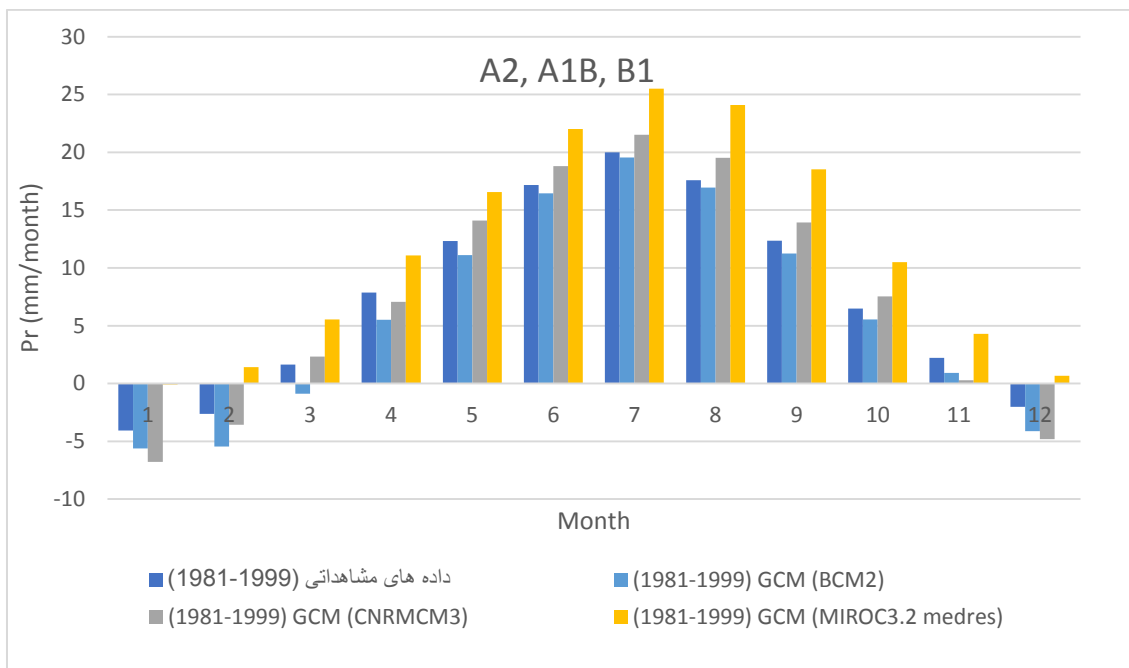
جدول ۴-۵: میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه در دوره آینده نسبت به دوره گذشته

تحت سه سناریو برای سه مدل اقلیمی

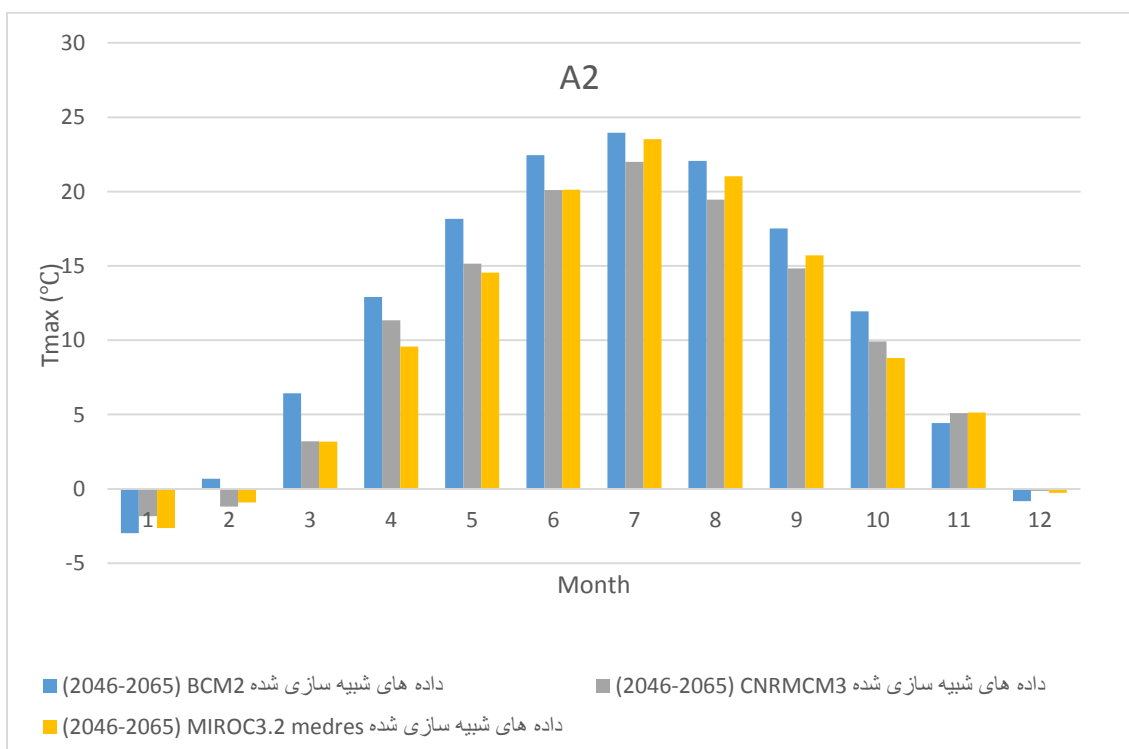
Tmax (°C)	A2	A1B	B1
BCM2*	2	2	1
CNRMCM3	2	1	1
MIROC3.2 medres	2	3	2

علامت * نشان دهنده مدل منتخب برای متغیر دمای ماکسیمم در منطقه شمال شرق می‌باشد.

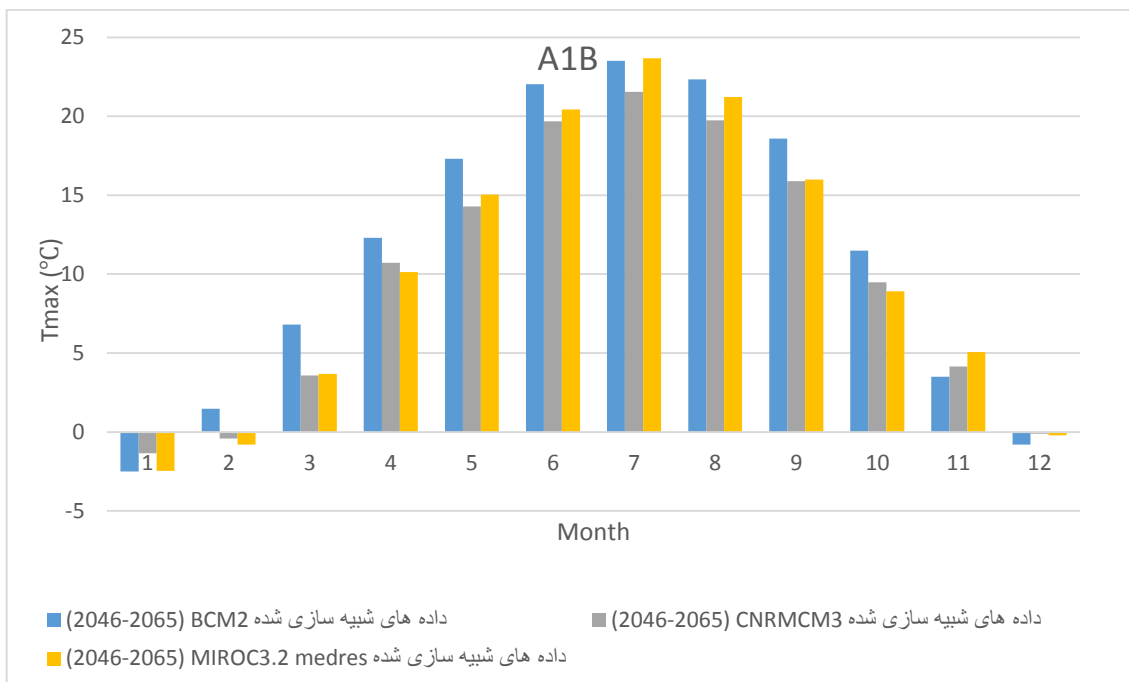
۴-۶-۳- بررسی و مقایسه تغییرات دمای مینیمم ایستگاه تربت حیدریه (شمال شرق) بر اساس خروجی مدل‌های دیگر با مدل منتخب CNRMCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1



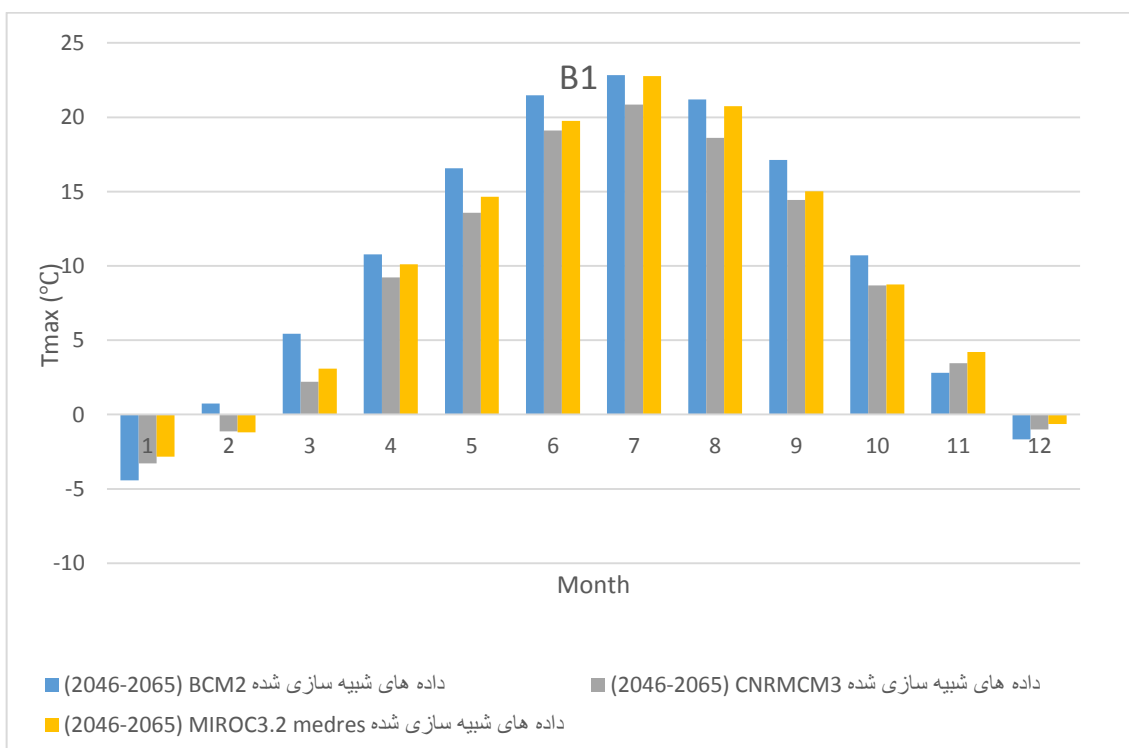
شکل ۴-۶۳: داده‌های دمای مینیمم مشاهداتی و GCM گذشته سه مدل اقلیمی تحت سه سناریو



شکل ۴-۶۴: داده‌های دمای مینیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو A2



شکل ۴-۶۵: داده‌های دمای مینیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو A1B



شکل ۴-۶۶: داده‌های دمای مینیمم شبیه‌سازی شده سه مدل اقلیمی تحت سناریو B1

جدول زیر میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 برای سه مدل اقلیمی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۶: میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه در دوره آینده نسبت به دوره گذشته

تحت سه سناریو برای سه مدل اقلیمی

Tmin (°C)	A2	A1B	B1
BCM2	4	4	3
CNRMCM3*	2	2	1
MIROC3.2 medres	2	3	2

علامت * نشان دهنده مدل منتخب برای متغیر دمای مینیمم در منطقه شمال شرق می‌باشد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵- فصل پنجم (نتیجه گیری و پیشنهادات)

۵-۱- نتیجه گیری

بخش کشاورزی از جمله بخش‌هایی است که به شدت در مقابل تغییر اقلیم آسیب پذیر است. تغییرات اقلیمی با تأثیرگذاری مستقیم بر فرآیندهای رشد و نمو گیاهان و نیز عوامل مرتبط در تولید کشاورزی به خصوص آب قابل دسترس خاک و افزایش تبخیر-تعرق گیاه، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در تولیدات کشاورزی به وجود می‌آورند. پیش‌بینی صحیح تغییر اقلیم، مهم‌ترین گام در مقابله یا کاهش اثرات منفی ناشی از تغییرات اقلیمی است و برای دستیابی به دقیق‌ترین پیش‌بینی، لازم است که ابتدا مناسب‌ترین مدل برای هر منطقه شناسایی شده و سپس اقدام به انجام پیش‌بینی شود. بر این اساس در پژوهش حاضر، چهار مدل گردش عمومی جو برای شش منطقه کشور که شامل شمال شرق، شمال، شمال غرب، مرکز، جنوب شرق و جنوب غرب می‌باشد، مورد آزمون قرار گرفت. با بررسی نتایج حاصل از شاخص‌های آماری محاسبه شده، یک مدل به عنوان توانمندترین مدل در شبیه‌سازی پارامترهای بارش، دمای ماکسیمم و مینیمم به طور جداگانه برای هر منطقه مشخص شد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که در یک منطقه لزوماً یک مدل یکسان، دقیق‌ترین پیش‌بینی را برای همه پارامترهای اقلیمی ارائه نمی‌دهد و ممکن است بهترین پیش‌بینی برای پارامترهای بارش، دمای ماکسیمم و مینیمم آن منطقه توسط مدل‌های مختلف ایجاد شود. برای مثال در منطقه شمال شرق برای پیش‌بینی متغیر بارش، مدل HadCM3، برای متغیر دمای ماکسیمم، مدل BCM2 و برای متغیر دمای مینیمم، مدل CNRMCM3 بهترین عملکرد را داشته‌اند. بر عکس ممکن است یک مدل توانایی برآورد هر سه متغیر بارش، دمای ماکسیمم و دمای مینیمم را برای یک منطقه داشته باشد که برای منطقه جنوب غرب این چنین بود و مدل BCM2 بهترین عملکرد را در هر سه مورد داشت.

اکنون به ارزیابی نتایج به دست آمده از خروجی مدل‌های اقلیمی منتخب برای هر منطقه پس از ریزمقیاس سازی تناسبی برای سه متغیر بارش، دمای ماکسیمم و دمای مینیمم تحت سه سناریو انتشار A2، A1B و B1 می‌پردازیم.

۵-۱-۱- ارزیابی بارش

الف - ایستگاه تربت‌حیدریه (منطقه شمال شرق)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف بارش سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲۷، -۳۴ و -۴ میلی‌متر می‌باشد که نشان می‌دهد هر سناریو رژیم بارش متفاوتی برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کند. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه فوریه مربوط به سناریو A2 و در فصل زمستان و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه جولای به طور مشترک در سناریوهای A1B و B1 در فصل تابستان می‌باشد.

ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف بارش سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲۰، -۳۷ و -۱۹ میلی‌متر می‌باشد که نشان می‌دهد هر سناریو رژیم بارش متفاوتی برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کند. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه نوامبر مربوط به سناریو A2 و در فصل پاییز و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه می و سناریو A2 در اواخر فصل بهار می‌باشد.

ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف بارش سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب -۵، -۳۳ و -۱۲

میلی‌متر می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو کاهش بارش سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند که با کاهش میزان بارندگی در این منطقه شاهد کاهش تراز آب در دهه‌های آینده خواهیم بود. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه آوریل مربوط به سناریو A2 و در فصل بهار و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه اوت و سناریو B1 در فصل تابستان می‌باشد.

د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف بارش سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۱، -۵ و -۱ میلی‌متر می‌باشد که نشان می‌دهد هر سناریو رژیم بارش متفاوتی برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کند. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه مارس به طور مشترک در سناریوهای A2 و B1 و در اوایل فصل بهار و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر که تقریباً صفر است در هر سه سناریو می‌باشد.

ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف بارش سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۳۰، +۷ و +۳۵ میلی‌متر می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش بارش سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند که با افزایش این میزان بارندگی در این منطقه که منطقه‌ای خشک و فاقد پوشش گیاهی مناسب است، سبب ایجاد سیلاب و باعث خسارات جانی و مالی می‌شود. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه مارس مربوط به سناریو A2 و در اوایل فصل بهار و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه سپتامبر و به طور مشترک در سناریوهای A2 و B1 در اواخر فصل تابستان می‌باشد.

و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف بارش سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۱، -۱ و -۵ میلی‌متر می‌باشد که نشان می‌دهد هر سناریو رژیم بارش متفاوتی برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کند. در دوره آتی بیشترین میزان بارش در ماه فوریه مربوط به سناریو A1B و در فصل زمستان و کمترین میزان بارش در دوره آتی مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر که تقریباً صفر است در هر سه سناریو می‌باشد.

با مطالعه ارزیابی‌های انجام شده متوجه می‌شویم بیشترین میزان بارش در اکثر مناطق در بین سه سناریو در اواخر زمستان و اوایل بهار تحت سناریو A2 صورت می‌گیرد و کمترین میزان بارش در اکثر مناطق در فصل تابستان تحت سناریوهای A2 و A1B می‌باشد. بارش سالانه در مناطقی که در دوره آتی مقدارش کم می‌شود، بر آینده مدیریت منابع آب در آن مناطق بسیار تأثیرگذار خواهد بود.

۵-۱-۲- ارزیابی دمای ماکسیمم

الف - ایستگاه تربت‌حیدریه (منطقه شمال شرق)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۱ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای ماکسیمم سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A2 و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۲ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای ماکسیمم سالانه را به یک میزان برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۳ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای ماکسیمم سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند که چون این منطقه، منطقه‌ای پر بارش از نظر بارش برف می‌باشد لذا افزایش دما در دهه‌های آینده در این منطقه سبب افزایش ریزش نزولات جوی به شکل باران به جای برف خواهد شد و پیش‌بینی می‌شود که نه تنها شاهد کاهش بارش نزولات جوی جامد باشیم، بلکه باید خود را برای کاهش تأثیرگذار در میزان ذخایر برفی کوهستانی نیز آماده کنیم. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه اوت مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۸۱-۱۹۹۹) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۳ و +۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای ماکسیمم

سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۹-۱۹۸۱) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۲ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای ماکسیمم سالانه را به یک میزان برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه ژوئن مربوط به سناریو A1B و در اوایل فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای ماکسیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۹-۱۹۸۱) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۱، +۲ و +۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای ماکسیمم سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای ماکسیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

با مطالعه ارزیابی‌های انجام شده متوجه می‌شویم که در همه مناطق و تحت هر سه سناریو انتشار دمای ماکسیمم افزایش می‌یابد و بیشترین میزان دمای ماکسیمم در اکثر مناطق در بین سه سناریو در تابستان تحت سناریو A1B صورت می‌گیرد و کمترین میزان دمای ماکسیمم در اکثر مناطق در فصل زمستان تحت سناریو B1 می‌باشد.

۵-۱-۳- ارزیابی دمای مینیمم

الف - ایستگاه تربت حیدریه (منطقه شمال شرق)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۹-۱۹۸۱) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۱ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای مینیمم سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A2 و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

ب - ایستگاه بابلسر (منطقه شمال)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۹-۱۹۸۱) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۲ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای مینیمم سالانه را به یک میزان برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه اوت مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

ج - ایستگاه تبریز (منطقه شمال غرب)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۹-۱۹۸۱) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۳ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای مینیمم سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای

مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

د - ایستگاه یزد (منطقه مرکز)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۹-۱۹۸۱) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۳، +۲ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای مینیمم سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

ه - ایستگاه ایرانشهر (منطقه جنوب شرق)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۹-۱۹۸۱) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۳ و +۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای مینیمم سالانه را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

و - ایستگاه آبادان (منطقه جنوب غرب)

طبق محاسبات انجام شده میزان اختلاف دمای مینیمم سالانه میانگین در دوره آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره گذشته (۱۹۹۹-۱۹۸۱) تحت سناریوهای A2، A1B و B1 به ترتیب +۲، +۲ و +۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان می‌دهد هر سه سناریو افزایش دمای مینیمم سالانه

را برای دوره آینده پیش‌بینی می‌کنند. در دوره آتی بیشترین میزان دمای مینیمم در ماه جولای مربوط به سناریو A1B و در فصل تابستان و کمترین میزان آن در دوره آتی مربوط به ماه ژانویه و سناریو B1 در فصل زمستان می‌باشد.

با مطالعه ارزیابی‌های انجام شده متوجه می‌شویم که در همه مناطق و تحت هر سه سناریو انتشار دمای مینیمم افزایش می‌یابد و بیشترین میزان دمای مینیمم در اکثر مناطق در بین سه سناریو در تابستان تحت سناریو A1B صورت می‌گیرد و کمترین میزان دمای مینیمم در اکثر مناطق در فصل زمستان تحت سناریو B1 می‌باشد.

۵-۱-۴- ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی مختلف و مقایسه با مدل اقلیمی

منتخب یک منطقه

در انتها به ارزیابی نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی مختلف و مقایسه با مدل اقلیمی منتخب یک منطقه (شمال شرق : ایستگاه تربت‌حیدریه) برای سه متغیر بارش، دمای ماکسیمم و دمای مینیمم تحت سه سناریو انتشار A2، A1B و B1 می‌پردازیم.

الف - ارزیابی بارش

همان طور که در شکل (۴-۵۵) مشاهده می‌شود نتایج حاصل از مدل HadCM3 همبستگی و تقریب بهتری نسبت به سه مدل دیگر برای داده‌های مشاهداتی گذشته می‌دهد.

ب - ارزیابی دمای ماکسیمم

همان طور که در شکل (۴-۵۹) مشاهده می‌شود نتایج حاصل از مدل BCM2 همبستگی و تقریب بهتری نسبت به دو مدل دیگر برای داده‌های مشاهداتی گذشته می‌دهد.

ج - ارزیابی دمای مینیمم

همان طور که در شکل (۴-۶۳) مشاهده می‌شود نتایج حاصل از مدل CNRMCM3 همبستگی و تقریب بهتری نسبت به دو مدل دیگر برای داده‌های مشاهداتی گذشته می‌دهد.

۵-۲- پیشنهادها

با عنایت به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود که

۱ - در همه مطالعاتی که با هدف انجام پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم و یا بررسی اثرات آن در مناطق مختلف صورت می‌گیرد، ابتدا نسبت به انتخاب مدل بهینه آن منطقه به طور جداگانه برای همه پارامترهای مورد بررسی اقدام شود تا نتایج هرچه واقعی‌تر جهت ارائه به بخش‌های اجرایی حاصل شود.

۲ - در این تحقیق از روش ریزمقیاس‌نمایی تناسبی برای بررسی اثرات تغییر اقلیم به کار گرفته شده است، خوب است روش‌های آماری و دینامیکی را هم زمان مورد استفاده قرار داده و توانمندی این دو روش نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۳ - از آنجایی که مراحل ریزمقیاس کردن داده‌ها امری وقت‌گیر می‌باشد، توصیه می‌شود تا داده‌های مدل گردش عمومی جو برای محدوده ایران توسط سازمان هواشناسی یا مرکز اقلیم‌شناسی ایران و یا دیگر مراکز مربوطه ریزمقیاس شوند تا محققان بتوانند به راحتی از داده‌های ریزمقیاس شده هر مدل استفاده کنند.

۴ - می‌توان با شناخت تغییر اقلیم و اثرات آن بر تغییر بارش راهکارهای مناسبی در بخش‌های مختلف و به صورت مدیریت‌های زراعی، مدیریت‌های منابع آبی و مدیریت‌های آبیاری اعمال نمود.

۵ - پیشنهاد می‌شود با استفاده از نتایج حاصل از مدل و پیش‌بینی‌های صورت گرفته تصمیمات راهبردی در زمینه ذخیره بارش‌ها اعمال شود و در فصولی که افزایش بارش پیش‌بینی شده راهکارهایی اعمال شود که بارش در فصولی که نیاز به منابع آب بیشتری است ذخیره شود.

فصل ششم

منابع

٦- فصل ششم (منابع)

- [١] IPCC. Available: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/figure-3-1.html
- [٢] Y. Zhao, C. Wang, S. Wang, and L. V. Tibig, "Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the humid and sub-humid tropics" in *Increasing Climate Variability and Change*, ed: Springer, 2005, pp. 73-116.
- [٣] R. L. Wilby and I. Harris, "A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK" *Water Resources Research*, vol. 42 ,2006.
- [٤] N. Christensen and D. P. Lettenmaier, "A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin" *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, vol. 3, pp. 3727-3770 ,2006.
- [٥] C. Maxino, B. McAvaney, A. Pitman, and S. Perkins, "Ranking the AR4 climate models over the Murray-Darling Basin using simulated maximum temperature, minimum temperature and precipitation" *International Journal of Climatology*, vol. 28, pp .1097-1112 ,2008.
- [٦] J. P. Evans, "21st century climate change in the Middle East" *Climatic Change*, vol. 92, pp. 417-432, 2009.
- [٧] 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.
- [٨] 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.
- [٩] A. Ramaraj, R. Jagannathan, and G. Dheebakaran, "Assessing Predictability of PRECIS Regional Climate Model for Downscaling of Climate Change Scenarios" in *Proceedings of the ISPRS Archives XXXVIII-8/W3 Workshop : Impact of Climate Change on Agriculture*, 2009.
- [١٠] R. Guo, Z. Lin, X. Mo, and C. Yang, "Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain" *Agricultural Water Management*, vol. 97, pp. 1185-1194, 2010.
- [١١] D. Raje and P. Mujumdar, "Reservoir performance under uncertainty in hydrologic impacts of climate change" *Advances in Water Resources*, vol. 33, pp. 312-326, 2010.

- [۱۲] M. A. Semenov and P. Stratonovitch, "Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts" *Climate research*, vol. 41, pp. 1-14, 2010.
- [۱۳] M. Nóbrega, W. Collischonn, C. Tucci, and A. Paz, "Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil" *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 15, pp. 585-595, 2011.
- [۱۴] M. Sunyer, H. Madsen, and P. Ang, "A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change" *Atmospheric Research*, vol. 103, pp. 119-128, 2012.
- [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، "پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه کشف رود استان خراسان طی سه دوره آماری ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰، ۲۰۹۹-۲۰۷۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (ASD) خروجی مدل HadCM3 اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، ۱۳۸۹.
- [۱۷] ب. اشرف، م. موسوی بایگی، غ. کمالی و ک. داوری، "بررسی روند تغییر پارامترهای اقلیمی مشهد در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی 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 حوزه‌های مناطق خشک مطالعه موردی: حوزه رودخانه اعظم هرات - یزد" چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۰.
- [۱۹] ر. جاهد، ن. جلال کمالی و ح. بابازاده، "صحت‌سنجی عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو (AOGCM) در شبیه‌سازی داده‌های دما در منطقه کرمان" اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، ۱۳۹۰.
- [۲۰] ف. ا. هاشمی نسب، س. م. موسوی بایگی، ب. بختیاری و ک. داوری، "پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰۲۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل ریزمقیاس‌کننده و مدل گردش عمومی جو (مطالعه موردی: شهر کرمان)" یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۳۹۰.
- [۲۱] س. پورمحمدی و م. رحیمیان، "بررسی خشک‌سالی چند ایستگاه مهم ایران مرکزی تحت تأثیر عدم قطعیت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در سه دهه آینده" اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، ۱۳۹۰.
- [۲۲] 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.

- [۲۳] 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.
- [۲۴] م. قدمی دهنو و س. نادری دره شوری، "مقایسه دو مدل ECHAM5OM و ECHO-G در پیش‌بینی بارش با ریزمقیاس نمایی تناسبی و عامل تغییر مطالعه موردی : غرب ایران" همایش ملی مهندسی عمران، معماری و مدیریت پایدار شهری، ۱۳۹۳.
- [۲۵] ا. دانه دزفولی، ن. ظهراپی و م. محمدی روزبهانی، "مطالعه عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو در شبیه‌سازی متغیر دما در ایستگاه‌های اهواز و آبادان" همایش تغییر اقلیم و راهی به سوی آینده پایدار، ۱۳۹۳.
- [۲۶] آ. بیاتی آبی و م. توکلی، "پیش‌بینی تغییر اقلیم با استفاده از مدل گردش عمومی هوا در ایستگاه خرم‌آباد" همایش تغییر اقلیم و راهی به سوی آینده پایدار، ۱۳۹۳.
- [۲۷] ن. مجیدی راد، م. عارف و گ. ص. محمدی، "پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر روند خشک‌سالی و ترسالی شمال غرب ایران" کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، ۱۳۹۳.

Abstract

One of the biggest problems and challenges of men in 21st century is climate change. In this regard, climate scenarios should be developed to forecast climate situations in future. Yet the most important tools for developing such scenarios are Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM). Due to the importance of these versatile models, the choice of the best model for studied regions is of great concern. Therefore in this research, four GCM models as BCM2, CNRMCM3, MIROC3.2 and HadCM3 are chosen among the climate models. Selection criterion of the first three models is network similarity and as for HadCM3 model are dimensional analogy with the three models and excessive usage in climate researches. Performance test and verification of these models for data simulation of three parameters: precipitation, maximum and minimum temperature in six regions as north-east, north, north-west, center, south-east and south-west of Iran in the past (1981-1999) are investigated using performance factors R^2 , RMSE and Nash-Sutcliffe coefficient. Then for each region, the optimized model is selected and for these three aforementioned parameters, the effect of climate change on precipitation, maximum and minimum temperature for each region of country is studied according to the selected model using proportional downscaling method with emission scenarios A2, A1B and B1 in future era (2046-2065). Results show that maximum precipitation amount in future in most regions among first three scenarios occurs at the end of winter and beginning spring with A2 scenario and minimum precipitation amount occurs in most regions in summer with A2 and A1B scenarios. Maximum and minimum temperature of all regions with these three scenarios increase as well.

Keyword: Climate change, GCM, Proportional downscaling



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Water Engineering

**Evaluation of Climate Change's Effect on Precipitation and
Temperature in Different Parts of Iran**

By: Mohammad Bazrafshan Moghaddam

Supervisor:

Dr Saeed Golian

September 2016