سازمان هواشناسی کشور

آشکارسازی، ارزیابی اثرات و چشم انداز تغییر اقلیم در ایران طی قرن بیست و یکم

دفتر مرجع ملی هیات بین الدولی تغییر اقلیم (IPCC)

پژوهشکده اقلیم شناسی – مشهد

با همکاری:

مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران

پژوهشکده هواشناسی

ویرایش ۱۳۹۶/۸/۲۳

فهرست مطالب

فصل	موضوع	صفحه
	چکیده	۳
۱	**هیات بین الدولی تغییر اقلیم** (IPCC)	۶
۲	**تغییر اقلیم رخ داده**	۸
	۲-۱- دما	۸
	۲-۲- بارش	۱۰
	۲-۳- خشکسالی	۱۱
	۲-۴- سایر متغیرها	۱۳
۳	**چشم انداز تغییر اقلیم**	۱۴
	۳-۱- بارش	۱۴
	۳-۲- دما	۲۰
۴	**پیامدها و روش های سازگاری**	۲۶
	۴-۱-پیامدها	۲۶
	۴-۲-روش های سازگاری	۳۶
	۴-۳-فرصت ها	۳۷
۵	**منابع**	۳۹
۶	**پیوست‌ها**	۴۰
	پیوست ۱: معرفی مختصر سناریوهای RCP	۴۰
	پیوست۲: مشخصات مدل‌های مورد استفاده	۴۳

چکیده

گرمایش جهانی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری اراضی، موجب تغییرات آشکاری در فراسنج‌های اقلیمی ایران شده است. افزایش دما، کاهش بارش و افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های مخرب جوی-اقلیمی در کشور به ویژه در دو دهه اخیر، از آن جمله هستند. در ۴۹ سال اخیر (۱۳۹۵-۱۳۴۷) میانگین دمای کشور با شیبی حدود ۰/۴ درجه سلسیوس بر دهه افزایش یافته است. در برخی ایستگاههای کشور، نرخ افزایشی دمای کمینه تا ۴ برابر بیش از نرخ افزایشی دمای بیشینه به ثبت رسیده است. این وضعیت در کلان شهرهای رو به توسعه همچون تهران، اصفهان و شیراز به سبب شکل‌گیری پدیده جزیره گرمایی بارزتر است. بررسی داده‌های دمایی ثبت شده در ۳۳ ایستگاه سازمان هواشناسی کشور که دارای آمار بلندمدت هستند نشان از روند گرمایش معنی دار در دوره ۵۴ ساله (۱۳۹۳-۱۳۴۰) دارد. در ۸۸ درصد ایستگاه‌ها، گرمترین دمای کمینه افزایش معنی داری داشته است. در ۳۹ و ۷۳ درصد ایستگاه‌ها، روند گرمایش معنی‌داری به ترتیب در روزهای یخبندان (دمای کمینه زیر صفر درجه سلسیوس) و شب‌های حاره‌ای (دمای بیشینه بیش از ۲۰ درجه سلسیوس) رخ داده است. همچنین، تفاوت شبانه روزی دما (اختلاف بین دمای بیشینه و کمینه) با آهنگ ۱/۹۵ درجه سلسیوس بر دهه کاهش می‌یابد که با افزایش سریع‌تر دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه در ایستگاه‌های کشور سازگار است.

تغییرات بارش در دوره مورد بررسی نشان از کاهش آن با شیب ۱۱ میلیمتر بر دهه دارد. بارش در شمال غرب و غرب کشور به شکل معنی داری کاهش یافته است. افزون بر این، تبخیر و تعرق پتانسیل (نیاز آبی بالقوه) با شیب ۵۴ میلیمتر بر دهه افزایش یافته است. از سال ۱۳۸۴ تاکنون نمایه خشکسالی دهه‌ای کشور منفی بوده و از آن زمان تاکنون کشور با خشکسالی انباشت شده مواجه بوده است. تعداد ساعات آفتابی به طور میانگین ۱۱ ساعت بر سال افزایش یافته است. میانگین سرعت باد در بسیاری از نقاط کشور علی الخصوص در شهرهای بزرگ، علاوه بر نوسانات شدید دارای روند کاهشی نیز بوده است. اثرات گسترش شهرها و ساخت و سازها بر کاهش سرعت باد و سایر پارامترهای اقلیمی آشکار است.

- **چشم انداز تغییر اقلیم**

چشم انداز تغییر اقلیم کشور تا انتهای قرن ۲۱ میلادی با استفاده از سناریوهای گزارش پنجم هیات بین‌الدولی تغییراقلیم (IPCC)[1]، در سازمان هواشناسی کشور شبیه سازی شده است. به استثنای سناریوی خوشبینانه RCP2.6[2] در سه سناریوی دیگر، میانگین بارش از مدیترانه تا افغانستان کاهش می‌یابد. درصورت عدم پایبندی کشورها به توافقنامه سال ۲۰۱۵ تغییر آب و هوای پاریس (COP21)، کاهش بارش در غرب ایران تا ۲۰ درصد و در سوریه، اردن، فلسطین و عراق تا ۳۰ درصد در مقایسه با بلندمدت خواهد بود. افغانستان و بخش‌هایی از شرق ایران نیز تا ۲۰

1Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
[2] Representative Concentration Pathways

درصد کاهش بارش را تجربه خواهند کرد. کاهش بارش و خشکسالی از دهه ۲۰۵۰ در مقایسه با وضعیت فعلی، تشدید می‌شود. درصورت عدم پایبندی به توافقنامه پاریس، میانگین دمای کشور حدود ۵/۲ و درصورت پایبندی به آن ۱/۳ درجه سلسیوس نسبت به دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ افزایش می‌یابد. از نظر منطقه‌ای بیشترین کاهش بارش به ترتیب در منطقه زاگرس و شمال غرب رخ خواهد داد. منطقه زاگرس علاوه بر بیشترین کاهش بارش با بیشترین افزایش دما نیز مواجه خواهد شد. تنها منطقه‌ای که احتمال افزایش بارش در آن وجود دارد، جنوب شرق کشور است ولی رفتار بارش‌ها در این منطقه به صورت ناگهانی و سیل آسا خواهد بود. شرایط اقلیمی فوق الذکر ایجاب می‌کند که ایران ضمن حضور فعال در توافقنامه پاریس، مطالبه‌گری خود برای تبعاتی که گرمایش جهانی در کشور ایجاد کرده است را از جامعه جهانی داشته باشد.

➢ پی‌آمدها تغییر اقلیم

گرمایش جهانی پی‌آمدهایی مانند افزایش رخداد مخاطرات جوی-اقلیمی، وقوع بارش‌های سنگین و غیرمترقبه (علیرغم کاهش کلی میانگین بارش)، افزایش رخداد توفان، کاهش عملکرد محصولات زراعی و باغی، کاهش امنیت غذایی، حذف یا جایجایی شمال‌سوی برخی گونه‌های جانوری و گیاهی، افزایش انواع بیماریهای انسان، دام و گیاه، کاهش تنوع زیستی و موجودات دریایی، کاهش چشمگیر پهنه‌های اقلیم مرطوب و افزایش اقلیم خشک کشور، افزایش روند بیابانزایی، کاهش کیفیت شاخص زیست اقلیمی و کم رونق شدن گردشگری، افزایش بیماری‌های مناطق گرمسیری مانند مالاریا، افزایش ریسک سرمایه گذاری در بخش‌های کشاورزی، افزایش هزینه حوادث غیرمترقبه، بی‌اعتمادی به برنامه ریزی و بودجه سالانه و همچنین افزایش مهاجرت از مناطق در معرض مخاطرات اقلیمی را در کشور به دنبال خواهد داشت.

➢ فرصت‌های تغییر اقلیم

علیرغم چالش‌ها و پیامدهای زیانبار تغییر اقلیم، می‌توان با مدیریت صحیح از برخی فرصت‌های آن در جهت رشد اقتصادی و افزایش تعاملات بین المللی به شرح زیر استفاده کرد:

۱- تبدیل ایران به قطب بین المللی تولید انرژی پاک با استفاده از منابع عظیم انرژی خورشیدی در مناطق مرکزی و جنوبی کشور. شایان گفتن است هم اکنون کشورهای اروپایی در شمال آفریقا (مانند مراکش که بزرگترین مزرعه انرژی خورشیدی جهان را راه اندازی کرده است) با ایجاد مزارع/ نیروگاه‌های خورشیدی، انرژی برق تولیدی را از طریق بستر مدیترانه به اروپا منتقل می‌کنند. کشور عربستان نیز درحال سرمایه‌گذاری کلان در این بخش است.

۲- جایگزین کردن انرژی‌های باد، امواج دریا و به ویژه انرژی خورشیدی که سبب می‌شود تا سوخت‌های فسیلی برای مصارفی غیر از تولید انرژی (مانند صنعت پتروشیمی، ...) استفاده شده و تا حدی نیز برای نسل‌های آینده ذخیره گردد که پیامد آن کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد.

۳- حرکت به سوی اقتصاد بدون نفت. مطابق پیش‌بینی‌ها، در سناریوی RCP2.6 تقاضای جهانی نفت تا سال ۲۰۳۰ به یک چهارم مقدار کنونی کاهش خواهد یافت، چنین وضعیتی در صورت عدم برنامه‌ریزی صحیح می‌تواند تهدیدی برای اقتصادهای وابسته به نفت باشد.

۴- برنامه‌ریزی و حمایت از شرکت‌های دانش بنیان برای ارتقاء دانش و فنآوری‌های نوین در تولید انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، امواج دریا، باد و زمین‌گرمایی و صدور محصولات یاد شده.

۵- برنامه‌ریزی برای تغییر تدریجی رژیم غذایی کشور در راستای کاهش یا حذف محصولات دارای محدودیت اقلیمی.

۶- تولید دانش سازگاری با اقلیم و ایجاد رشته‌های تحصیلی مرتبط با «مهندسی اقلیم» با هدف بهبود سیستم‌ها در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سیستم‌های با بهره وری بالای انرژی و رهبری علمی در منطقه.

۷- امکان کشت دوم برخی محصولات با توجه به تغییر رژیم دمایی و کاهش یا حذف روزهای یخبندان در برخی مناطق کشور.

- **رئوس برنامه‌های بنیادی برای سازگاری با تغییر اقلیم**

- تدوین قانون افزایش تاب‌آوری و سازگاری با تغییر اقلیم و تدوین احکام آن در برنامه‌های توسعه ۵ ساله.
- تشویق و پشتیبانی دولت از صنعت بیمه.
- تدوین سیاست‌های جدید کشت و برنامه جامع سازگاری با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی.
- ایجاد سامانه ملی پایش و پیش‌نگری حسابداری آب با هدف به روزرسانی خودکار بیلان آبی برای بهره برداری صحیح در مدیریت منابع آب.
- اجرای بند ۷ و ۸ سیاست‌های کلان نظام (مصوبه مجمع تشخیص مصلحت نظام) برای شناسایی بلایای جوی و اقلیمی و پیش‌بینی آنها.
- اجرای سیاست‌های کلان زیست‌محیطی در راستای افزایش مقاومت اقتصاد کشور به تغییر اقلیم.
- بکارگیری سیاست‌های توسعه‌ای جایگزین کشاورزی و باغداری در مناطق روستایی متأثر از خشکسالی و تغییر اقلیم، مانند حمایت از توسعه صنایع کوچک در مناطق روستایی جهت جلوگیری از مهاجرت روستائیان.
- حمایت از برنامه‌های آبخیزداری، حفظ، احیاء، اصلاح و بهره‌برداری اصولی از منابع طبیعی.
- تدوین بسته‌های حمایتی از بیمه بلایای جوی-اقلیمی.
- اجرا و عملیاتی کردن سامانه‌های نوین هشدار مخاطرات جوی و اقلیمی.
- بازنگری در استانداردها و دستورالعمل‌های مهندسی آب، عمران و طراحی تاسیسات زیرساختی.
- توسعه همکاری‌ها و تعاملات بین‌المللی جهت کاهش پیامدهای زیانبار تغییر اقلیم.
- مدیریت تغییر اقلیم از طریق تدوین برنامه‌ها برای تبدیل چالش‌ها و تهدیدات به فرصت.

۱– هیات بین الدولی تغییر اقلیم

هیات بین الدولی تغییر اقلیم (IPCC) به طور مشترک توسط سازمان هواشناسی جهانی(WMO[1]) و برنامه محیط زیست سازمان ملل(UNEP[2]) در سال ۱۹۸۸ تاسیس شد. IPCC تنها نهاد سازمان ملل متحد است که مسئولیت علمی بررسی تغییر اقلیم را به عهده دارد و گزارش‌های آن مبنای تصمیمات سازمان ملل قرار می‌گیرد. مقر این هیات در محل دائمی سازمان هواشناسی جهانی در ژنو (سوئیس) است. IPCC از ۳ گروه کاری و یک گروه ویژه تشکیل شده است که عبارتند از:

- گروه کاری مبانی علمی تغییر اقلیم
- گروه کاری اثرات، سازگاری و آسیب پذیری تغییر اقلیم
- گروه کاری کاهش اثرات تغییر اقلیم
- گروه ویژه فهرست ملی گازهای گلخانه‌ای

دفتر IPCC از ۳۴ عضو تشکیل شده است که اعضای آن از بین کشورهای عضو سازمان ملل انتخاب می‌شوند. ریاست این هیات در حال حاضر به عهده کره جنوبی است. ۱۹۵ کشور جهان عضو IPCC هستند و سازمان هواشناسی کشور مرجع ملی IPCC در ایران می‌باشد.

این هیات در طی ۲۹ سال فعالیت خود پنج گزارش ارزیابی در رابطه با تغییر اقلیم تهیه کرده است. در گزارش پنجم (AR5[3]) که مبنای تصمیمات توافقنامه تغییر آب و هوای پاریس(COP21) قرار گرفت، تاکید شده است که دمای کره زمین نسبت به دوره پیش از انقلاب صنعتی حدود یک درجه سلسیوس افزایش یافته است. در کنفرانس پاریس تصمیم گرفته شد که از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ نسبت به پیش از دوره انقلاب صنعتی، زیر ۲ درجه نگه داشته شود و ترجیحا به ۱,۵ درجه محدود گردد. مطابق توافقنامه پاریس، از IPCC درخواست شد تا گزارش علمی از اثرات ۱,۵ درجه افزایش دما(SR1.5[4]) را تا شهریور ۱۳۹۷ تهیه نماید. همچنین در نشست‌های کنیا(۲۰۱۶) و تایلند(۲۰۱۷)، IPCC تصمیم به انتشار گزارش‌های ویژه موضوعی گرفته شد. در نتیجه در دوره فعلی فعالیت IPCC علاوه بر تهیه گزارش ارزیابی ششم تغییر اقلیم(AR6)، سه گزارش ویژه افزایش ۱,۵ درجه(SR1.5)، اثر تغییر اقلیم بر بیابانزایی و . . . (SRCCL)، اثر تغییر اقلیم بر اقیانوس و . . . (SROCC) و تصحیح راهنمای فهرست گازهای گلخانه‌ای تهیه خواهد شد. عناوین کامل گزارش‌های ویژه در دست تهیه IPCC عبارتند از:

---

[1] World Meteorological Organization

[2] United Nations Environmental Program

[3] Fifth Assessment Report

[4] Special Report on impacts of 1.5 global warming above pre-industrial level

- SR1.5: Impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
- SROCC: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)
- SRCCL: Special Report on Climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems
- 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, including producing a Methodology Report in order to update and supplement the 2006 IPCC Guidelines

سازمان هواشناسی کشور همچون گذشته همواره با IPCC همکاری داشته و در دوره دولت یازدهم ضمن مکاتبه و معرفی افراد داوطلب برای تهیه گزارش ششم و گزارش‌های ویژه، اقداماتی هم برای آشکارسازی تغییر اقلیم و تهیه چشم انداز آن در دهه‌های آینده کرده است. در این دوره فعالیت IPCC ایران در بالاترین سطح علمی با دو نفر از اعضای هیات علمی دانشگاه‌ها در تهیه گزارش‌ها مشارکت دارد:

- دکتر محمد بنایان، دانشیار کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، عضو کمیته هدف گذاری AR6
- دکتر محمد رحیمی، دانشیار اقلیم شناسی، دانشگاه سمنان، یکی از سرویراستاران گزارش ویژه تغییر اقلیم، بیابانزایی، امنیت غذایی و ... (SRCCL)

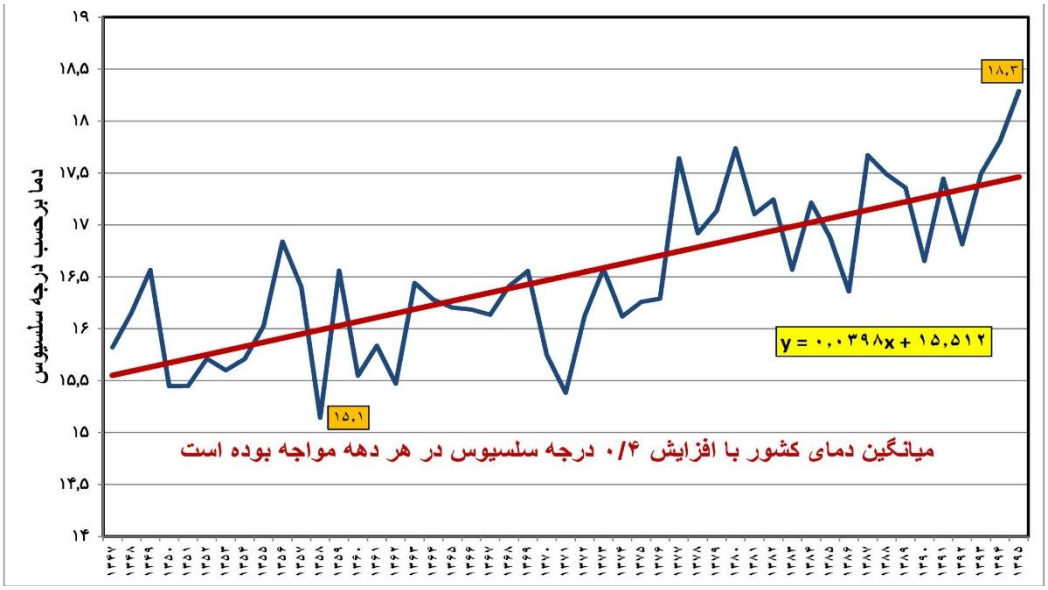
دفتر مرجع ملی هیات بین الدولی تغییر اقلیم متقاضیان دیگری از دانشگاه‌ها، مراکز علمی و دستگاه‌های اجرایی را به IPCC معرفی نموده است که نتیجه آنها طی ماههای آینده اعلام می‌شود.

دفتر مرجع ملی IPCC گزارشی از تغییراقلیم رخ داده، چشم انداز و پیامدها را در سال ۱۳۹۴ منتشر کرده است. اعضای این دفتر در کارگروههای مختلف سازمان هواشناسی جهانی، برنامه جهانی خدمات اقلیمی و کمیسیون اقلیم شناسی سازمان هواشناسی جهانی عضو هستند.

۲–تغییر اقلیم رخداده

۲–۱– دما

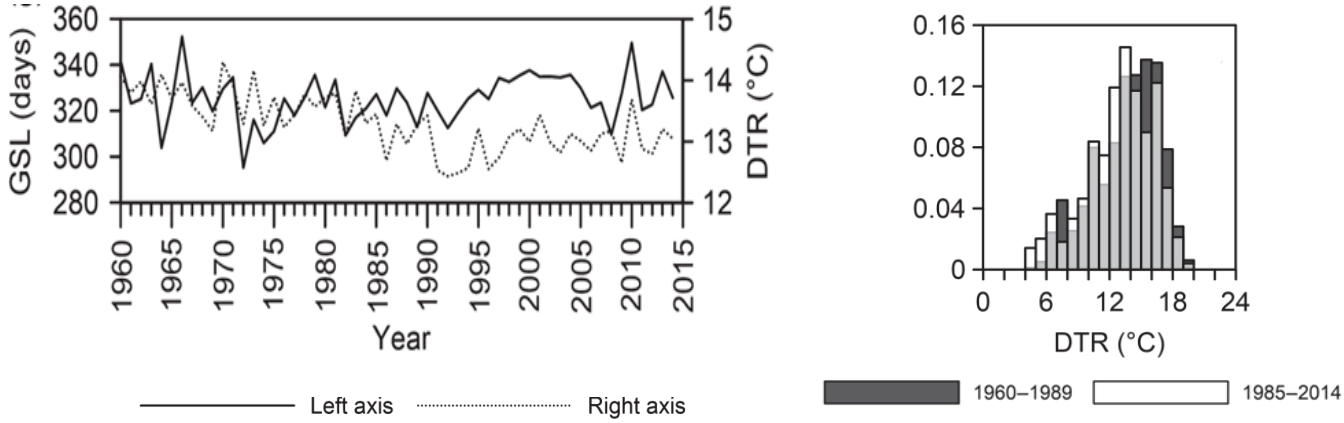
در ۴۹ سال اخیر (۱۳۹۵-۱۳۴۷) میانگین دمای کشور با شیب حدود ۰/۴ درجه سلسیوس بر دهه افزایش یافته است. در برخی ایستگاه‌های کشور، نرخ افزایشی دمای کمینه تا ۴ برابر بیش از نرخ افزایشی دمای بیشینه می-باشد(شکل ۱). این وضعیت در کلان شهرهای رو به توسعه چون تهران، اصفهان و شیراز به سبب شکل‌گیری پدیده جزیره گرمایی بارزتر است. بخش عمده‌ای از بیشتر بودن افزایش دمای کمینه ناشی از شکل‌گیری جزیره گرمایی در شهرهای پرجمعیت و صنعتی است. در مقیاس سالانه بخش جنوبی، شمال شرقی و همچنین نواحی شمال غربی دامنه البرز شامل استان تهران شاهد افزایش بیشتر دمای کمینه در دوره مورد بررسی بوده‌اند. ایستگاه‌های واقع در اطراف رشته کوه زاگرس، شمال غرب کشور و سواحل شرقی دریای خزر نسبت به سایر مناطق از افزایش کمتر دمای کمینه برخوردار بوده‌اند. دمای بیشینه سالانه نیز در قسمت اعظم کشور به جز غرب دریای خزر، دامنه شرقی زاگرس و خراسان جنوبی روند افزایشی داشته است. اما نرخ افزایشی آن کمتر از دمای کمینه بوده است. از بررسی روند خطی دو پارامتر دمای کمینه و بیشینه در دوره اقلیمی ۲۰۰۵-۱۹۶۰ ملاحظه می‌شود که میانگین سالانه و فصلی دمای کمینه و بیشینه در تعداد قابل ملاحظه‌ای از ایستگاه‌های هواشناسی افزایشی بوده است. با این تفاوت که نرخ افزایشی دمای بیشینه اغلب ایستگاه‌ها کمتر از نرخ افزایشی دمای کمینه است. نتایج نشان می‌دهند که روندهای افزایشی پارامترهای فوق در شهرهای رو به توسعه چون تهران، اصفهان و شیراز بارزتر است. با توجه به تفاوت نرخ روند دمای کمینه و بیشینه، دامنه تغییرات شبانه روزی دما در اغلب نقاط کشور کاهش یافته است.



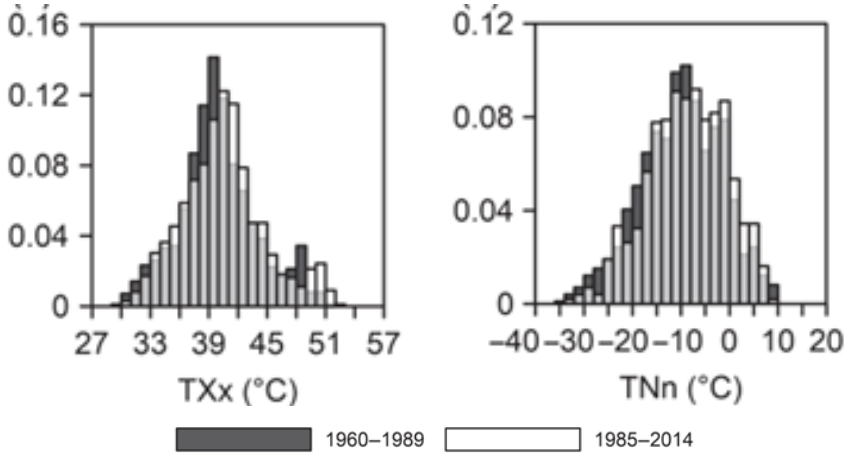
شکل۱-روند افزایش میانگین دمای سالانه کشور در دوره ۱۳۹۵-۱۳۴۷ (از: مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران)

بررسی داده‌های دمای ثبت شده در ۳۳ ایستگاه سازمان هواشناسی کشور دارای آمار بلندمدت ۵۴ ساله (۲۰۱۴-۱۹۶۱)، نشان از روند گرمایش قابل توجه در سطح کشور دارد. در ۸۸ و ۴۲ درصد ایستگاه‌ها، روند گرمایش معنی داری به ترتیب در دمای گرمترین شب (بیشترین دمای کمینه) و سردترین شب (کمترین دمای کمینه) رخ داده

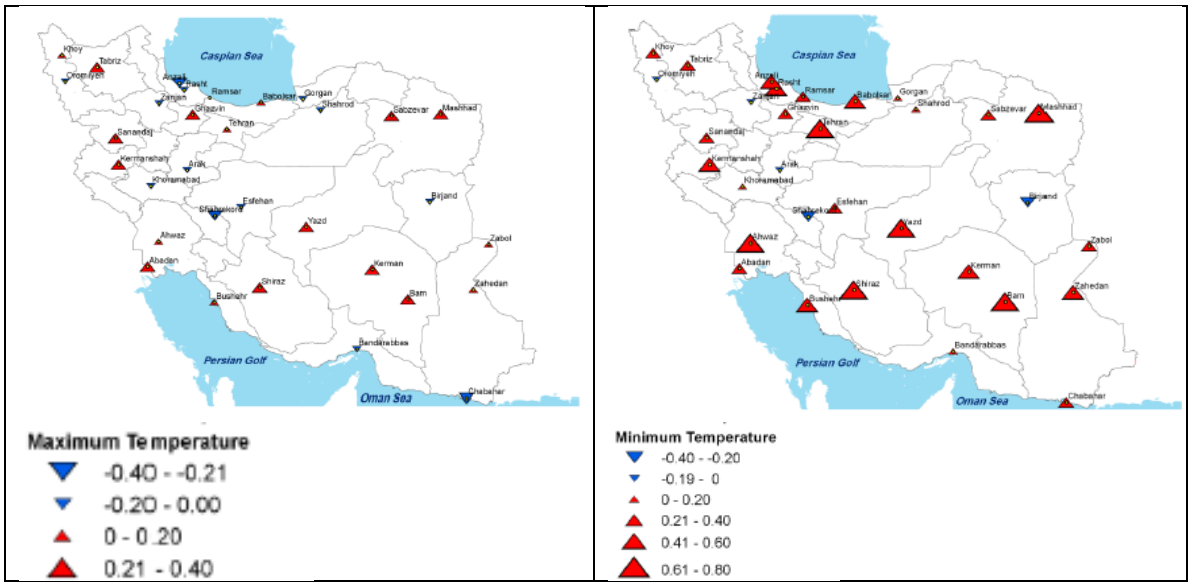
است. در ۳۹/۴ و ۷۲/۷ درصد ایستگاه‌ها، روند گرمایش معنی داری به ترتیب در روزهای یخبندان (دمای کمینه زیر صفر درجه سلسیوس) و شب‌های حاره‌ای (دمای کمینه بیش از ۲۰ درجه سلسیوس) رخ داده است. همچنین تفاوت شبانه روزی دما (اختلاف بین دمای بیشینه و کمینه) با آهنگ ۱/۹۵ درجه سلسیوس بر دهه کاهش می‌یابد که با افزایش سریعتر دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه در ایستگاه‌های کشور سازگار است. شکل ۲ نشان می‌دهد که هیستوگرام تفاوت شبانه روزی دما در ۳۰ سال اخیر به سمت مقادیر کم (سمت چپ محور) جابجا شده است (رحیمی و حجابی، ۲۰۱۷).



شکل۲-روند کاهش تغییرات شبانه روزی دمای کشور (تفاوت بین دمای بیشینه و کمینه)



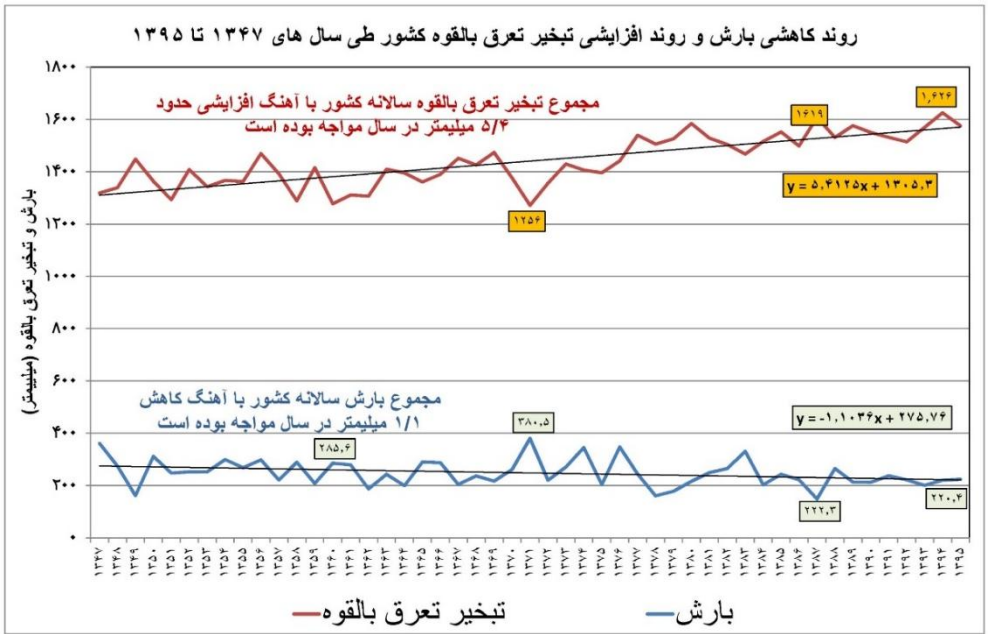
شکل۳-جابجایی هیستوگرام توزیع دماهای گرمترین روز سال (چپ) و سردترین شب سال (راست) به سمت دماهای گرم



شکل۴-روند افزایش دمای ایستگاههای هواشناسی کشور (درجه سلسیوس بر دهه) در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱، راست: دمای کمینه و چپ: دمای بیشینه.

۲-۲- بارش

بررسی بارش در دوره ۱۳۹۵-۱۳۴۷ نشان از کاهش آن با شیب حدود ۱۱ میلیمتر بر دهه دارد. بارش در شمال غرب و غرب کشور به شکل معنی داری کاهش یافته است. افزون بر این، تبخیر و تعرق پتانسیل (نیاز آبی بالقوه) با شیب ۵۴ میلیمتر بر دهه افزایش یافته است (شکل۵).



شکل۵-روند کاهشی بارش و افزایشی تبخیر و تعرق بالقوه کشور در دوره ۱۳۹۵-۱۳۴۷ (از: مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران)

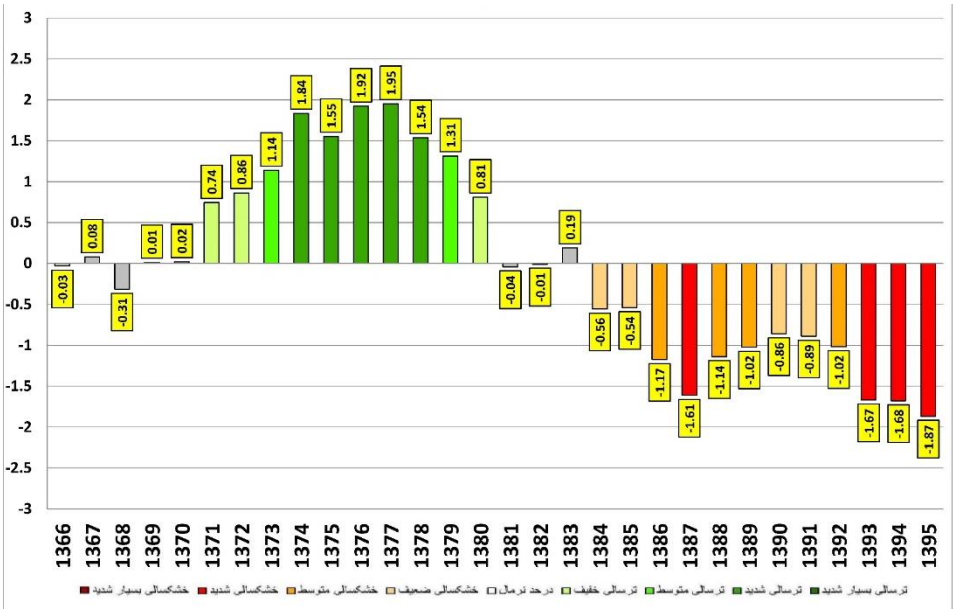
در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۰، کاهش بارش در محدوده غرب کشور و ناحیه بین شمال غرب تا غرب ناحیه خزری بارزتر از سایر نواحی است. همچنین بارش در شمال غرب و غرب کشور به شکل معنی داری کاهش داشته است در بخش-های جنوب شرق و شرق کاهش بارش در مقیاس سالانه مشهود و در محدوده ۲۵-۰ میلیمتر در ۵۰ سال گذشته بوده که این مقدار کاهش با توجه به میانگین بارش کم در این منطقه قابل توجه است. از دیگر نقاطی که کاهش بارش در

آن محسوس است قسمت غربی دریای خزر است. در سایر نقاط کشور افزایش بارش بین ۱۰-۰ میلیمتر در دهه مشاهده می‌شود. مقدار بارش در فصل بهار تقریباً در تمام کشور کاهش یافته است علاوه بر آن بارش بهاری از شمال غرب کشور به سمت داخل در امتداد رشته کوه

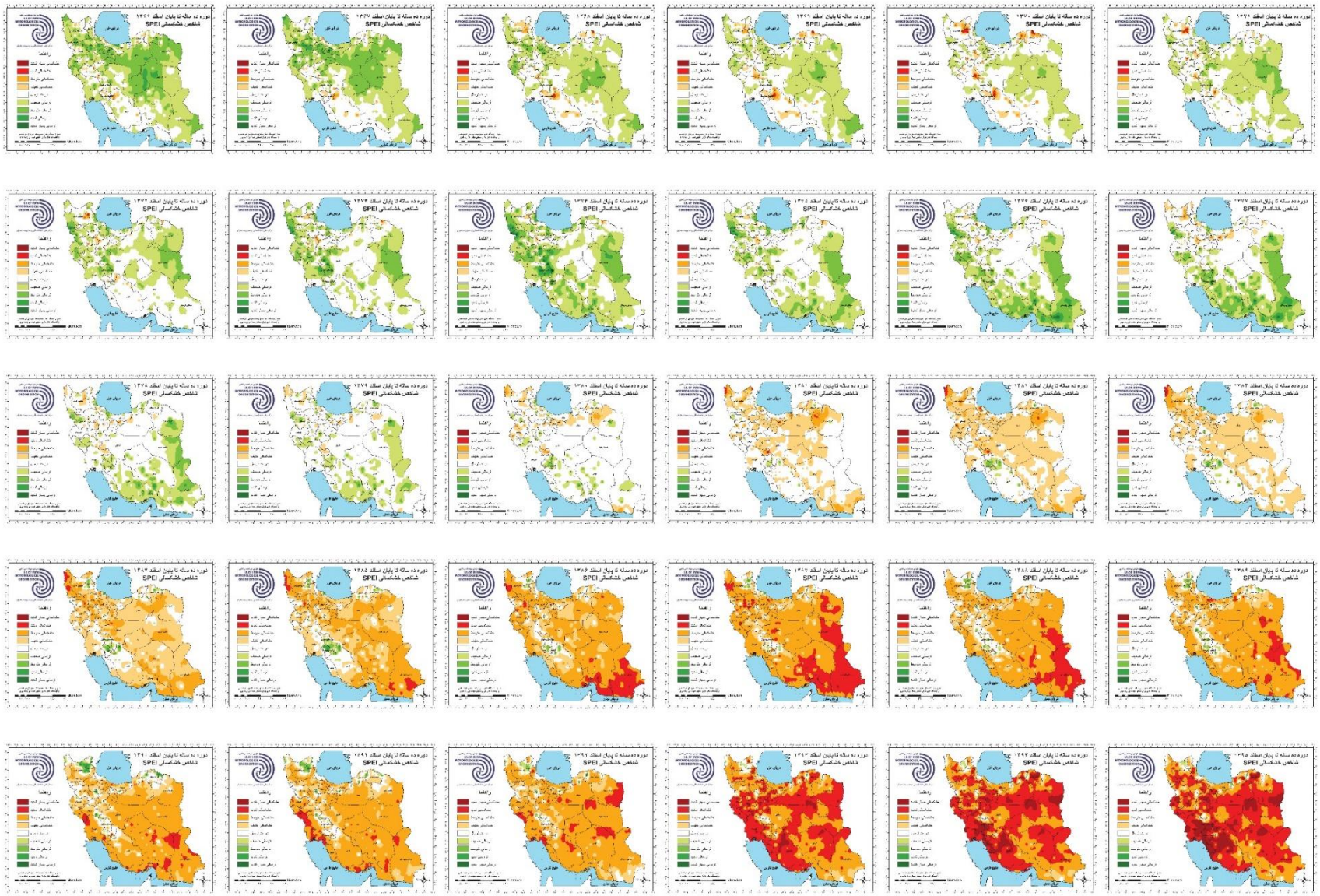
زاگرس نسبت به سایر نقاط کاهش بیشتری یافته است. روند تغییرات بارش در فصل تابستان بین ۵- تا ۵+ میلیمتر بر دهه است. تنها ایستگاهی که طی فصل بهار دارای کاهش بارشی بیش از ۵ میلیمتر بر دهه بوده، بندر انزلی است. در فصل پاییز نیز تغییرات بارش بین ۵-۰ میلیمتر بر دهه بوده است. شدت کاهش بارش در زمستان در غرب کشور متمرکز بوده است. این درحالیست که در جنوب شرق کشور افزایش بارش دیده می‌شود. *تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلیمتر در ناحیه غرب و شمال غرب کشور بین ۳/۵ تا ۶ روز طی ۵۰ سال گذشته کاهش یافته است*. در ناحیه جنوب شرقی نیز شاهد کاهش تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلیمتر بوده‌ایم. در سایر نواحی (به جز غرب دریای خزر) تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلیمتر افزایش یافته است (رحیم زاده، ۱۳۹۳).

۲-۳- خشکسالی

از سال ۱۳۸۴ تاکنون نمایه خشکسالی دهه‌ای کشور منفی است و از آن زمان تا کنون کشورمان با خشکسالی انباشته مواجه بوده است. شکل‌های ۶ و ۷ نمایه خشکسالی کشور از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۵ را نشان می‌دهند.



شکل۶-روند تغییرات نمایه خشکسالی براساس شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر و تعرق در دوره های ده ساله (از: مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران)



شکل ۷

۲-۴- سایر متغیرها

با استناد به آمار ۴۶ ساله ثبت شده از ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۰ تعداد ساعات آفتابی در کشور به طور میانگین ۱۱ ساعت بر سال افزایش یافته است. بیشترین نرخ افزایش در فصول مختلف و در مقیاس سالانه در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۰ در نیمه غربی کشور متمرکز است. بیشترین نرخ افزایشی در مقیاس سالانه متعلق به ایستگاه سنندج در حدود ۲۸۰-۲۶۰ ساعت بر دهه می‌باشد. به عبارتی می توان گفت که در مناطق یادشده، در ۵۰ سال گذشته حدود ۱۰۰۰ ساعت به مقدار ساعات آفتابی افزوده شده است. شمال غرب کشور جزء مناطقی محسوب می‌شود که بیشترین نرخ افزایشی ساعات آفتابی در کشور را داشته‌اند.

میانگین سرعت باد در بسیاری از نقاط علی الخصوص در شهرهای بزرگ کشور، علاوه بر نوسانات شدید دارای روند کاهشی بوده است. گسترش شهرها و اثرات ساخت و سازها بر کاهش سرعت باد و سایر پارامترهای اقلیمی آشکار است.

۳–چشم انداز تغییر اقلیم

آینده‌نگری تغییر اقلیم که توسط هیات بین الدولی تغییر اقلیم در گزارش‌های ارزیابی دوره‌ای ارائه می‌شود تماما بر اساس خروجی مدل‌های گردش کلی جو-اقیانوس است که به مدل‌های جفت شده مشهورند و در مراکز بین‌المللی هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای استفاده از این مدل‌ها، ابتدا کارآیی آنها توسط گروه کاری آزمایش‌های عددی سازمان جهانی هواشناسی در پروژه‌ای تحت عنوان "پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده (CMIP[1])" مورد بررسی و تایید قرار گرفته و سپس به IPCC معرفی شده‌اند. هر یک از گزارش‌های ارزیابی ارائه شده توسط IPCC بر اساس خروجی یک سری از این نوع مدل‌ها تهیه شده‌اند. گزارش پنجم بر اساس خروجی مدل‌های گردش کلی سری CMIP5 تهیه شده و داده‌های آنها نیز در دسترس کشورهای عضو قرار گرفته است.

پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد در قالب یک پژوهش، با استفاده از داده‌های پایگاه CMIP چشم‌انداز تغییر اقلیم ایران را بررسی کرده است که در ادامه می‌آید. در این پژوهش تغییرات اقلیمی ایران در بازه‌های زمانی ۲۰ ساله از ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۶ بر اساس سناریوهای متفاوت مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۳–۱– بارش

در شکل ۸ تغییرات دهه‌ای بارش کشور در چهار سناریوی تایید شده توسط هیات بین الدولی تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته است. (یادآور می‌شود که تعداد مدل‌های مورد استفاده در هر سناریو یکسان نیستند. لذا این موضوع می‌تواند عدم قطعیت برخی سناریوها مانند RCP6.0 را در آینده‌نگری اقلیمی افزایش دهد (برای آگاهی از تعداد مدل‌های مورداستفاده به پیوست ۲ مراجعه شود). در خوشبینانه‌ترین سناریو (RCP2.6) کمترین افزایش دما مورد انتظار است و بارش در پهنه کشورمان تغییرات قابل ملاحظه ای نخواهد داشت. در عین حالی که در این سناریو بارش تغییرات قابل ملاحظه‌ای ندارد ولی به دلیل افزایش دمای رخ داده، تنش آبی تداوم خواهد داشت. نکات بارز در چشم انداز بارش کشور تا افق ۲۱۰۰ میلادی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

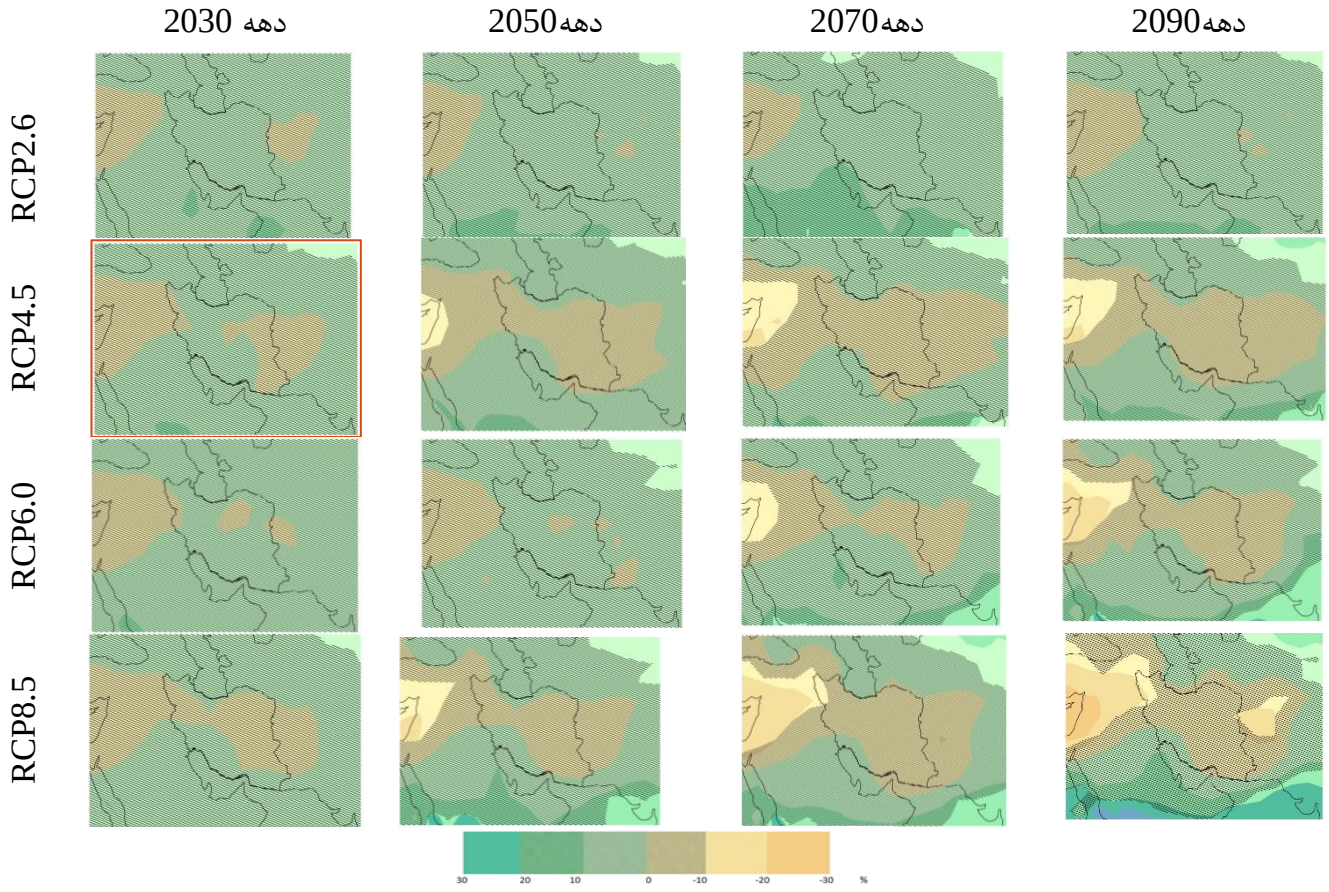
۱- کاهش بارش در غرب ایران، سوریه، ترکیه و عراق، بخصوص در محدوده دریای مدیترانه مشهود است. کاهش بارش در ترکیه می‌تواند موجب کاهش جریان آب در این کشور و تغذیه ناکافی رودخانه‌های دجله و فرات و جلگه‌های تحت پوشش آنها در بین النهرین گردد. از آنجا که مناطق یادشده از منابع عمده خیزش گرد و غبار هستند، چنین شرایطی موجب افزایش رخداد این پدیده در ایران و غرب آسیا می‌گردد.
۲- در کشورهای حاشیه خلیج فارس، دریای عمان و شمال اقیانوس هند، بارش افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته و دامنه افزایش بارش در برخی سناریوها و دهه‌ها تا مناطق جنوبی کشور نیز گسترش خواهد یافت. برخی مطالعات نشان می دهد که ماهیت افزایش بارش در مناطق جنوبی به شکل رگباری و سیل آسا خواهد بود.

---

[1] Coupled Model Inter-comparison Project

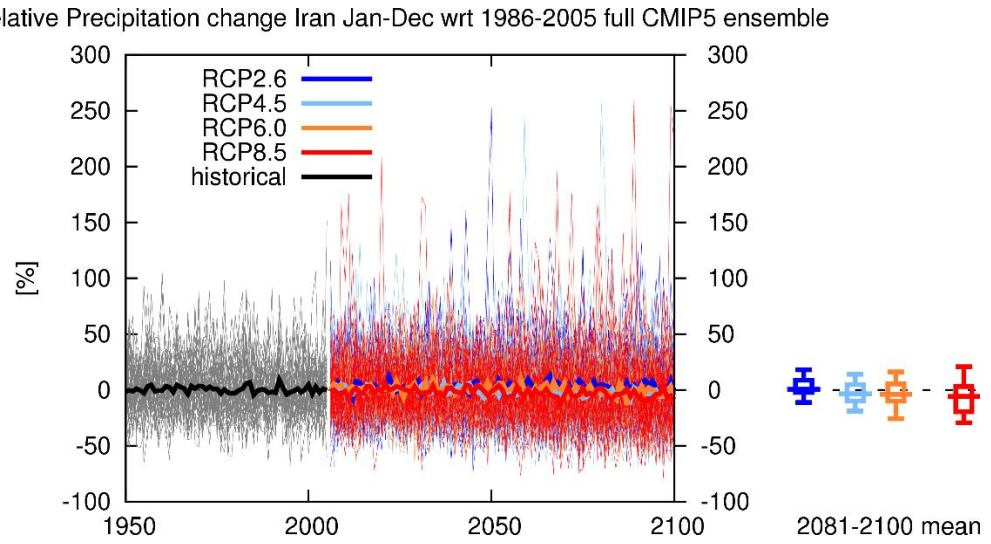
۳- بارش در نواحی غرب، مرکز و شرق کشور کاهش می‌یابد. همانطورکه در شکل دیده می‌شود بیشترین کاهش بارش کشور در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) و تحت سناریوی RCP8.5 رخ خواهد داد. اما در کشورهای همسایه، بیشترین کاهش بارش در ترکیه، عراق، سوریه و افغانستان رخ می‌دهد.

۴- علیرغم اینکه ممکن است کاهش بارش از نظر آماری در برخی مناطق کشور معنی‌دار نباشد، اما قضاوت روی تغییرات بارش صرفا بر مبنای میانگین گمراه کننده خواهد بود. برخی دلایل آن عبارتند از: اولا علیرغم عدم تغییر معنی دار میانگین بارش، بارش‌های حدی (سیل‌آسا و کاهش بارش‌های خیلی شدید) افزایش معنی‌داری خواهند داشت، دوما، کاهش بارش عامل اصلی خشکسالی‌ها و تنش‌های آبی در کشور نیست، بلکه تلفیق کم‌بارشی همراه افزایش دماست که عامل تنش‌های مذکور می‌باشد، به همین دلیل است که سازمان جهانی هواشناسی توصیه کرده است به جای شاخص خشکسالی SPI (که صرفا عامل بارش را در خشکسالی در نظر می‌گیرد)، از شاخص SPEI استفاده شود که همزمان تنش دمایی را نیز مد نظر قرار می‌دهد. ثالثا، تغییر میانگین سالانه بارش در برخی مناطق کشور مانند نواحی غربی معنی‌دار می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که ممکن است برنامه‌ریزی برای سازگاری با تغییر میانگین‌های اقلیمی ساده باشد، اما سازگاری با رفتارهای حدی آنها به سادگی امکانپذیر نیست.



شکل ۸-تغییرات میانگین سالانه بارش ایران (٪) در دهه های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۷۰ و ۲۰۹۰ نسبت به دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP.

شکل ۹ سری زمانی درصد کاهش بارش کشور نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۶ را نشان می‌دهد. مطابق شکل مذکور درصورتی که وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای مطابق سناریوی RCP2.6 باشد، تغییرات بارش کشور قابل ملاحظه نیست. اما در سایر سناریوها به ویژه سناریوی RCP8.5 بارش کشور به طور معنی داری کاهش می‌یابد.



شکل ۹-تغییرات میانگین سالانه بارش ایران (٪) تا سال ۲۱۰۰ نسبت به دوره های ۲۰۰۵-۱۹۸۶ (بالا) و ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (پایین) تحت چهار سناریوی واداشت تابشی RCP.

در جدول ۱ تغییرات بارش کشور به صورت فصلی و سالانه طی دهه انتهایی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۶ آورده شده است. با لحاظ نتایج تمامی سناریوها، میانه تغییرات درصد بارش کشور ۲/۳-٪ می باشد. ۵۷ درصد مدل‌ها پیش‌بینی کرده‌اند که بارش کشور در انتهای قرن حاضر کمتر از میانگین دوره پایه باشد. اما درصورت عدم پایبندی کشورها به توافق پاریس (سناریوی RCP8.5) ۷۱ درصد از مدل‌ها میانگین بارش دهه پایانی قرن حاضر را کمتر از دوره پایه پیش‌بینی می‌کنند. در همین سناریو کمتر از ۳۰ درصد مدل‌ها احتمال داده‌اند که بارش بیش از نرمال باشد، به عبارت دیگر هرچه گرمایش جهانی شدیدتر باشد کاهش بارش در کشور نیز بیشتر خواهد بود. ضمن اینکه رفتار بارش ها به صورت سنگین و سیل آسا خواهد بود که پیامد آن وارد آمدن خسارات جانی و مالی و تخریب تاسیسات زیربنایی خواهد بود. علیرغم اینکه جدول مذکور نشان می‌دهد بیشترین کاهش بارش کشور در فصل تابستان رخ می‌دهد، اما بایستی به این نکته توجه نمود که سهم بارش تابستانی، به استثنای ناحیهٔ خزری، در سایر نواحی قابل توجه نیست.

جدول۱- تغییرات بارش کشور در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	+۵/۲	+۱/۴	+۱	+۰/۷	+۲/۱
RCP4.5	-۳/۸	-۸/۱	-۱/۹	+۱/۷	-۳/۰
RCP6.0	-۴/۷	-۵/۴	-۵/۶	+۲/۵	-۳/۳
RCP8.5	-۷/۵	-۱۲/۲	-۱/۸	-۰/۸	-۷/۵

در ادامه تغییرات بارش کشور به صورت منطقه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. مناطق مورد بررسی عبارتند از استان های حاشیه جنوب خزر، شمال غرب، زاگرس، جنوبی غرب، جنوب شرق، شمال شرق و مرکزی.

منطقه خزری: در این تحقیق تغییرات بارش در سواحل جنوبی دریای خزر به عنوان یکی از مناطق حساس اقلیمی از دیدگاه گردشگری، پوشش جنگلی و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. بارش سالانه در این منطقه در مجموع کاهش می یابد اما در مقیاس فصلی دارای چند مشخصه بارز است که عبارتند از:

- بارش در فصل تابستان دارای کاهش معنی داری نسبت به دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۶ است. میانگین کاهش بارش تابستانه حدود ۱۶ درصد بوده که بیشترین آن تحت سناریوی RCP8.5 با ۲۹/۳ درصد کاهش همراه می‌باشد. بارش تابستانه در تمامی سناریوها کاهشی است.
- بارش زمستان در تمامی سناریوها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. میانگین افزایش بارش فصل زمستان ۸/۷ درصد است.
- بارش فصول بهار و پاییز تغییرات معنی داری نسبت به دور پایه نخواهد داشت.

در مجموع بارش سالانه منطقه خزری به مقدار ۷/۵ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت که بخش مهمی از آن به کاهش بارش تابستانه مربوط می‌شود (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهند هرچه گرمایش جهانی بیشتر باشد کاهش بارش سالانه و تابستانه در منطقه خزری بیشتر خواهد بود. برخلاف سایر نواحی کشور، بارش‌های تابستان سهم مهمی در مجموع بارش سالانهٔ خزری دارد. کاهش آن می‌تواند موجب خسارت به بخش‌های کشاورزی، جنگل و گردشگری این منطقه گردد. ممکن است یکی از دلایل کاهش بارش تابستانه تضعیف سامانه پرفشاری باشد که در فصل تابستان جریان‌های خروجی از آن با جهت شمال تا شمال شرقی بر روی این دریا موجب تزریق رطوبت دریای خزر به دامنه‌های شمالی البرز و تشکیل بارش می‌شود.

جدول۲-دامنه تغییرات بارش در منطقه خزری در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	+۲/۶	−۲/۹	+۱/۹	+۱/۹	+۰/۹
RCP4.5	+۱	−۱۰/۱	+۰/۷	+۱۱/۴	+۰/۸
RCP6.0	+۰/۵	−۲۱/۷	−۶/۷	+۱۲/۴	−۳/۹
RCP8.5	−۲/۱	−۲۹/۳	+۱/۵	+۹/۱	−۵/۲
میانگین	+۰/۵	−۱۶	−۰/۷	+۸/۷	−۷/۵

منطقه جنوب شرق: در مقایسه با بارش کل کشور و سایر مناطق مورد بررسی، مهمترین رفتار بارش جنوب شرق کشور افزایش تغییرپذیری (نوسانات) بارش است که نشانه افزایش بی اعتمادی به بارش‌های فصلی این منطقه و افزایش وقوع رخدادهای حدی هیدرواقلیمی می‌باشد. یکی از پیامدهای چنین رفتاری افزایش وقوع بارش‌های سنگین و سیل آسا است. مطابق جدول ۳ میانگین بارش سالانه و به ویژه بارش تابستانه در منطقه جنوب شرق افزایش می-یابد. فصل تابستان بیشترین درصد کاهش بارش را در منطقهٔ جنوب‌شرق کشور دارد. اما بایستی توجه نمود که سهم

بارش تابستانه در مجموع بارش کل سال قابل توجه نیست. در عین حال منطقه جنوب‌شرق کشور دومین منطقهٔ مهم از نظر میزان بارش‌های تابستانه بعد از منطقهٔ خزری است.

جدول۳-دامنه تغییرات بارش در منطقه جنوب شرق در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	+۸/۳	−۴/۵	−۱۱/۳	+۱۲/۷	+۱/۳
RCP4.5	−۱/۱	+۱/۵	−۵/۶	−۰/۲	−۱/۴
RCP6.0	+۲/۳	+۱۹/۴	+۲/۶	−۰/۷	+۵/۹
RCP8.5	−۱۰/۴	+۲۹/۳	+۱۴/۴	−۱۸/۴	+۳/۷
میانگین	−۰/۲	+۱۱/۴	۰	−۱/۶	+۲/۴

منطقه جنوب غرب: مشخصه‌های مهم بارش در جنوب غرب کشور افزایش بارش بهاری، افزایش تغییرپذیری بارش تابستان و افزایش بارش مطابق سناریوی RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه است. بارش فصل پاییز نیز روند افزایشی خواهد داشت. اما در دو فصل تابستان و زمستان قابل ملاحظه نیست.

جدول۴-دامنه تغییرات بارش در منطقه جنوب غرب در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	+۱۰/۳	−۵/۶	−۱/۲	−۰/۶	+۰/۷
RCP4.5	−۳/۴	−۶/۴	+۵/۱	+۴/۷	۰
RCP6.0	+۷/۲	+۲/۷	−۶/۶	−۳/۱	+۰/۱
RCP8.5	+۶/۵	۰	+۲۰/۴	−۶/۷	+۵/۱
میانگین	+۵/۲	−۲/۳	+۴/۴	−۱/۴	+۱/۵

منطقه زاگرس: نتایج نشان می‌دهند که هرچه واداشت تابشی (افزایش گرمایش جهانی) بیشتر باشد، بارش در منطقه زاگرس کاهش بیشتری خواهد داشت، به طوری که بیشترین کاهش به مقدار ۱۲/۱ درصد در سناریوی RCP8.5 پیش‌بینی شده است. این درحالی است که کاهش بارش در سناریوی RCP2.6 حدود یک درصد خواهد بود. هر چند بارش تابستانه در این منطقه سهم قابل ملاحظه‌ای از بارش کل سال را ندارد، اما این فصل با ۱۴/۵ درصد بیشترین کاهش را دارا است. بعد از فصل تابستان دو فصل بهار و زمستان به ترتیب با ۶/۸ و ۳/۱ درصد کاهش مواجه خواهند شد. کاهش بارش در منطقه زاگرس که تامین کننده اصلی منابع آب مورد نیاز نیروگاههای برقآبی و سدهای متعدد است نه تنها می‌تواند اقتصاد این منطقه را دچار چالش‌های جدی نماید بلکه می‌تواند موجب افزایش رخداد گردوغبار و کاهش و یا از بین رفتن تدریجی پوشش گیاهی و جنگل‌ها در این منطقه شود. ضمن اینکه چنین شرایطی با شدت بیشتر در کشور همسایه غربی یعنی عراق نیز حاکم خواهد بود.

جدول۵-دامنه تغییرات بارش در منطقه زاگرس در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	+۲/۵	−۷/۹	+۳/۴	−۲/۴	−۱/۱
RCP4.5	−۴/۰	−۱۱/۹	+۲/۹	−۱/۳	−۳/۶
RCP6.0	−۸/۶	−۱۴/۳	−۸/۲	−۰/۴	−۷/۹
RCP8.5	−۱۷/۲	−۲۳/۸	+۰/۹	−۸/۲	−۱۲/۱
میانگین	−۶/۸	−۱۴/۵	−۰/۳	−۳/۱	−۶/۲

منطقه شمال غرب: در شمال غرب کشور با افزایش واداشت تابشی در مجموع کاهش بارش بیشتر می‌شود به طوری که در سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب بارش ۰/۸ و ۹/۶ درصد کاهش می‌یابد. همچنین بیشترین کاهش به ترتیب با ۱۴/۵ و ۶/۸ درصد به ترتیب در فصول تابستان و بهار رخ می‌دهد. بارش فصل پاییز تغییر قابل توجهی نسبت به دوره پایه ندارد. در مجموع کاهش حدود ۶ درصدی بارش و افزایش دما می‌تواند تنش آبی را در منطقه افزایش داده و منجر به افزایش مخاطرات اقلیمی نظیر خشکسالی، گرد و خاک و کاهش و یا از بین رفتن پوشش گیاهی، تالاب ها و بخصوص دریاچه ارومیه شود.

جدول۶-دامنه تغییرات بارش در منطقه شمال غرب در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	+۲/۸	−۳/۱	−۲/۲	−۰/۴	−۰/۸
RCP4.5	−۴/۲	−۱۴/۱	+۱/۳	+۳/۴	−۳/۴
RCP6.0	−۱/۴	−۱۷/۲	−۶/۳	+۱/۲	−۵/۹
RCP8.5	−۸/۵	−۲۵/۱	−۲/۵	−۱/۳	−۹/۶
میانگین	−۲/۹	−۱۴/۹	−۲/۵	+۰/۷	−۴/۹

منطقه شمال شرق: در منطقه شمال شرق کشور با افزایش واداشت تابشی (افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای) بارش کاهش می‌یابد؛ به طوری که کمترین و بیشترین کاهش بارش به مقدار ۲/۵ و ۹/۳ در سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 رخ می‌دهد. بیشترین کاهش بارش در این منطقه به ترتیب در فصول تابستان، بهار و پاییز اتفاق می‌افتد. اما بارش زمستانه به مقدار اندکی افزایش می‌یابد.

جدول ۷-دامنه تغییرات بارش در منطقه شمال شرق در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	+۴,۲	−۸,۳	+۴,۶	+۲,۱	−۲,۵
RCP4.5	−۵,۵	−۱۴,۲	−۵,۱	+۲,۴	−۵,۶
RCP6.0	−۳,۲	−۱۹,۲	−۹,۳	−۲,۵	−۸,۶
RCP8.5	−۱۱,۴	−۲۵,۱	−۳,۵	+۲,۷	−۹,۳
میانگین	−۴,۰	−۱۶,۷	−۳,۳	+۱,۲	−۵,۷

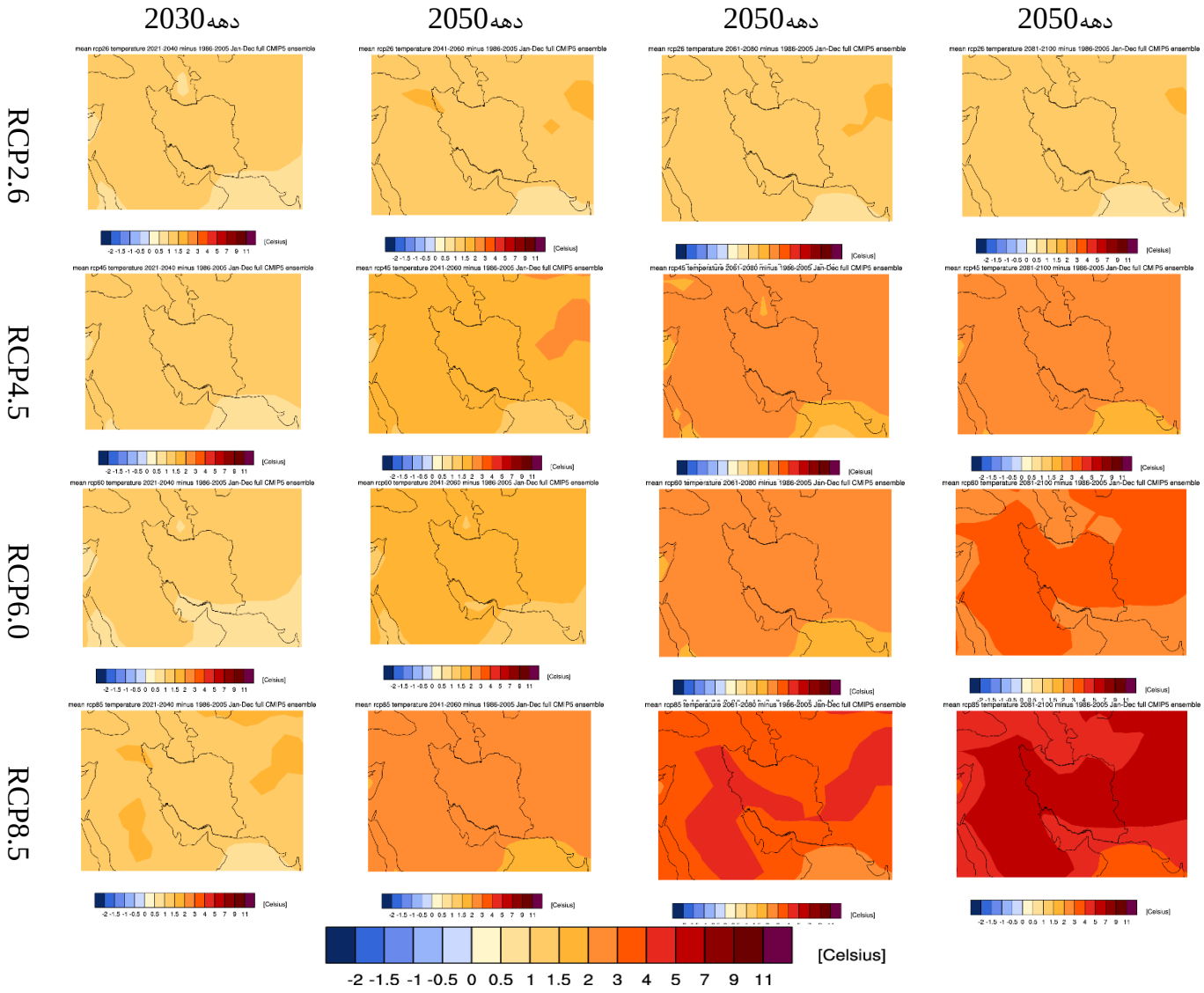
منطقه مرکزی: در مناطق مرکزی تغییرپذیری فصلی بارش نسبتا بالا است و بیشترین تغییرپذیری در فصل تابستان رخ می‌دهد. بیشترین کاهش بارش در فصول بهار و پاییز به ترتیب با ۴/۵ و ۶/۷ درصد کاهش رخ می‌دهد. در سایر فصول تغییرات قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. همچنین بیشترین کاهش بارش سالانه و بارش بهاری و تابستانی در سناریوی RCP8.5 رخ خواهد داد.

جدول ۸-دامنه تغییرات بارش در منطقه مرکزی در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	+۵/۶	−۵/۶	+۷/۱	+۱/۴	+۲/۱
RCP4.5	−۷/۸	−۲/۸	−۳/۵	−۱/۳	−۳/۹
RCP6.0	−۴/۶	+۰/۲	−۴/۶	+۲/۹	−۱/۵
RCP8.5	−۱۱/۱	−۱۸/۵	+۳/۴	+۱/۹	−۶/۱
میانگین	−۴/۵	−۶/۷	+۰/۶	+۱/۲	−۲/۴

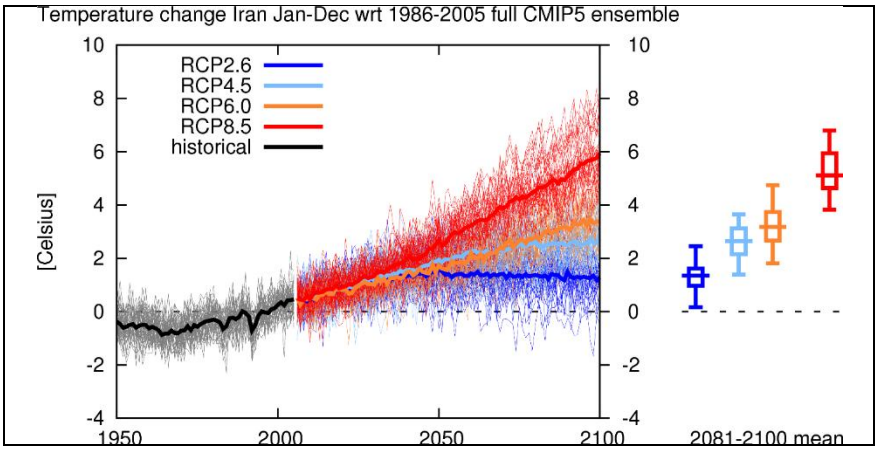
۳-۲-دما

میانگین دمای کشور با بکارگیری تمامی مدل‌ها، سناریوها و شرایط مرزی برای چهار دوره ۲۰ ساله از ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بیشترین افزایش دما در پهنه کشورمان در دهه ۲۰۹۰ و به ترتیب به مقدار ۱/۳، ۲/۶، ۳/۱ و ۵/۲ درجه سلسیوس در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 در مقایسه با میانگین دمای دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) رخ می‌دهد. از نظر موقعیت جغرافیایی کمترین افزایش دما در مناطق ساحلی همجوار پهنه‌های آبی دریای خزر، خلیج فارس، دریای عمان و بیشترین افزایش در مناطق مرکزی و استان های واقع بر رشته کوه زاگرس رخ می‌دهد.



شکل۱۰-تغییرات میانگین سالانه دمای ایران (درجه سلسیوس) در دهه های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۷۰ و ۲۰۹۰ نسبت به دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP.

روند افزایش دمای کشورمان در سناریوی RCP6.0 تا دهه ۲۰۷۰ کمتر از سناریوی RCP4.5 بوده ولی بعد از دهه مذکور سرعت افزایش دمای سناریوی RCP6.0 بیشتر از RCP4.5 می شود. همچنین در سناریوی RCP2.6 سرعت افزایش دما از حدود دهه ۲۰۳۰ صفر شده و تا انتهای قرن حاضر مقدار آن ثابت خواهد ماند. این سناریو منطبق بر تعهداتی است که کشورها در توافق پاریس عهده دار شده‌اند.



شکل۱۱-تغییرات میانگین سالانه دمای ایران (درجه سلسیوس) تا سال ۲۱۰۰ نسبت به دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP.

جدول۹- تغییرات دمای فصلی در سطح کشور در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	۱/۲	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۳
RCP4.5	۲/۵	۲/۹	۲/۷	۲/۴	۲/۶
RCP6.0	۳/۱	۳/۵	۳/۱	۲/۸	۳/۱
RCP8.5	۵/۰	۵/۷	۵/۳	۴/۶	۵/۲

در ادامه آینده‌نگری دمای منطقه‌ای کشور تحت چهار سناریوی واداشت تابشی در انتهای قرن ۲۱ در جداول جداگانه (جداول ۱۰ تا ۱۶) آورده شده است. بیشترین افزایش دمای سالانه به مقدار ۵/۵، ۵/۳ و ۵/۲ درجه سلسیوس در زاگرس، مرکز و شمال غرب کشور رخ خواهد داد. وقوع بیشترین افزایش دما در منطقه زاگرس درحالی است که در این منطقه شاهد بیشترین کاهش بارش نیز خواهیم بود. این شرایط می تواند تبعات شدیدی از نظر حذف اکوسیستم-های جنگلی، گونه‌های گیاهی و جانوری نادر و در نتیجه افزایش گردوغبار و خشکسالی داشته باشد.

جدول۱۰-دامنه تغییرات دما در منطقه خزری در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	۱/۱	۱/۵	۱/۴	۱/۲	۱/۳
RCP4.5	۲/۴	۲/۸	۲/۲	۲/۱	۲/۴
RCP6.0	۲/۹	۳/۳	۳/۰	۲/۵	۲/۹
RCP8.5	۴/۴	۵/۵	۴/۹	۴/۰	۴/۷

جدول۱۱-دامنه تغییرات دما در منطقه جنوب شرق در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	۱/۲	۱/۰	۱/۱	۱/۱	۱/۱
RCP4.5	۲/۳	۲/۱	۲/۲	۲/۳	۲/۲
RCP6.0	۲/۹	۲/۸	۲/۷	۲/۷	۲/۸
RCP8.5	۴/۵	۴/۵	۴/۶	۴/۴	۴/۵

جدول۱۲-دامنه تغییرات دما در منطقه جنوب غرب در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۲	۱/۳
RCP4.5	۲/۴	۲/۵	۲/۶	۲/۳	۲/۵
RCP6.0	۲/۸	۳/۱	۳/۲	۲/۷	۳/۰
RCP8.5	۴/۵	۵/۱	۵/۲	۴/۵	۴/۸

جدول۱۳- تغییرات دما در منطقه زاگرس در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	۱/۵	۱/۶	۱/۴	۱/۴	۱/۵
RCP4.5	۲/۶	۳/۱	۲/۹	۲/۸	۲/۹
RCP6.0	۳/۰	۴/۰	۳/۴	۳/۱	۳/۴
RCP8.5	۵/۰	۶/۳	۵/۶	۵/۲	۵/۵

جدول۱۴-دامنه تغییرات دما در منطقه شمال غرب در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	۱/۱	۱/۶	۱/۴	۱/۲	۱/۳
RCP4.5	۲/۵	۳/۲	۲/۷	۲/۳	۲/۷
RCP6.0	۳/۰	۳/۹	۳/۳	۲/۸	۳/۳
RCP8.5	۴/۷	۶/۴	۵/۳	۴/۴	۵/۲

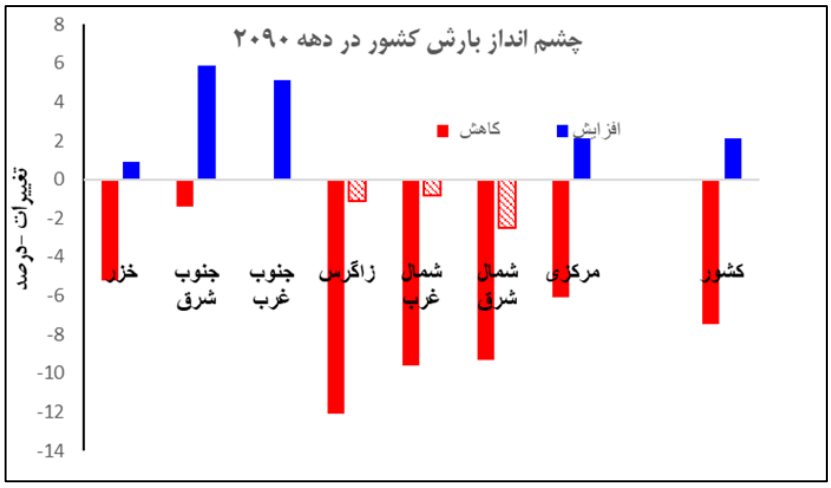
جدول۱۵-دامنه تغییرات دما در منطقه شمال شرق در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	۱/۳	۱/۲	۱/۹	۱/۳	۱/۴
RCP4.5	۲/۵	۳/۰	۲/۶	۲/۳	۲/۶
RCP6.0	۳/۰	۳/۴	۳	۲/۵	۳/۰
RCP8.5	۴/۸	۵/۹	۵/۳	۴/۳	۵/۱

جدول۱۶-دامنه تغییرات دما در منطقه مرکزی در دهه پایانی قرن حاضر (۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶)

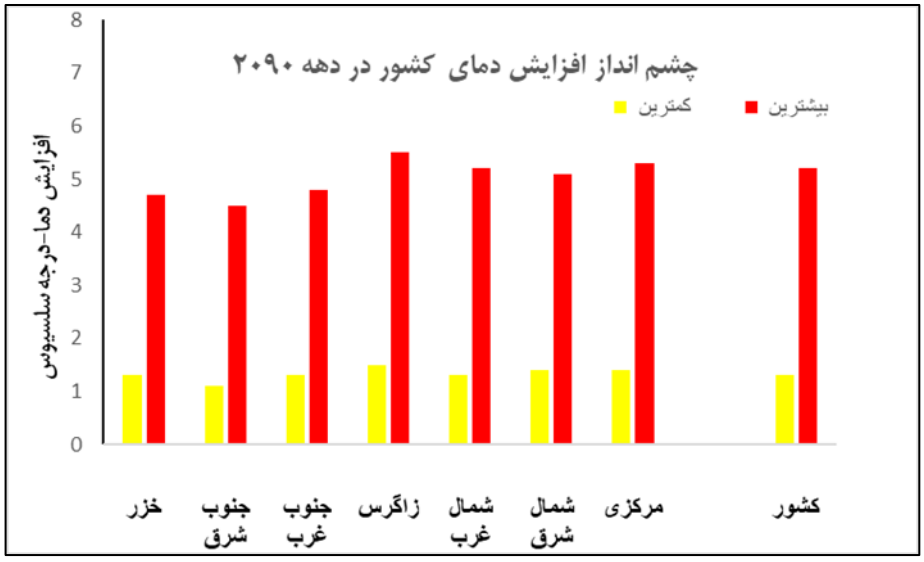
تغییرات(درصد)	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سال
RCP2.6	۱/۲	۱/۴	۱/۵	۱/۳	۱/۴
RCP4.5	۲/۶	۳	۲/۷	۲/۴	۲/۷
RCP6.0	۳/۰	۳/۶	۳/۲	۲/۶	۳/۱
RCP8.5	۵/۱	۶/۰	۵/۷	۴/۵	۵/۳

تغییرات منطقه‌ای و میانگین کشوری بارش و دما در دهه ۲۰۹۰ (بازه زمانی سال های ۲۱۰۰-۲۰۸۱) تحت چهار سناریوی واداشت تابشی در شکل های ۱۲ و ۱۳ آورده شده است. افزایش بارش پیش‌بینی شده (رنگ آبی) در شرایطی رخ می‌دهد که سناریوی غلظت گازهای گلخانه‌ای منطبق بر RCP2.6 باشد. به عبارت دیگر جامعه جهانی به کاهش شدید گازهای گلخانه ای متعهد بماند. حتی در این شرایط در مناطق زاگرس، شمال غرب و شمال شرق کاهش بارش رخ می‌دهد، اما مناطق جنوب شرق، جنوب غرب و برخی نواحی مرکزی افزایش بارش را تجربه خواهند کرد. در مجموع درصورت کاهش شدید گازهای گلخانه‌ای، به مقدار ۲/۱ درصد به بارش کشور افزوده می‌شود. درصورت عدم پایبندی کشورها به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش شدید آن تحت سناریوی RCP8.5، بارش در سطح کشور ۷/۵ درصد کاهش خواهد یافت، اما کاهش در مناطق زاگرس، شمال غرب و شمال شرق بیش از سایر نواحی خواهد بود. حتی منطقه زاگرس با کاهش حدود ۱۲ درصدی مواجه خواهد شد. ذکر این نکته ضروری است علیرغم اینکه تغییر پیش‌بینی شده در میانگین بارش ممکن است از نظر آماری معنی دار نباشد اما در مجموع می‌تواند منجر به کاهش میانگین سالانه بارش کشور از حدود ۲۳۵ میلیمتر کنونی به حدود ۲۱۰ میلیمتر گردد. چنین تغییراتی به همراه افزایش دمای پیش‌بینی شده می‌تواند موجب تغییر معنی‌دار در شاخص‌های خشکسالی گردد.



شکل ۱۲-دامنه تغییرات بارش (درصد) پیش بینی شده در سطح کشور و مناطق مختلف در انتهای قرن ۲۱

در شکل ۱۳، دامنه تغییرات پیش بینی شده دما در سطح کشور و مناطق مختلف نشان داده شده است. رنگ زرد نشان دهنده کمترین افزایش (سناریوی RCP2.6- تعهد کشورها به کاهش گازهای گلخانه‌ای) و رنگ قرمز نشان دهنده بیشترین افزایش (سناریوی RCP8.5 - عدم پایبندی کشورها به کاهش گازهای گلخانه‌ای) است. دامنه تغییرات دما در دهه ۲۰۹۰ در سطح کشور بین ۱/۳ تا ۵/۲ درجه سلسیوس خواهد بود که بیشترین افزایش دما در منطقه زاگرس به مقدار ۵/۵ درجه سلسیوس می‌باشد.



شکل ۱۳-دامنه تغییرات دمای (درجه سلسیوس) پیش بینی شده در سطح کشور و مناطق مختلف در انتهای قرن ۲۱

در مجموع دامنه تغییرات بارش و دمای کشور در انتهای قرن ۲۱ در دو حالت پایبندی و عدم پایبندی جامعه جهانی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب بین ۲/۵+ تا ۷/۵- درصد و ۱/۳+ تا ۵/۲+ درجه سلسیوس پیش‌بینی می‌شود. نکته مهم در تغییرات منطقه‌ای بارش و دما، منطبق بودن بیشترین کاهش بارش و بیشترین افزایش دما بر روی منطقه زاگرس و پس از آن در منطقه شمال غرب است. مناطقی که هم اکنون درگیر مشکلات زیست محیطی مانند وقوع گردوخاک، خشکسالی‌های گسترده، آتش‌سوزی و خشک شدن درختان جنگلی، کاهش شدید سطح آب دریاچه ارومیه و حذف برخی اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشند. ادامه چنین وضعیتی موجب تشدید مشکلات زیست محیطی در مناطق یادشده می‌گردد. لذا باید برنامه‌ای جامع برای کاهش اثرات تغییر اقلیم در مناطق غربی کشور تدوین و حتی در برخی برنامه‌های توسعه کشاورزی و منابع آب آن تجدید نظر صورت پذیرد. برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران توسعه منطقه‌ای و آمایش سرزمین در هر یک از مناطق یادشده و همچنین سایر نواحی کشور قبل از تدوین هر برنامه‌ای بایستی به آینده‌نگری‌های اقلیمی مناطق توجه نمایند.

۴-پی‌آمدها و روش‌های سازگاری

در این فصل سه موضوع مهم شامل پی‌آمدهای تغییر اقلیم، فرصت‌ها و روش‌های سازگاری با آن مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۱- پی‌آمدها

پی‌آمدهای تغییر اقلیم در حوزه‌های مختلف هواشناسی، منابع آب، انرژی، مخاطرات جوی و اقلیمی، محیط زیست، منابع طبیعی، جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، اقتصادی و اجتماعی، صنعت، بهداشت و سلامت، کشاورزی و امنیت غذایی، دفاعی و امنیت ملی، بیمه، دریا و سواحل به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- **هواشناسی**

به طورکلی رفتار بارش در دهه‌های آینده به گونه‌ای خواهد بود که ضمن کاهش میانگین سالانه، نوسانات آن افزایش یافته و بی اعتمادی به بارش افزایش می‌یابد. در این ارتباط به موارد ذیل اشاره می‌شود:

- اغلب مدل‌ها بیشترین کاهش بارش را در نیمه غربی و مرکز کشور شبیه‌سازی کرده‌اند. احتمال افزایش بارش در جنوب شرق کشور می‌تواند به دلیل افزایش تبخیر از سطح اقیانوس‌ها و پهنه‌های آبی مجاور آن باشد.
- براساس مطالعات به عمل آمده برروی مناطق شمال شرق کشور، رژیم بارشی این منطقه به سمت انتهای فصل بارش جابجا می‌شود. به طوری که ضمن تاخیر در وقوع بارش‌های پاییزه، مقدار آن کاهش یافته و به سمت فصل سرد و اوایل بهار جابجا می‌شوند. این شرایط، تغییر الگو و تاریخ کشت برخی محصولات را ایجاب می‌کند.
- در مناطق جنوب شرقی کشور به دلیل افزایش شار رطوبتی تزریق شده از سوی دریای عمان و شمال اقیانوس هند، بارش‌های سنگین تابستانه زیاد می‌شود و مخاطرات جوی اقلیمی نیز در این مناطق افزایش می‌یابد.
- کاهش بارش برف موجب عدم تامین نیاز آبی سدها و نیروگاه‌های برقآبی و مزارع جلگه‌ای پایین دست رشته کوه زاگرس شده و به دلیل خشک شدن تالاب‌ها و باتلاق‌ها و به طورکلی کاهش رطوبت سطحی، فراوانی رخداد پدیده گردوخاک در این مناطق افزایش می‌یابد.
- طول و ارتفاع امواج راسبی تغییر می‌یابد و احتمال وقوع حوادث حدی نظیر بارش برف سنگین، سرماهای شدید و امواج گرمایی متناوبا در عرض‌های قطبی و گرمسیری افزایش می‌یابد. ممکن است این شرایط موجب وقوع امواج گرمایی بی سابقه در کشور گردد.

➢ منابع آب

- برای جبران کمبود آب در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی، برداشت بی رویه آب از منابع زیرزمینی افزایش یافته و باعث نشست زمین در دشت ها شده و متعاقبا موجب آسیب دائمی و کاهش حجم مخازن زیرزمینی می‌گردد که امکان ترمیم آن نیز در آینده وجود نخواهد داشت. این پدیده یکی از پاسخ‌های برگشت ناپذیر تغییر اقلیم به سیستم‌های طبیعت است.
- از بین رفتن یا آسیب دیدن مخازن آب‌های زیرزمینی موجب کاهش ظرفیت نگهداری آب در لایه‌های زیرین خاک می‌گردد. در چنین شرایطی بارش‌ها به جای تغذیه منابع زیرزمینی موجب شست و شوی خاک‌های زراعی مرغوب از طریق زهکش‌های طبیعی می‌گردند.
- با کاهش بارش، ساکنین مناطق روستایی به شهرها مهاجرت می‌کنند که پیامد آن فشار به حاشیه شهرها در تامین منابع آب مورد نیاز است. این مناطق مجبور به استفاده از آب‌های زیرزمینی می‌گردند که پیامد آن نشست سطح زمین و به تبع آن خسارات یا تخریب تاسیسات زیربنایی خواهد بود.
- با کاهش حجم منابع آب‌های زیرزمینی و نشست دشت‌ها، حجم آبگیری سفره‌های زیرزمینی کاهش می-یابد و بارش‌های حوضه نمی‌توانند در سفره‌های زیرزمینی ذخیره شوند و در نتیجه به صورت روانآب از آن خارج می‌شوند. مناطق نیمه خشک بیش از سایر مناطق با چالش کم آبی و به خصوص آب شرب درگیر خواهند شد.
- سهم بارش برف از مجموع بارش سالانه کشور کاهش یافته که می‌تواند موجب عدم تغذیه مناسب منابع آب‌های زیرزمینی مناطق کوهستانی شود. کاهش منابع آبی در مناطق کوهستانی موجب تنش آبی در این مناطق شده و روند از بین رفتن پوشش‌های جنگلی را تسریع می‌نماید.
- درحال حاضر عمر مفید سدها، دوره برگشت بارش‌های سنگین، حداکثر بارش و سیل محتمل (PMP[1] و PMF[2]) تماما براساس داده‌های دیدبانی شده گذشته یا به عبارتی براساس رفتار اقلیم گذشته محاسبه می‌شود. درحالی که با توجه به تغییراقلیم رخ داده و سناریوهای مطرح، باید بر اساس داده‌های بارش شبیه‌سازی شده هیدرواقلیم حوضه‌ها که تا ۱۰۰ سال آینده تخمین شده است، صورت پذیرد تا بهره‌وری و عمر مفید آنها افزایش یابد.

➢ انرژی

- با کاهش بارش، تامین آب سد نیروگاه‌های برقآبی با مشکل مواجه شده و این گونه نیروگاه‌ها به تدریج از چرخه تولید حذف خواهند شد. مگر اینکه تغییراتی در کاربری آنها داده شود.

---

[1] Probable Maximum Precipitation

[2] Probable Maximum Flood

- در دهه‌های آتی نیاز به اجرای کشت‌های گلخانه‌ای که انرژی بیشتری را می‌طلبند، الزامی می‌شود. بنا بر این بایستی برنامه ریزی لازم برای تامین انرژی برق صورت گیرد.
- نیاز برق مصرفی کشور نسبت به میانگین برق مصرفی دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۶ تحت سناریوهای انتشار مختلف IPCC تا ۱۸۰ هزار مگاوات افزایش می‌یابد (مصرف دوره پایه حدود ۶۰ هزار مگاوات است).

چشم‌انداز برق تولیدی مورد نیاز کشوردر افق ۲۱۰۰ با لحاظ گرمایش جهانی

HadCM3

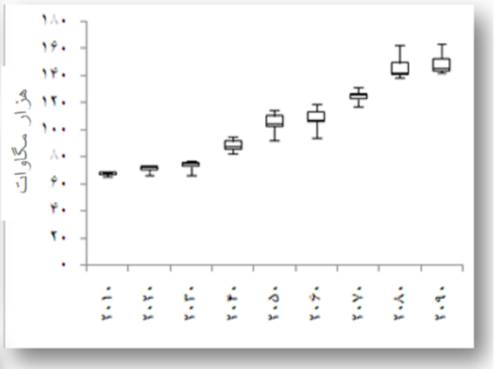
دوره	سناریوی انتشار		
	A1B	A2	B1
۲۰۱۱-۲۰۴۰	۳۰.۰	۲۸.۲	۳۳.۵
۲۰۴۱-۲۰۷۰	۱۰۷.۴	۸۵.۱	۱۱۶.۹
۲۰۷۱-۲۱۰۰	۱۸۱.۳	۱۷۷.۷	۱۷۵.۷

NCCCSM

دوره	سناریوی انتشار		
	A1B	A2	B1
۲۰۱۱-۲۰۴۰	۳۷/۷	۳۲/۹	۴۴/۳
۲۰۴۱-۲۰۷۰	۱۳۰/۳	۹۵/۶	۱۰۵/۴
۲۰۷۱-۲۱۰۰	۱۸۸/۶	۱۹۴/۹	۱۵۶/۸

MPEH5

دوره	سناریوی انتشار		
	A1B	A2	B1
۲۰۱۱-۲۰۴۰	۲۱/۹	۳۰	۳۴/۹
۲۰۴۱-۲۰۷۰	۱۰۸/۰۸	۹۵/۷	۹۳/۹
۲۰۷۱-۲۱۰۰	۱۹۸/۷	۱۹۸/۵	۱۸۹



مطابق پیش‌بینی‌ها، در سناریوی RCP2.6 تقاضای تامین انرژی از طریق نفت به یک چهارم کنونی کاهش می‌یابد و در مقابل سایر منابع تامین انرژی مانند بیوانرژی، تجدیدپذیر و هسته‌ای افزایش می‌یابد.

➢ مخاطرات جوی و اقلیمی

- میانگین بارش سالانه در آینده کاهش می‌یابد و بارش در دفعات کمتری رخ می‌دهد. در نتیجه تعداد روزهای خشک و آفتابی افزایش می‌یابد. بارش‌هایی هم که رخ می‌دهند عمدتا به صورت سیل آسا بوده و به جای تامین منابع آب و حل مشکلات کم آبی، باعث بروز خسارت خواهند شد.
- با توجه به اینکه هم اکنون طراحی تاسیسات زیرساختی، سیستم مدیریت جمع‌آوری روانآب شهری، مهندسی رودخانه، پل‌ها، جاده‌ها براساس رفتار بارش مطابق اقلیم گذشته، لازم است با توجه به شرایط گرمایش جهانی و وجود داده‌های شبیه‌سازی روزانه اقلیم آتی تا سال ۲۱۰۰ میلادی در سازمان هواشناسی کشور، در طراحی تاسیسات و ابنیه یادشده بازنگری به عمل آید تا از وارد شدن خسارات ناشی از بارش‌های سنگین و سیل‌آسا به آنها جلوگیری شود.
- استانداردها و دستوالعمل‌های طراحی و ساخت تاسیسات، ابنیه زیربنایی، ساختمان‌ها و سیستم‌های جمع آوری آب شهری نیازمند بازنگری هستند.
- ممکن است در برخی مناطق، میانگین‌های اقلیمی دهه‌های آتی با میانگین دوره آماری پایه برابر باشند اما افت و خیز یا رفتار آن‌ها متفاوت خواهد بود. چنین رفتاری سازگاری با تغییر اقلیم را با مشکل مواجه

می سازد.

- با افزایش توفان‌های دریایی فعالیت‌های اقتصادی در بنادر پرهزینه و ریسک سرمایه‌گذاری در آنها بالا می‌رود. ضمن این که تاسیسات ساحلی، راه‌ها و سایر ابنیه دچار خسارت می‌شوند. آستانه اقلیمی ارتفاع امواج دریا افزایش می‌یابد، لذا بایستی استانداردهای جدید در این ارتباط برای ایجاد تاسیسات ساحلی تدوین گردد تا مقاومت سواحل نسبت به تغییر اقلیم افزایش یابد.

➢ محیط زیست

- زندگی و جمعیت موجودات و اکوسیستم‌های دریایی به شدت به گرمایش جهانی حساسیت نشان می-دهند. این گروه موجودات و اکوسیستم‌ها با افزایش دمای هوا و پهنه‌های اقیانوسی به تدریج از چرخه زندگی و غذایی خارج می‌شوند. از این موارد می‌توان به فیتوپلانگتون‌ها، زئوپلانگتون‌ها، جلبک‌ها و مرجان‌ها اشاره کرد.
- افزایش دما موجب کاهش شوری آب اقیانوس‌ها به دلیل ذوب یخ‌های قطبی می‌گردد. بنا بر این الگوی گردش کلی آب در اقیانوس‌ها به هم خورده و تغییر اقلیم دائمی مناطق ساحلی را در پی خواهد داشت.
- دمای اقیانوس‌ها با تاخیر زمانی چندین ساله از افزایش دمای کره زمین متاثر می‌شود. ماندگاری افزایش دمای پهنه‌های اقیانوسی به مراتب بیشتر از خشکی‌ها است. با توجه به این که اقیانوس‌ها موتور محرکه انقلابات جوی هستند، دمای بالای پهنه‌های اقیانوسی می‌تواند باعث تداوم رخدادهای حدی جوی-اقلیمی گردد.
- پهنه‌های اقلیمی رایج (گرم و خشک، نیمه مرطوب، سرد و خشک و ...) تغییر می‌یابند. سهم سطح مناطق با اقلیم خشک افزایش و سهم مناطق نیمه مرطوب و مرطوب کاهش می‌یابد. بر اساس یکی از مطالعات انجام شده در پژوهشکده اقلیم شناسی وسعت پهنه‌های مرطوب خزری تا سال ۲۱۰۰ میلادی تا ۴۰ درصد کاهش خواهد یافت.
- در گستره جهانی با افزایش دمای زمین ضخامت یخ‌های قطبی بین ۱ تا ۲ متر در محدوده دریاهای یخی قطب شمال نازکتر شده است به طوری که درمقایسه با سال ۱۹۶۰ یخ‌های قطبی ۴۰ ٪ از ضخامت خود را از دست داده‌اند. این کاهش ضخامت با سرعت ۱۰ سانتی متر بر سال تداوم دارد. پیش‌بینی مدل‌های مختلف نشان می‌دهد که یخ‌های قطبی تا سال ۲۱۰۰ بکلی از بین می‌روند.
- با کاهش بارش گستره پهنه‌های اقلیم خشک حتی تا روی مناطق شهری گسترش می‌یابد. فراوانی رخداد توفان‌های گردوخاک و شن‌های روان افزایش یافته و باعث آلودگی هوا و کاهش دید در مناطق شهری می‌شود. مناطق کویری ایران و کشورهای عربستان و عراق مستعد توفان‌های شن و گردوخاک هستند.

➢ منابع طبیعی، جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری

- احتمال وقوع آتش‌سوزی در مناطق جنگلی افزایش می‌یابد. این مناطق همچنین در معرض افزایش آفات و امراض قرار گرفته و به تدریج از وسعت آنها کاسته می‌شود. در این زمینه لازم است سامانه‌های هشدار آتش‌سوزی جنگل ایجاد شوند.
- افزایش دما موجب کاهش ضریب آسایش زیست اقلیمی گردیده و برخی گونه‌های جانوری و گیاهی که توان سازگاری با تغییراقلیم را ندارند از زیستگاه دائمی خود مهاجرت کرده یا به تدریج از بین می‌روند.
- کم بارشی و خشکسالی موجب حذف برخی پهنه‌ها و اکوسیستم‌های آبی(دریاچه‌ها و باتلاق‌ها)، جنگلی، مراتع، تنوع زیستی و اکوتوریسم (صنعت گردشگری) می‌شود. پی‌آمد حذف مراتع و پوشش جنگلی تبدیل شدن بارش به سیل مخرب خواهد بود.
- با افزایش بارش‌های سنگین در حوضه‌های بالادستی، سدها از رسوبات ناشی از خاک‌های شسته شده حاصل از روانآب‌ها و سیل‌ها پر می‌شوند و عمر مفید آنها کاهش می‌یابد، لذا بایستی برنامه مدون آبخوان-داری و آبخیزداری توسعه یابد تا ضمن تغذیه منابع آب زیرزمینی، از پرشدن سدها توسط رسوبات جلوگیری شود.
- کاهش درختان و پوشش جنگلی به دلیل جنگل‌زدایی توسط انسان‌ها، خشکسالی‌های ناشی از تغییر اقلیم و آتش‌سوزی، توان جذب دی اکسید کربن توسط جنگل‌ها را به شدت کاهش داده است. از آنجا که هر درخت به طور متوسط می‌تواند در سال حدود ۲۲ کیلوگرم دی اکسید کربن هوا را جذب کند، الزامی است با تامین منابع مالی و برنامه‌ریزی‌های کلان بین بخشی، حفظ، احیاء، اصلاح و بهره برداری اصولی از جنگل و منابع طبیعی مورد توجه و حمایت قرار گیرد.

➢ اقتصادی و اجتماعی

- با افزایش دوره‌های خشکسالی و کم آبی، مهاجرت از مناطق روستایی افزایش می‌یابد. در نتیجه جمعیت حاشیه شهرهای بزرگ افزایش یافته و به دنبال آن ناهنجاری‌های اجتماعی، جرم و جنایت و آسیب‌های اجتماعی در این مناطق زیاد می‌شود.
- سهم اعتبارات حوادث غیرمترقبه از بودجه سالانه و برنامه‌های توسعه ۵ ساله افزایش یافته که موجب ناپایداری در بودجه و اختلال در برنامه‌های جاری و توسعه‌ای دولت می‌گردد.
- مهاجرت از روستاها، بخش‌ها و شهرستان‌های کوچک و مناطق آسیب‌پذیر و حساس به تغییر اقلیم به سمت شهرهای بزرگ افزایش می‌یابد. از جمله می‌توان به مهاجرت و تخلیه بخش‌هایی از استان‌های شرقی و جنوب شرق کشور اشاره کرد. این وضعیت موجب کاهش نرخ رشد اقتصادی در این مناطق و تبدیل شهرها به ده‌های بزرگ و سربار شدن هزینه‌های خدمات شهری در این گونه مناطق می‌شود.
- به دلیل وقوع خشکسالی‌های گسترده، گردوخاک و کمبود برخی از خدمات بهداشتی و رفاهی در مناطق کمتر توسعه یافته و روستاها، مهاجرت روستائیان به عنوان قطب اصلی تولیدات کشاورزی افزایش یافته و در نتیجه تولید مواد غذایی کاهش و واردات آن افزایش می‌یابد. این وضعیت موجب به خطر افتادن

امنیت غذایی کشور می‌شود. به طورکلی توسعه منطقه‌ای بایستی با لحاظ راهبرد توسعه پایدار انجام گیرد.

- **صنعت**

- با افزایش گردوغبار، از بین رفتن اکوسیستم‌های طبیعی و نامطلوب شدن نمایه زیست اقلیمی کشور، صنعت توریسم و اکوتوریسم از رونق می‌افتد که ضمن کاهش رشد اقتصادی، پدیده مهاجرت را نیز تشدید می‌کند.
- با عریان شدن مراتع و کاهش قابل توجه پوشش گیاهی، هزینه‌های تامین علوفه افزایش یافته و صنعت دامداری از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و بتدریج در مناطق حساس اقلیمی از بین خواهد رفت.
- با افزایش روزهای خشک و کاهش ابرناکی، ساعت آفتابی و تابش خورشید افزایش یافته و تولید برق از انرژی خورشیدی مقرون به صرفه خواهد شد. حتی درحال حاضر پهنه وسیعی از کشور بخصوص در مناطق مرکزی شامل دشت کویر، کویر لوت و مناطق حاشیه آن (که می‌توان آنجا را دریای انرژی نامید) مستعد ایجاد مزارع وسیع انرژی خورشیدی هستند. با ایجاد مزارع خورشیدی ضمن این که سهم کشور در تولید گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد، به منبع پایدار و رایگان انرژی نیز دست خواهد یافت. لازم به ذکر است هم اکنون کشورهای اروپایی در شمال آفریقا با ایجاد مزارع/ نیروگاه‌های خورشیدی انرژی برق تولیدی را از طریق بستر مدیترانه به اروپا منتقل می‌کنند. کشور عربستان نیز درحال سرمایه‌گذاری در این بخش برای تولید انرژی پاک است.
- به دلیل افزایش استفاده از سیستم‌های سرمایشی و تاثیر متقابل افزایش دما بر توان برق مصرفی کشور، پیش بینی می شود در انتهای قرن حاضر برق مصرفی کشور به حدود سه برابر میانگین مصرف دوره پنج ساله (۹۰-۱۳۸۶) افزایش یابد. لذا لازم است کارگروهی در وزارت نیرو بر روی پی‌آمدهای تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده و اثر آن بر مقدار برق مصرفی مطالعه نموده و ظرفیت لازم برای احداث نیروگاه‌های برق کشور را مورد بررسی قرار دهد.
- برای حضور در بازارهای بین‌المللی بایستی فنآوری‌های تولید انرژی پاک به ویژه انرژی خورشیدی به سرعت توسعه یابد. حمایت از شرکت‌های دانش بنیان مرتبط با موضوع در برنامه ششم توسعه راه‌گشا خواهد بود.
- مطابق پروتکل کیوتو، صنایع تولید کننده کربن موظف هستند مالیات مربوطه را پرداخت نمایند تا صرف بهبود و توسعه فناوری های پاک در دنیا شود. در این زمینه صنایعی که کربن مازاد بر سهمیه تولید می‌کنند به دنبال خرید سهمیه صنایع پاک بوده و دادوستد کربن از این طریق افزایش می‌یابد. در همین زمینه هرچند بایستی کشور همگام با جامعه جهانی به دنبال کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای باشد ولی بایستی در گام اول و به منظور کاهش هزینه‌های صنایع داخلی از طریق تعامل با شرکت‌های بزرگ بین‌المللی نسبت به هزینه کرد مالیات این شرکت‌ها در زمینه ارتقاء فناوری صنایع داخلی به منظور کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای اقدام نماید.

- با افزایش دما طول فصل تابستان افزایش یافته و زمستان‌ها ملایم‌تر می‌شوند، لذا صنعت تولید پوشاک نیازمند سازگاری و بازنگری در سیاست‌های تولید لباس‌های فصول گرم و سرد خواهد بود. در این زمینه نیاز است اتاق بازرگانی و صنایع سیاست‌های عملیاتی برای سازگاری با تغییر اقلیم را با همکاری سازمان-های مرتبط تدوین نماید.
- همبستگی بسیار قوی بین افزایش دمای کره زمین و افزایش ارتفاع سطح آب‌های آزاد وجود دارد. در قرن گذشته هماهنگ با افزایش دمای کره زمین، ارتفاع سطح آب اقیانوس ها ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر افزایش یافته است. ادامه روند جاری می‌تواند موجب افزایش سطح آب اقیانوس‌ها به مقدار حداقل ۵۰ سانتی متر تا سال ۲۱۰۰ شود. این شرایط موجب افزایش هزینه‌های کشور در بخش نگهداری و ارایه خدمات در بنادر جنوبی می‌گردد.

➢ **بهداشت و سلامت**

- با افزایش خشکسالی‌ها، تغییر کاربری اراضی و کاهش پوشش جنگلی، پدیده گردوغبار افزایش یافته و موجب افزایش بیماری‌های ریوی و تنفسی می‌شود. لذا لازم است برنامه‌ریزی لازم برای تاسیس بیمارستان‌های تخصصی در مناطق حساس به این بیماری‌ها صورت گیرد.
- با افزایش ساعات آفتابی، مقدارUV رسیده به سطح زمین افزایش یافته و به دنبال آن بیماری‌هایی مانند سرطان پوست و آب‌مروارید نیز افزایش می‌یابد. در این زمینه وزارت بهداشت بایستی برنامه‌ریزی‌های لازم را تدوین نماید.
- ضریب آسایش زیست اقلیمی کاهش یافته و تنش گرما از آستانه تحمل موجودات زنده فراتر خواهد رفت و بیماری‌های مرتبط با تنش گرمایی افزایش می‌یابد.
- با توجه به افزایش آلودگی و گردوغبار و طغیان برخی بیماری‌های ریوی، مالاریا و ... صنعت تولید دارو می‌بایستی نیازهای روزافزون این بخش را تامین نماید.
- بسیاری از بیماری‌ها و آفات به ویژه خاص مناطق گرمسیری در انسان، حیوان و گیاهان طغیان کرده و به طورکلی سلامتی انسانها، حیوانات و گونه‌های گیاهی به مخاطره می‌افتد.

➢ **کشاورزی و امنیت غذایی**

- با تغییر پهنه‌های اقلیم زراعی و افزایش نیاز آبی، عملکرد محصولات زراعی و باغی افت کرده که وابستگی کشور به واردات و کاهش امنیت غذایی را به دنبال خواهد داشت.
- حتی اگر بارش در کشور کاهش نیابد، افزایش دما موجب افزایش نیاز آبی محصولات باغی و زراعی خواهد شد. به دلیل نبود منابع آب سطحی به ناچار افزایش نیاز آبی از طریق آب‌های زیرزمینی جبران خواهد شد که موجب لطمه به منابع آب‌های زیرزمینی می‌شود. براساس برآوردهای بین المللی ایران جزء کشورهای در رتبه اول مصرف منابع آب‌های زیرزمینی است. برای این منظور لازم است قوانین لازم برای عدم استفاده از منابع و سرمایه‌های آب‌های زیرزمینی تدوین گردد.

- از آوردهای تغییر اقلیم و مدیریت منابع آب، استمرار و تشدید افت سطح آب سفره‌های زیرزمینی است. مقدار کسری مخزن سفره‌ها که در اواخر دهه ۵۰ حدود ۳۰۰-۲۰۰ میلیون مترمکعب بود در سال‌های اخیر به بیش از ۱۰ میلیارد مترمکعب رسیده است. نتیجه این امر موجب شده تا درحال حاضر از ۶۰۹ دشت کشور تعداد ۴۹۹ دشت با افت شدید و نگران کننده سطح آب مواجه گردند. به نحوی که درحال حاضر ۲۹۷ دشت از نظر برداشت آب ممنوعه و بحرانی اعلام شده و مقدار افت سالانه سطح سفره‌های آب‌های زیرزمینی در اغلب دشت‌ها به حدود ۱ تا ۳ متر در سال رسیده است(فهمی، ۱۳۹۴).
- پیامدهای به هم خوردن تعادل و برداشت بی رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، پدیده‌هایی نظیر افت کیفیت آب‌های زیرزمینی و انتقال آب‌های شور به سطح خاک است که تشدید شوری خاک‌های کشاورزی و درنتیجه کاهش عملکرد و بیابانی شدن را در پی دارد. متاسفانه بعضی گزارش‌ها حاکی از پیش آمد چنین فاجعه‌ای در بعضی مناطق استان‌های خراسان رضوی و جنوبی، همدان و برخی استان های دیگر است.
- برخی بیماری‌ها و آفات خاص مناطق گرمسیری طغیان می‌کند و باعث اثرات سوء بر عملکرد گیاهان می‌شود. افزایش آفات و امراض می‌تواند هزینه‌های تولیدات کشاورزی را افزایش داده و عملکرد آنها را کاهش دهد.
- اثر گذاری‌های زیانبار تغییر اقلیم بر محصولات استراتژیک کشور و به ویژه گندم به علت گستردگی کشت آن بیشتر از دیگر محصولات خواهد بود. به طورکلی به علت کمبود آب، افزایش دمای هوا و کاهش وسعت زمین های مناسب کشت، مقدار تولید برخی محصولات کاهش خواهد یافت.
- با تغییر اقلیم زراعی لازم است دستگاه‌های مرتبط با تحقیقات کشاورزی مطالعات گسترده‌ای برای تولید و معرفی گونه‌های گیاهی و باغی جدید سازگار با تغییر اقلیم ارائه دهند. از آنجا که معرفی گونه‌های جدید موضوعی زمان‌بر است بایستی از هم اکنون مراکز تحقیقات کاربردی کشاورزی در این خصوص اقدامات لازم را با حمایت دولت انجام دهند.
- پهنه‌های اقلیم کشاورزی کشور تغییر می‌کنند. این وضعیت موجب خواهد شد تا برخی از محصولات کشاورزی که برای سالیان سال در مناطق بومی خود کشت می شدند، امکان کشت و عملکرد اقتصادی خود را در مناطق دائمی‌شان از دست بدهند و در مناطق با اقلیم جدید و سازگار کشت شوند. به طورکلی اقلیم کشورمان به سمت اقلیم گرم و حاره‌ای پیش خواهد رفت. به عنوان مثال ممکن است کشت زعفران و پسته تاثیر منفی از تغییر اقلیم دریافت نماید و پهنه‌های کشت آن به عرض‌های بالاتر جابجا شود. حتی ممکن است کشت این محصولات در سایر نقاط کشور اقتصادی‌تر و از نظر اقلیمی مناسب‌تر شود و ممکن است ایران رتبه خود را در تولید این گونه محصولات از دست بدهد. بنابراین لازم است گونه‌های جدید سازگار با گرما شناسایی و کشت شود. امکان کشت محصولات گرمسیری در عرض‌های بالاتر مهیا گردد.
- با افزایش دما به دلیل کاهش شاخص زیست اقلیمی دامی، تولیدات دامی کاهش می‌یابد. لذا بایستی روی گونه‌های دامی سازگار با گرما تحقیق شود.

- افزایش دما، به خصوص در زمستان، موجب کاهش طول دوره سرما و عدم برآورد نیاز سرمایی[1] محصولاتی نظیر زعفران، پسته و ... گردیده که موجب کاهش عملکرد آنها می شود.
- افزایش دمای زمستان موجب خاتمه زود هنگام سرمای زمستانه و در نتیجه گلدهی زودرس می‌شود که گلدهی زودهنگام موجب کاهش عملکرد محصولات زراعی و باغی و افزایش پتانسیل خطرپذیری سرمازدگی می‌گردد.

➢ **دفاعی و امنیت ملی**

- افزایش دما و غیرقابل تحمل شدن آن برای انسان‌ها و خطرناک شدن عملیات نظامی در برخی مناطق ایران، عراق، کشورهای عربی و خاورمیانه.
- افزایش دما و خشکسالی و شدت گرفتن آتش سوزی جنگل‌ها می‌تواند تهدیدی برای پایگاه‌های آموزش نیروها و سایر تاسیسات نظامی باشد.
- افزایش سطح آب‌ها و ارتفاع امواج و تشدید جزر و مدها می‌تواند منجر به زیر آب رفتن سواحل و جزایر گردیده و باعث آثار زیانبار آسیب بر سواحل و تاسیسات نظامی ساحلی و جزایر شود.
- رقابت بر سر کاهش منابع آبی و افزایش درگیری میان کشورهای همسایه و حتی بین حوضه‌ای و استانی در داخل کشور.
- رقابت شدید بر سر تملک و اکتشاف منابع جدید در جزایر و خشکی‌هایی که در اثر ذوب شدن یخ‌های قطبی از زیر یخ بیرون می‌آیند.
- افزایش شدت و تکرار وقوع سیل و توفان‌های دریایی و آثار مخرب آن‌ها بر پایگاه‌ها و تاسیسات نظامی و همچنین آمادگی کمک به مردم در مناطق خسارت زده (رخدادی مانند توفان هائیان فیلیپین با ۶۰۰۰ کشته و بیش از ۱۴ میلیون آواره و با رکورد شدیدترین توفان در طول تاریخ نشان داد که یک پدیده جوی مخرب می‌تواند آثار زیانبار شدید انسانی و اقتصادی به همراه داشته باشد).
- چالش‌های امنیتی بر سرمنابع آبی، رودخانه‌های مرزی، چشمه‌های گردوغبار و حذف عوارض طبیعی (مانند رودخانه‌ها و دریاچه های مرزی) محدوده مرزهای بین المللی می‌تواند موجب بروز تنش بین کشورهای همجوار گردد.
- صنعت آب و انتقال آن از کشورهای غنی افزایش می‌یابد و آب به کالایی ارزشمند تبدیل شده که تجارت آن می‌تواند در روابط بین کشورها تاثیرگذار باشد.
- به طورکلی افزایش دما، گردوخاک و افزایش مخاطرات جوی، اقلیمی و اقیانوسی می‌تواند روی توان نیروهای دفاعی کشورها تاثیر منفی گذاشته و قدرت آن‌ها در جنگ احتمالی را کاهش دهد.
- تاسیسات نظامی در برابر وقوع رخدادهای حدی نظیر توفان، سیل و توفان‌های دریایی که در آینده

1. Cooling Degree Days

فراوانی آنها افزایش می‌یابد، باید مستحکم شوند و احداث تاسیسات زیربنایی نظامی بایستی براساس مطالعات رفتار هیدرواقلیمی آینده منطقه باشد.

- با شرایط اقلیمی جدید، مهاجرت از مناطق آسیب پذیر اقلیمی کشور به سمت مناطق با اقلیم نسبتا مناسب افزایش یافته و جمعیت مناطق مرزی کاهش می‌یابد. از آن جمله می‌توان به افزایش احتمالی مهاجرت از استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، خوزستان، کرمانشاه، ایلام و ... اشاره کرد. این شرایط می‌تواند به تهدیدی برای امنیت کشور در مناطق مرزی تبدیل گردد.
- افزایش خشکسالی، گردوخاک و کم آبی، شرایط احتمالا مشابهی را در کشورهای حاشیه خلیج فارس ایجاد خواهد کرد و بخشی از جمعیت آن‌ها به کشورهایی با شرایط اقلیمی مناسب مهاجرت خواهند کرد، هر چند کشورهای یادشده در حال برنامه‌ریزی برای مقابله با آثار سوء تغییر اقلیم و سازگاری با آن می‌باشند.
- با گسترش خشکسالی، پهنه‌های بیشتری از ایران و کشورهای منطقه برای کشاورزی غیر قابل استفاده خواهند شد و این کشورها از نظر غذایی به سایر کشورها نیازمند خواهند بود.

➢ بیمه

- حدود ۸۰ درصد بلایای طبیعی کره زمین منشاء آب و هوایی دارند که تغییر اقلیم موجب افزایش وقوع این گونه بلایا خواهد شد. در اثر تغییر اقلیم سهم بودجه حوادث غیرمترقبه از تولید ناخالص ملی کشور افزایش می‌یابد. در این زمینه نقش صنعت بیمه پررنگ شده و سازمان‌های دولتی، بخش خصوصی و عموم مردم تمایل بیشتری به بیمه حوادث غیرمترقبه خواهند داشت.
- صنعت بیمه محصولات کشاورزی نیازمند توسعه و افزایش حجم سرمایه گذاری دولت و نیازمند بازنگری در سال‌های آینده خواهد بود.
- به طورکلی در آینده گردش مالی در صنعت بیمه افزایش می‌یابد که می‌تواند به توسعه این صنعت کمک کند. از طرفی افزایش ریسک بیمه موجب افزایش هزینه‌های تولید و سرمایه‌گذاری می‌شود.

➢ دریا و سواحل

- جنگل‌های حرا مناطق تخم‌ریزی و گذران مراحل لاروی بسیاری از موجودات دریایی از سخت پوستانی همچون میگو، نرم تنان و ماهیان هستند. بسیاری از این موجودات در شبکه‌های غذایی دریا غذای لاک پشت‌ها، نهنگ‌ها، دلفین‌ها، کوسه‌ها و پرندگان ساحلی بوده و لذا کاهش ذخایر و یا حذف آنها پی‌آمدهای ناگواری بر روی بوم سازندگان مختلف دارد. مهمترین پی‌آمد تغییر اقلیم که سلامت این زیستگاه‌های با ارزش را به خطر می‌اندازد، بالا آمدن سطح تراز آب دریا است که به خاطر ساختار بستر گلی در این زیستگاه ها قابل توجه است.
- زیستگاه‌های مرجانی از متنوع‌ترین زیستگاه‌های دریایی جهان محسوب می‌شوند. آبسنگ‌های مرجانی

ایران در اطراف ۱۴ جزیره و منطقه ساحلی در خلیج فارس و دریای عمان وجود دارند. این مناطق علاوه بر ایجاد جاذبه‌های تفریحی و گردشگری، نقش مهمی در افزایش تنوع گونه‌ای منطقه و رونق فعالیت های شیلاتی دارند. این زیستگاه‌ها همچنین نقش مهمی در حفاظت سواحل در مقابل اثر امواج دارند. تغییر اقلیم با تغییرات شیمی آب دریا، افزایش دمای آب دریا و تغییر سطح تراز آب دریا و مکانیزم‌های دیگر روی آبسنگ‌های مرجانی تاثیرات منفی دارد و باعث سفید شدگی و مرگ و میر مرجان‌ها می‌شود.

- زیرساخت‌های ساحلی شامل حمل و نقل (بنادر، جاده ها، خطوط ریلی و فرودگاه ها)، تامین آب و انرژی و شبکه‌های فاضلاب به شدت به آب و هوای حدی و رویدادهای اقلیمی مانند سیلاب‌های موقتی و دائمی ناشی از بارش‌های حدی، بادهای شدید، برکشند توفان و افزایش تراز آب دریا حساس می‌باشند. به دلیل توسعه در سواحل کشور، لحاظ کردن عوامل تغییرات اقلیمی در بررسی چرخه عمر صنایع، زیرساخت ها و حمل و نقل و شبکه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.
- اثرات ساحلی تغییر اقلیم موج، علاوه بر خط ساحلی، تابعی از جهت و دوره تناوب موج نیز است که می-تواند بر پشته شدن و انعکاس اثرگذار باشد. موج دوره‌ای با دوره تناوب بلند خطر مهمی برای سازه‌های دریایی و کشتیرانی بوده و می تواند سبب ایجاد سیلاب‌های بزرگی در خطوط ساحلی با حاشیه شیب دار شود. میان افزایش تراز دریا با میزان فرسایش مشاهده شده ساحل نیز، تا حدی ارتباط آماری وجود دارد. هرچند، تاثیر آن در منطقه ساحلی در مقایسه با سایر فرآیندها کم است. دلتاها به دلیل پستی، به تغییرات آب و هوایی حساسیت زیادی دارند و علاوه بر عوامل موجود در خود مانند تغییر کاربری زمین، ساخت سد، آبیاری، برداشت شن و ماسه، استخراج منابع زیرسطحی و شهرسازی، در معرض اثرات اقلیمی از طرف رودخانه‌ها در بالادست و اقیانوس‌ها در پایین دست (مانند برکشند توفان) نیز قرار دارند.
- تغییر پارامترهای محیطی همچون دما، شوری، سرعت و جهت وزش باد، جریانات دریایی، قدرت فراجوشی، آلودگی و ... زنجیره‌های غذایی رادر زیستگاه‌های دریایی تحت تاثیر قرار می‌دهد. افزایش دمای آب دریا منابع خرچنگ‌های دراز (لابستر)، صدف‌های دوکفه‌ای خوراکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین ذخایر ماهیان شیلاتی نیز به دلیل مهاجرت ماهیان به اعماق پایین‌تر و یا دیگر نواحی دریایی از این پدیده تاثیر می‌پذیرد. این موضوع به ویژه درخصوص کشت ماهی در قفس در آب‌های کشور حایز اهمیت است.
- فرآیند تغییر اقلیم با مسیر جریانات دریایی و مسیرهای انتشار برخی گونه‌ها، باعث ورود گونه‌های مهاجم به سایر مناطق می‌شود. همچنین در مواردی با حذف برخی شکارگران کلیدی در یک منطقه گونه‌های دیگر افزایش می‌یابد که می تواند مضر باشد.

۴-۲- روش های سازگاری

- تدوین قانون افزایش تاب‌آوری و سازگاری با تغییر اقلیم و تدوین احکام آن در برنامه‌های توسعه ۵ ساله،
- تشویق و پشتیبانی دولت از صنعت بیمه،

- تدوین سیاست های جدید کشت و برنامه جامع سازگاری با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی،
- ایجاد سامانه ملی پایش و پیش نگری حسابداری آب با هدف به روزرسانی خودکار بیلان آبی برای بهره برداری در مدیریت منابع آب،
- اجرای بند ۷ و ۸ سیاست های کلان نظام (مصوبه مجمع تشخیص مصلحت نظام) برای شناسایی بلایای جوی و اقلیمی و پیش بینی آنها،
- عملیاتی کردن ابلاغیه مقام معظم رهبری به سران قوا و سیاست‌های زیست محیطی در راستای افزایش مقاومت اقتصاد کشور به تغییر اقلیم،
- بکارگیری سیاست‌های جایگزین کشاورزی و باغداری در مناطق روستایی متأثر از خشکسالی و تغییر اقلیم مانند حمایت از توسعه صنایع کوچک در مناطق روستایی برای جلوگیری از مهاجرت روستائیان،
- حمایت از برنامه‌های آبخیزداری، حفظ، احیاء، اصلاح و بهره برداری اصولی از منابع طبیعی،
- تدوین بسته های حمایتی از بیمه بلایای جوی اقلیمی،
- اجرا و عملیاتی کردن سامانه‌های نوین هشدار مخاطرات جوی و اقلیمی،
- بازنگری استانداردها و دستورالعمل های مهندسی آب، عمران و طراحی تاسیسات زیرساختی،
- توسعه همکاری‌ها و تعاملات بین‌المللی برای کاهش پیامدهای زیانبار تغییر اقلیم.

۴-۳-فرصت ها

علیرغم چالش‌ها و پیامدهای زیانبار تغییر اقلیم، می‌توان با مدیریت صحیح آن را از چالش به یک فرصت در جهت رشد اقتصادی و افزایش تعاملات بین المللی تبدیل کرد. برخی از فرصت‌هایی که می‌تواند تغییر اقلیم برای کشور ایجاد نماید به شرح زیر است:

- تبدیل ایران به قطب بین المللی تولید انرژی پاک با استفاده از منابع عظیم انرژی خورشیدی در مناطق مرکزی و جنوبی کشور. لازم به ذکر است هم اکنون کشورهای اروپایی در شمال آفریقا (مانند مراکش که بزرگترین مزرعه انرژی خورشیدی جهان را راه اندازی کرده است) با ایجاد مزارع/ نیروگاه های خورشیدی انرژی برق تولیدی را از طریق بستر مدیترانه به اروپا منتقل می‌کنند. کشور عربستان نیز درحال سرمایه-گذاری کلان در این بخش می باشد،
- جایگزینی انرژی های باد، امواج دریا و به ویژه انرژی خورشیدی که سبب می شود تا سوخت های فسیلی برای مصارفی غیر از تولید انرژی (مانند صنعت پتروشیمی و ...) برای نسل‌های آینده ذخیره شده و تولید گازهای گلخانه‌ای نیز کاهش یابد،
- کاهش مصرف نفت در سناریوی RCP2.6 از حدود سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی شده‌است. در سناریوی RCP4.5 در حدود سال ۲۰۲۵ تقاضای نفت ثابت می‌ماند، در سناریوهای RCP6 و RCP8.5 تقاضای نفت از حدود سال ۲۰۷۰ کاهش می‌یابد. چنین شرایطی می‌تواند با برنامه‌ریزی صحیح فرصتی برای عبور از اقتصاد نفتی و کاهش وابستگی کشور به نفت باشد،

- برنامه‌ریزی و حمایت از شرکت‌های دانش بنیان برای ارتقاء فناوری‌های نوین در تولید انرژی تجدیدپذیر امواج دریا،باد، زمین‌گرمایی و به ویژه خورشیدی و صادرات محصولات یادشده،
- برنامه‌ریزی برای تغییر تدریجی در رژیم غذایی کشور در راستای کاهش یا حذف محصولات دارای محدودیت اقلیمی،
- تغییر در رویکرد مدیریت نظام و جامعه برای اعلام نیاز به خدمات تخصصی هواشناسی بویژه در حوزه تغییر اقلیم و اثرات ناشی از آن،
- بهینه سازی انرژی و حفظ منابع برای نسل های آتی و مدیریت و استفاده پایدار از منابع،
- توسعه تبادل اطلاعات با سازمان های داخلی و جهانی،
- تولید دانش سازگاری با اقلیم و ایجاد رشته‌های تحصیلی مرتبط با «مهندسی اقلیم» با هدف بهبود سیستم‌ها در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و سیستم‌های با بهره وری بالای انرژی و رهبری علمی در منطقه،
- امکان کشت دوم برخی محصولات با توجه به تغییر رژیم دمایی و کاهش یا حذف روزهای یخبندان در برخی مناطق کشور.

منابع

سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۴، گزارش اقلیم پایه کشور و چشم انداز آن تحت گرمایش جهانی (گزارش تلفیقی دستگاههای مختلف)، ۱۱۲ صفحه.

پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۶، آشکارسازی تغییر اقلیم کشور(بخش مدلسازی آماری و دینامیکی تغییر اقلیم)، پروژه خاتمه یافته، مجری پژوهشکده های هواشناسی و اقلیم شناسی، کارفرما: سازمان هواشناسی کشور.

صبوری غ.، ۱۳۹۳، مطالعه تغییرات پهنه های اقلیمی ایران دردوره ۲۰۹۹-۲۰۱۰ تحت پدیده گرمایش جهانی با استفاده از ریزمقیاس نمایی مدل های گردش کلی جو ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۸۵ صفحه.

بابائیان ایمان، کریمیان مریم، مدیریان راهله، ۱۳۹۶، پیش نگری فراسنج های هیدرواقلیمی کشور با بکارگیری مدل های گردش کلی سری CMIP5: دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۱، گزارش نهایی پروژه داخلی، پژوهشکده اقلیم شناسی، ۳۵ صفحه.

رحیم زاده ف.، بابائیان، ا.، ۱۳۹۳، شواهد، چشم انداز و پیامدهای گرمایش جهانی در مقیاس های جهانی و ایران، کنفرانس ملی هواشناسی ایران، دانشگاه یزد.

مرکز ملی خشکسالی ومدیریت بحران، گزارش های فنی، آمار و اطلاعات.

فهمی ه.، ۱۳۹۴،، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب، ۴۴ صفحه (وزارت نیرو)

Rahimi, M. and Hejabi, S. (2017), Spatial and temporal analysis of trends in extreme temperature indices in Iran over the period 1960–2014. Int. J. Climatol. doi:10.1002/joc.5175.

Van Vuuren, D. P., and Coauthors (2011), The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change, 109, 5-31, doi:10.1007/s10584-011-0148-z

Feng, S., Fu, Q. (2013) Expansion of global dry lands under a warming climate, Atmospheric chemistry physics, 13, 10081-10094.

Wang L., Cole J., Bartlett P., Verseghy D., Derksen C., Brown R., Salzen K. V, (2015) Investigating the spread in surface albedo for snow-covered forests in CMIP5 models, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 10.1002/2015JD023824, 1104-1119.

پیوست‌ها

پیوست ۱: معرفی مختصر سناریوهای RCP

هیات بین الدولی تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود(AR5) از سناریوهای واداشت تابشی به عنوان نماینده خط سیر غلظت(RCP[1]) گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی اکسید کربن استفاده کرده است. در این سناریوها که بیشتر به جنبه‌های اقتصادی- اجتماعی تغییر اقلیم و نقش آن در توسعه پایدار و مدیریت ریسک اشاره شده، تأکید اصلی بر کاهش گازهای گلخانه‌ای و روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم است. سناریوهای یادشده بر اساس میزان واداشت تابشی سامانه جو-زمین در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده‌اند. واداشت تابشی عبارت از تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و بازگشتی به فضا توسط سامانه جو-زمین است. واداشت مثبت موجب افزایش و واداشت منفی موجب کاهش دمای سامانه جو-زمین می‌گردد. تغییرات واداشت ارتباط مستقیم با تغییرات غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو دارد. در سناریوهای RCP سعی شده است این تغییرات با توجه به سطح فنآوری، وضعیت اجتماعی و اقتصادی و خط مشی کشورها در آینده، لحاظ گردد. با این نگرش چهار سناریوی متفاوت به نام‌های RCP2.6(3.1)، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 طراحی شده‌اند. میزان واداشت تابشی، غلظت دی‌اکسید کربن معادل، افزایش دمای ناشی از آن در سال ۲۱۰۰، نحوهٔ تغییرات در بازهٔ زمانی حال حاضر تا ۲۱۰۰ و سناریوی معادل آن در گزارش قبل IPCC یعنی AR4، در جدول زیر نشان داده‌شده‌است.

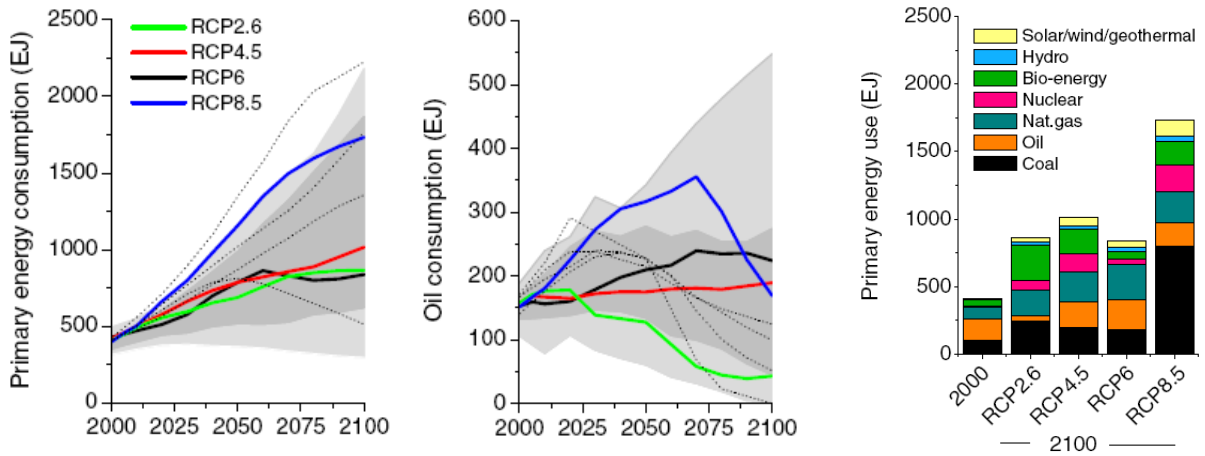
جدول ۱- مشخصات سناریوهای واداشت تابشی (RCP) مورد استفاده در گزارش پنجم IPCC

Name	Radiative forcing	CO_2 equiv (p.p.m.)	Temp anomaly (°C)	Pathway	SRES temp anomaly equiv
RCP8.5	8.5 Wm^2 in 2100	1370	4.9	Rising	SRES A1F1
RCP6.0	6 Wm^2 post 2100	850	3.0	Stabilization without overshoot	SRES B2
RCP4.5	4.5 Wm^2 post 2100	650	2.4	Stabilization without overshoot	SRES B1
RCP2.6 (RCP3PD)	3Wm^2 before 2100, declining to 2.6 Wm^2 by 2100	490	1.5	Peak and decline	None

مطابق جدول، در سناریوی RCP8.5 میزان غلظت دی‌اکسیدکربن معادل در سال ۲۱۰۰ به ۱۳۷۰ppm(قسمت در میلیون) خواهد رسید که واداشت تابشی آن برابر ۸/۵ وات بر متر مربع خواهد بود. این واداشت مثبت باعث افزایش دمای کره زمین به میزان ۴,۹ درجه‌سلسیوس خواهد شد. مشخصات سایر سناریوها در جدول نشان‌داده شده است. غلظت حال حاضر دی‌اکسیدکربن حدود ۴۳۰ppm است.

[1] Representative Concentration Pathways

شکل ۱ نشان می‌دهد، علیرغم افزایش مصرف انرژی، مصرف نفت کاهش می‌یابد. سهم هر یک از انواع منابع تامین انرژی در شکل نشان داده‌شده است.



شکل ۱- خط مصرف انرژی و مصرف نفت. علیرغم افزایش مصرف انرژی، مصرف نفت کاهش می‌یابد.

- **سناریوی** RCP2.6

این سناریو توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است و در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن (بین سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۵۰) به حدود ۳,۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲,۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه ای به میزان قابل توجی کاهش یابند. تنها سناریویی که در آن واداشت تابشی و همچنین غلظت دی اکسید کربن دارای یک نقطه بیشینه می‌باشد، سناریوی RCP3 است.

- **سناریوی** RCP4.5

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴,۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

- **سناریوی** RCP6

در سناریوهای RCP6، RCP4.5 و RCP3 با کاهش واداشت‌های تابشی، میزان افزایش دی اکسید کربن نیز کاهش می‌یابد. سناریوی انتشار RCP6 توسط گروه مدل سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند.

- **سناریوی** RCP8.5

بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، دمای کره زمین مطابق با خط سیر سناریوی انتشار RCP 8.5 پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان8.5 وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی اکسید کربن به بیش از ۱۰۰۰ppm رسیده و همچنان روند افزایشی خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفسور کیوان ریاحی در موسسه بین المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IASA اتریش طراحی شده که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است.

پیوست۲: مشخصات مدل‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این گزارش، از مدل های گردش کلی سری CMIP5[1] هستند. مدل‌های یادشده یکبار با هدف راستی آزمایی خروجی آنها برای دوره گذشته ۲۰۰۶-۱۹۸۵ اجرا شده‌اند و نتایج تصحیح شده‌اند. داده‌های CMIP5 از منابع گوناگون از جمله (cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/data_portal.html) و (ftp://gdo-dcp.ucllnl.org/pub/dcp/archive/cmip5/global_mon/BCSD) قابل دریافت هستند. در جدول زیر مشخصات مدل‌ها و سناریوهای در دسترس آنها آورده شده است. بیشترین تعداد اجرا با ۳۶ مدل گردش کلی مربوط به سناریوی RCP4.5 می‌باشد که سناریوی نسبتا متعادل در نظر گرفته می‌شود و کمترین اجرا مربوط به سناریوی RCP6.0 با تعداد ۲۱ مدل گردش کلی می‌باشد. تعداد مدل‌های اجرا شده برای دو سناریوی باقیمانده RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۲۸ و ۳۴ مدل است.

جدول۲-مشخصات مدل های گردش کلی سری CMIP5 (Wang et al., 2015 ؛ Feng and Fu, 2013)

ردیف	نام مدل	تفکیک افقی (lon.×Lat.)	نام مرکز(گروه) مدل سازی	کشور	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
۱	ACCESS1-0	1.875×1.25	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization and Bureau of Meteorology	استرالیا	–	✓	–	✓
۲	ACCESS1-3	1.875×1.25		استرالیا	–	✓	–	✓
۳	BCC-CSM1-1	2.815×2.815	Beijing Climate Center	چین	✓	✓	✓	✓
۴	BCC-CSM1-1-m	2.815×2.815		چین	✓	✓	✓	–
۵	BNU-ESM	2.8×2.8	Beijing Normal University	چین	✓	✓	-	✓
۶	CanESM2	2.815×2.815	Canadian Center for Climate	کانادا	✓	✓	-	✓
۷	CCSM4	1.25×0.9	National Center for Atmospheric Research	آمریکا	✓	✓	✓	✓
۸	CESM1-BGC	1.25×0.9		آمریکا	-	✓	-	✓
۹	CESM1-CAM5	1.25×0.9		آمریکا	✓	✓	✓	✓
۱۰	CMCC-CM	0.75×0.75	Centro Euro-Mediterraneo per i Combiamenti Clamatici	ایتالیا	-	✓	-	✓
۱۱	CMCC-CMS	1.875×1.875		ایتالیا	-	✓	-	✓
۱۲	CNRM-CM5	1.4×1.4	Centre National de Recherches Meteorlogiques	فرانسه	✓	✓	-	✓
۱۳	CSIRO-Mk3-6-0	1.875×1.875	Commonwealth Scientific and Industrial	استرالیا	✓	✓	✓	✓

[1] Coupled Model Intercomparison Project-Phase 5

					Research			
✓	-	✓	✓	اروپا	EC-EARTH Consortium	1.125×1.1215	EC-EARTH	۱۴
✓	-	✓	✓	چین	Institute for Atmospheric Physics, CAS	2.815×3.0	FGOALS-g2	۱۵
✓	✓	✓	✓	چین	First Institute of Oceanography	2.8×2.8	FIO-ESM	۱۶
✓	✓	✓	✓	آمریکا	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.5×2.0	GFDL-CM3	۱۷
✓	✓	✓	✓	آمریکا		2.5×2.0	GFDL-ESM2G	۱۸
✓	✓	✓	✓	آمریکا		2.5×2.0	GFDL-ESM2M	۱۹
✓	✓	✓	✓	آمریکا	NASA Godard Institute for Space Studies	2.5×2.0	GISS-E2-H	۲۰
				آمریکا		2.5×2.0	GISS-E2-H-CC	۲۱
✓	✓	✓	✓	آمریکا		2.5×2.0	GISS-E2-R	۲۲
–	–	✓	–	آمریکا		2.5×2.0	GISS-E2-R-CC	۲۳
✓	✓	✓	✓	کره جنوبی	National Institute of Meteorological Research	1.875×1.25	HadGEM2-AO	۲۴
✓	-	✓	-	انگلیس	Met Office Hadley Centre	1.875×1.25	HadGEM2-CC	۲۵
✓	✓	✓	✓	انگلیس	Met Office Hadley Centre	1.875×1.25	HadGEM2-ES	۲۶
✓	–	✓	–	روسیه	Institute for Numerical Mathematics	2.0×1.5	INMCM4	۲۷
✓	✓	✓	✓	فرانسه	Institute Pierre-Simon Laplace	3.75×1.875	IPSL-CM5A-LR	۲۸
✓	✓	✓	✓	فرانسه		2.5×1,25	IPSL-CM5A-MR	۲۹
				فرانسه		3.75×1.875	IPSL-CM5B-LR	۳۰
✓	✓	✓	✓	ژاپن	Atmospheric and ocean Research Institute	1.40×1.40	MIROC5	۳۱
✓	✓	✓	✓	ژاپن	Agency for Marine-Earth Science and Technology	2.815×2.815	MIROC-ESM	۳۲
✓	✓	✓	✓	ژاپن		2.815×2.815	MIROC-ESM-CHEM	۳۳
✓	–	✓	✓	آلمان	Max Plank Institute Fur Meteorologie	1.875×1.875	MPI-ESM-LR	۳۴
✓	–	✓	✓	آلمان			MPI-ESM-MR	۳۵
✓	✓	✓	✓	ژاپن	Meteorological Research Institute	1.125×1.125	MRI-CGCM3	۳۶
✓	✓	✓	✓	نروژ	Norwegian Climate Centre	2.5×1.875	NorESM1-M	۳۷
✓	✓	✓	✓	نروژ		2.5×1.875	NorESM1-ME	۳۸
۳۴	**۲۱**	**۳۶**	**۲۸**	تعداد مراکز و مدل‌های مورد استفاده در سناریوهای مختلف				