مبانی تغییر آب و هوا (اقلیم) و پیامدهای آن

تألیف
دکتر منوچهر فرج زاده
استاد دانشگاه تربیت مدرس

دکتر الهام قاسمی فر

مبانی تغییر آب و هوا (اقلیم) و پیامدهای آن

تالیف:

دکتر منوچهر فرج زاده

استاد دانشگاه تربیت مدرس

دکتر الهام قاسمی فر

این اثر با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور تالیف و انتشاریافته است.

■ سرشناسه: فرج‌زاده، منوچهر، ۱۳۴۴ - ■ عنوان و نام پدیدآورنده: مبانی تغییر آب و هوا (اقلیم) و پیامدهای آن/ منوچهر فرج‌زاده اصل، الهام قاسمی‌فر. ■ مشخصات نشر : تهران: نشر انتخاب، ۱۳۹۸. ■ مشخصات ۴۵۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.

ISBN: 978-622-6079-79-2

■ وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا. ■ موضوع: تغییرات اقلیمی -- جنبه‌های زیست‌محیطی ■ موضوع: Climatic changes -- Environmental aspects ■ شناسه افزوده: قاسمی‌فر، الهام، ۱۳۶۵- ■ رده‌بندی کنگره: QC۹۸۱/۸ ■ رده بندی دیویی: ۵۵۱/۶ ■ شماره کتابشناسی ملی: ۵۸۵۰۲۳۲

نشر انتخاب

ناشر کتاب‌های دانشگاهی

مبانی تغییر آب و هوا (اقلیم) و پیامدهای آن

دکتر منو چهر فرج زاده اصل – دکتر الهام قاسمی فر

| حروفچینی موسسه مهر | چاپ و صحافی موسسه مهراد |
| چاپ اول ۱۳۹۸ | شمارگان ۱۰۰ جلد |
| شابک ۲-۷۹-۶۰۷۹-۶۲۲-۹۷۸ |

حق چاپ محفوظ است

خیابان ۱۲ فروردین، خیابان شهدای ژاندارمری، شماره ۱۲۶، طبقه چهارم
www.nashreentekhab.com
nashreentekhab@gmail.com

پیشگفتار

تغییرآب و هوا (اقلیم) از مهمترین پدیده‌های قرن حاضر محسوب می‌شود که مسایل و چالش‌های متعددی را چه در سطح جهانی و چه در سطح منطقه‌ای و ملی ایجاد کرده است. تغییرات آب و هوایی از مهمترین معضلات جامعه بشری محسوب می‌شود که بتدریج اثرهای خود را در جنبه‌های مختلف زندگی انسانها نمایان می‌سازد.

امروزه تغییرات آب و هوا و گرمایش جهانی به صورت یک عامل ناپایدار کننده وارد معادلات از پیش تعیین شده برنامه ریزی سرزمین شده و آنچکه بشر امروزی برای سالهای آتی برنامه ریزی نموده بود را دچار خدشه نموده است و این موضوع می‌رساند که با توجه به عواقب منفی گرمایش جهانی لازم است در برنامه ریزی‌های سرزمینی به این مهم نیز توجه نمود و آن را در برنامه ریزی‌ها لحاظ نمود.

کشور ایران نیز به تبعیت از فضای جهانی در حال تجربه اثرهای مختلف گرمایش جهانی می‌باشد و ضرورت ایجاب می‌کند که قبل از رخداد وقایع ناگوار، آثار و پیامدهای آن بررسی شده و راهکارهای جلوگیری از صدمات و زیانهای ناشی از آن در نظر گرفته شود.

در همین راستا کتاب حاضر سعی دارد با تبیین ویژگی‌های گرمایش جهانی، اثر آن را بر موضوعات مختلف کشور تشریح نماید و راهبردهای مناسب را برای گنجاندن در برنامه‌ها ارائه نماید. کتاب در ده فصل تدوین یافته است که فصل اول آن مفاهیم تغییر آب و هوا را تبیین نموده و فصول دوم تا دهم به ترتیب به پیامدهای جهانی و ایرانی تغییر آب و هوا در منابع آب، کشاورزی، سلامت، گردشگری، تنوع زیستی، انرژی، سکونتگاه‌های انسانی، مسائل امنیتی و اجتماعی و اقتصاد تغییر آب و هوا پرداخته است.

این کتاب هرچند که نقطه آغازین برای این بحث در کشور محسوب می‌شود ولی مطمئناً آخرین آن نخواهد بود و به مرور زمان با روشن شدن ابعاد موضوع، گسترش نیز پیدا خواهد کرد. با توجه به این موضوع از خوانندگان درخواست دارد برای تکمیل بحث، نقطه نظرهای خود را به آدرس دانشگاه تربیت مدرس ارسال نمایند.

منوچهر فرج زاده - الهام قاسمی فر

تابستان ۱۳۹۸

فهرست مطالب

فصل اول- مفاهیم پایه تغییر آب و هوا ۲۳

۱-۱- مقدمه ۲۳

۱-۲- مفهوم تغییر آب و هوا ۲۴

۱-۳- عوامل تغییر آب و هوا ۲۵

۱-۴- مدل‌های آب و هوایی و انواع آنها ۲۸

۱-۵- سناریوهای تغییر آب و هوایی ۳۴

۱-۶- ریزمقیاس سازی ۳۹

۱-۷- انواع داده‌ها در ارزیابی تغییر آب و هوایی ۴۱

۱-۸- عدم قطعیت‌ها و روند آینده‌ی مدل‌های آب و هوایی ۴۴

۱-۹- پیمان‌های بین‌المللی در زمینه‌ی تغییر آب و هوا ۴۵

۱-۱۰- نرم‌افزارهای مدل‌سازی آب و هوایی ۴۵

۱-۱۱- مفاهیم و چارچوب کاهش و سازگاری در برابر تغییر آب و هوا ۴۹

۱-۱۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران ۵۵

منابع فصل اول ۵۷

فصل دوم- تغییرآب و هوا و منابع آب ۶۱

۲-۱-مقدمه ۶۱

۲-۲- رخدادهای اصلی هیدرولوژیک تحت تاثیر تغییر آب و هوا ۶۲

۲-۳- تغییرات مشاهداتی و آیندهی مرتبط با آب و هوا در منابع آب ۶۲

۲-۴- اثرات و بازخوردهای تغییرات هیدرولوژیکی بر تغییر آب و هوا ۹۰

۲-۵- واداشت‌های تغییرات منابع آب شیرین ۹۱

۲-۶- پیش‌بینی پیامدهای جهانی تغییرات آب و هوا بر منابع آب ۹۴

۲-۷- روش سازگاری برای کاهش اثرهای تغییرات آب و هوا بر منابع آب ۱۰۲

۲-۸- روش‌های کاهش اثر تغییر آب و هوا بر منابع آب ۱۰۶

۲-۹- اثر تغییر آب و هوا بر ویژگی‌های دما و بارش‌های کشور ۱۰۷

۲-۱۰- اثر تغییر آب و هوا بر کمیت و کیفیت جریانهای سطحی کشور..... ۱۲۳
۲-۱۱- اثر تغییر آب و هوا بر کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی کشور..... ۱۳۰
۲-۱۲- اثر تغییر آب و هوا روی دریاچه‌های کشور..... ۱۳۱
۲-۱۳- اثر تغییر آب و هوا در افزایش سطح آب دریاهای کشور..... ۱۳۴
۲-۱۴- اقدامات سازگاری در منابع آب درکشور..... ۱۳۶
منابع فصل دوم..... ۱۳۸
فصل سوم- تغییر آب و هوا و کشاورزی..... ۱۴۵
۳-۱- مقدمه..... ۱۴۵
۳-۲- روندهای توسعه در بخش کشاورزی و پیامدهای آن..... ۱۴۶
۳-۳- روند انتشار گازهای گلخانه‌ای مشاهداتی و آینده از بخش کشاورزی..... ۱۵۰
۳-۴- تغییرات مشاهداتی و آینده‌ی بخش کشاورزی مرتبط با آب و هوا..... ۱۵۳
۳-۵- سازگاری و مدیریت ریسک در کشاورزی در مقیاس جهانی..... ۱۶۶
۳-۶- اثر تغییرآب و هوا بر فعالیتهای زراعی و باغی کشور..... ۱۶۸
۳-۷- تغییرات مشاهداتی و آینده‌ی آب و هوا بر بخش زراعت کشور..... ۱۷۶
۳-۸- اثر تغییرات آب و هوا بر شیلات کشور..... ۱۸۴
۳-۹- اثر تغییرات آب و هوا بر دامپروری کشور..... ۱۸۵
۳-۱۰- برنامه‌های سازگاری در بخش کشاورزی در کشور..... ۱۹۰
منابع فصل سوم..... ۱۹۲
فصل چهارم- تغییرآب و هوا و سلامت..... ۱۹۷
۴-۱- مقدمه..... ۱۹۷
۴-۲- چگونگی اثر گذاری تغییر آب و هوا بر سلامت..... ۱۹۸
۴-۳- اثرات مستقیم مشاهداتی و آینده‌ی آب و هوا روی سلامتی..... ۲۰۱
۴-۴- اثرات اکوسیستمی مشاهداتی و آینده‌ی تغییر آب و هوا بر سلامت..... ۲۰۴
۴-۵- اثرات مشاهداتی و آینده‌ی سلامتی متاثر از سیستم‌های انسانی..... ۲۱۱
۴-۶- سیاست‌های سازگاری در بخش سلامت در مقیاس جهانی..... ۲۱۳

۴-۷- اثرات موج‌های گرمای ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور ۲۱۴
۴-۸- اثرات موج‌های سرمای ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور ۲۱۸
۴-۹- اثر تغییرات تابش‌های ماوراءبنفش خورشیدی ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور ۲۲۲
۴-۱۰- اثرهای بیماری‌های منتقله توسط ناقلین ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور ۲۳۱
۴-۱۱- اثرات آلودگی هوا ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور ۲۳۴
۴-۱۲- اثرات تغییر آب وهوا بر سلامت ذهنی و روحی کشور ۲۴۴
۴-۱۳- سازگاری با اثر تغییرات آب و هوا در بخش سلامت در کشور ۲۴۵
منابع فصل چهارم ۲۴۷
فصل پنجم- تغییر آب و هوا و گردشگری ۲۵۵
۵-۱- مقدمه ۲۵۵
۵-۲- اثر تغییر آب و هوا در مقاصد گردشگری جهانی ۲۵۷
۵-۳- اثرهای متقابل گردشگری و آب و هوا بر یکدیگر ۲۵۸
۵-۴- اثرات مشاهداتی و آینده‌ی تغییر آب و هوا بر گردشگری ۲۶۳
۵-۵- سازگاری در بخش گردشگری مرتبط با تغییر آب و هوا در مقیاس جهانی ۲۷۳
۵-۶- ویژگی‌های گردشگری در ایران ۲۷۵
۵-۷- تغییرات میزان شاخص آب و هواشناسی گردشگری در دوره مشاهداتی و آینده کشور ۲۷۶
۵-۸- راههای سازگاری با تغییرات آب و هوا در بخش گردشگری کشور ۲۸۸
منابع فصل پنجم ۲۸۹
فصل ششم- تغییرآب و هوا و تنوع زیستی ۲۹۳
۶-۱- مقدمه ۲۹۳
۶-۲- اثرات مشاهداتی و آینده‌ی تغییر آب و هوا بر تنوع زیستی ۲۹۴
۶-۳- سازگاری و کاهش در بخش تنوع زیستی در مقیاس جهانی ۳۰۱
۶-۴- مشخصات جنگلها و مراتع کشور ۳۰۲
۶-۵- اثر تغییرات آب وهوا بر پوشش گیاهی در کشور ۳۰۶
۶-۶- اثر تغییر آب و هوا بر حیات جانوری کشور ۳۱۱

۶-۷- سازگاری در برابر تغییر آب و هوا در بخش تنوع زیستی کشور ۳۱۵
منابع فصل ششم ۳۱۶
فصل هفتم- تغییرآب و هوا و انرژی ۳۱۹
۷-۱- مقدمه ۳۱۹
۷-۲- مروری بر منابع انرژی جهانی ۳۱۹
۷-۳- تولید، تبدیل، انتقال و توزیع انرژی طی دوره مشاهداتی و آینده در مقیاس جهانی ۳۲۲
۷-۴- روندهای مشاهداتی و آینده محرک‌های انتشار ۳۲۸
۷-۵- کاهش و سازگاری در بخش انرژی در مقیاس جهانی ۳۳۳
۷-۶- وضعیت تولید انرژی در کشور ۳۳۶
۷-۷- تحلیل نیازهای سرمایشی و گرمایشی کشور ۳۴۴
۷-۸- تحلیل ارتباط مصرف برق با تغییرات دمایی کشور ۳۵۷
۷-۹- تاثیر تغییر آب و هوا بر بار مصرفی بخش خانگی ایران ۳۶۱
۷-۱۰- انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی طی دوره مشاهداتی و آینده در کشور ۳۶۲
۷-۱۱- سازگاری با تغییر آب و هوا در بخش انرژی کشور ۳۶۶
منابع فصل هفتم ۳۷۱
فصل هشتم- تغییرآب و هوا و سکونتگاه‌های انسانی ۳۷۵
۸-۱- مقدمه ۳۷۵
۸-۲- اثرات مشاهداتی و آینده تغییر آب و هوا بر سکونتگاههای انسانی ۳۷۷
۸-۳-سازگاری سکونتگاه‌ها در برابر تغییرات آب و هوایی در مقیاس جهانی ۳۸۴
۸-۴- وضعیت سکونتگاههای انسانی درکشور ۳۸۴
۸-۵- افزایش مخاطرات جوی و تهدید سکونتگاهها در کشور ۳۸۵
۸-۶- روش‌های سازگاری سکونتگاه‌ها و زیر ساخت‌ها با تغییر آب و هوایی در کشور ۳۸۹
منابع فصل هشتم ۳۹۹
فصل نهم- تغییر آب و هوا و مسائل اجتماعی و امنیتی ۴۰۱
۹-۱- مقدمه ۴۰۱

۹-۲- اثرهای تغییر آب و هوا در مسائل اجتماعی طی دوره مشاهداتی و آینده ۴۰۲
۹-۳- سازگاری در بخش امنیت اجتماعی در مقیاس جهانی ۴۰۹
۹-۴- اثر تغییر آب و هوا بر مهاجرت درکشور ۴۱۰
۹-۵- اثر تغییر آب و هوا بر امنیت کشور ۴۱۱
۹-۶- تغییر آب و هوایی و تغییر سبک زندگی در کشور ۴۱۴
۹-۷- روش‌های سازگاری در مسائل اجتماعی تغییر آب و هوا در کشور ۴۱۴
منابع فصل نهم ۴۱۵
فصل دهم- اقتصاد تغییر آب و هوا ۴۱۷
۱۰-۱- مقدمه ۴۱۷
۱۰-۲- ابعاد اقتصادی تغییر آب و هوا ۴۱۷
۱۰-۳- تأثیرات اقتصادی تغییر آب و هوا طی دوره مشاهداتی و آینده ۴۲۰
۱۰-۴- سازگاری با اقتصاد تغییر آب و هوا در مقیاس جهانی ۴۲۷
۱۰-۵- ابعاد اقتصادی خسارت‌های تغییر آب و هوا در کشور ۴۲۸
۱۰-۶- خسارت‌های مالی مخاطرات آب و هوایی ناشی از تغییر آب و هوا در کشور ۴۲۸
۱۰-۷- سازگاری در اقتصاد تغییر آب و هوا در کشور ۴۳۲
منابع فصل دهم ۴۳۳

فهرست اشکال

شکل۱-۱: اجزای سیستم آب و هوایی ۲۵
شکل۱-۲: میانگین دمای سطح زمین طی دوره‌ی ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۲ ..... ۲۶
شکل۱-۳: نمودارها نشان‌دهنده و تائید کننده‌ی تغییرات دمایی نشان داده شده در شکل ۱-۲ می‌باشند ۲۷
شکل۱-۴: توسعه‌ی تاریخی مدل‌های آب و هوایی ۳۰
شکل۱-۵: مدل مفهومی از AOGCM ۳۲
شکل۱-۶: سری زمانی شبیه‌سازی‌شده چندمدله از پروژه‌ی CMIP5 طی دوره‌ی ۱۹۵۰ تا ۲۱۰۰ ..... ۳۷
شکل۱-۷: نتایج میانگین چندمدله از پروژه‌ی CMIP5 برای سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 طی دوره‌ی ۲۱۰۰-۲۰۸۱ ..... ۳۸
شکل۱-۸: محیط گرافیکی مدل LARS_WG ۴۶
شکل۱-۹: نمایی از محیط گرافیکی مدل SDSM و پنجره‌ی داده‌های آسیا برای سناریوهای گزارش سوم (SRES) ۴۷
شکل۲-۱: الگوی فضایی شاخص خشکسالی پالمر در دوره‌ی ۲۰۰۲-۱۹۰۰ ..... ۶۵
شکل۲-۲: طول فصول خشک طی دوره ۱۹۹۶-۱۹۶۱ ..... ۶۶
شکل۲-۳: میانگین تغییرات ۱۵ مدل در بارش برای زمستان(چپ) و تابستان(راست) طی دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ ..... ۶۷
شکل۲-۴: تغییرات احتمالی بارش(چپ) و تبخیر (راست) که تحت شرایط تغییر آب و هوایی پیش‌بینی شده است ۶۸
شکل۲-۵: درصد تغییرات احتمالی رطوبت خاک(الف)، بارش(ب)، تبخیر (ج) و رواناب(د) که تحت شرایط تغییر آب و هوایی در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ پیش‌بینی شده است ۶۸
شکل۲-۶: رودخانه‌های اصلی جهان(URL 2-1) ۷۰
شکل۲-۷: حوضه‌های آبریز اصلی جهان ۷۱
شکل۲-۸: تغییر در رواناب سالانه تا سال ۲۰۵۰ ..... ۷۳
شکل۲-۹: تغییر در حداکثر رواناب ماهانه با دوره بازگشت ده ساله ۷۴
شکل۲-۱۰: درصد تغییرات میانگین سالانه‌ی جریانها با توجه به افزایش ۲ درجه‌ی سانتیگراد در میانگین دما نسبت به میانگین دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ ..... ۷۵
شکل۲-۱۱: درصد تغییرات میانگین سالانه‌ی رواناب با استفاده از هفت مدل آب و هوایی در هفت حوضه ۷۶
شکل۲-۱۲: تغییرات دما (بالا) و بارش (پایین) که توسط مدل های آب و هوایی در دو فصل تابستان (JJA) و زمستان (DJF) مدل شده است (قاره آفریقا) ۷۷

شکل۲-۱۳: تغییرات دما (بالا) و بارش (پایین) که توسط مدل های آب و هوایی در دو فصل تابستان (JJA) و زمستان (DJF) مدل شده است (قاره آسیا)..... ۷۸
شکل۲-۱۴: تغییرات پیش‌بینی شده در رواناب سالانه برای دوره آینده ۲۰۹۹-۲۰۹۰ در مقایسه با دوره‌ی ۱۹۹۹-۱۹۸۰ ..... ۷۹
شکل۲-۱۵: شبیه‌سازی اثر تغییر آب و هوا بر تغذیه آبهای زیرزمینی (دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره آینده(۲۰۷۰-۲۰۴۱) با مرکزیت دهه‌ی ۲۰۵۰..... ۸۱
شکل۲-۱۶: مجموع منابع آبهای شیرین تجدیدپذیر و موقعیت مناطق مورد مطالعه در مورد کیفیت آب..... ۸۳
شکل۲-۱۷: دوره‌ی بازگشت خشکسالی (سال) دوره‌ی آینده با مرکزیت دهه ۲۰۲۰ با استفاده از دو مدل آب و هوایی و تغییر در فراوانی آینده‌ی سیل‌های صدساله در پرتغال، اسپانیا، غرب فرانسه، حوضه‌ی ویستولای لهستان و غرب ترکیه..... ۸۵
شکل۲-۱۸: دوره بازگشت خشکسالی (سال) طی دوره آینده با مرکزیت دهه ۲۰۷۰ با استفاده از دو مدل آب و هوایی و تغییر در فراوانی آینده‌ی سیل‌های صدساله در پرتغال، اسپانیا، غرب فرانسه، حوضه‌ی ویستولای لهستان و غرب ترکیه..... ۸۶
شکل۲-۱۹: تغییرات حوادث حدی مبتنی بر نتایج چندین مدل مزدوج طی دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره‌ی ۱۹۹۹-۱۹۸۰ تحت سناریوی A1B..... ۸۷
شکل۲-۲۰: الف- دوره بازگشت (سال) چندین مدل در دهه ۲۰۸۰ برای سیل‌های ۱۰۰ ساله قرن بیستم..... ۸۸
شکل۲-۲۱: توزیع جمعیت در سال ۱۹۸۰ در ارتباط با آستانه تنش نسبی آب ۰/۴ =DIA/Qکه مشخص کننده کمبود آب شدید است ۹۳
شکل۲-۲۲: تغییر در شاخص استفاده‌ی مجدد از آب(water reuse index (ΣDIA/Q))..... ۹۳
شکل۲-۲۳: آسیب‌پذیری انسان به تغییر آب و هوا استنتاج شده از کاهش منابع آبهای زیرزمینی تا سال ۲۰۵۰..... ۹۸
شکل۲-۲۴: توزیع کشورها را در ۴ طبقه بر اساس تنش منابع آب طی سال‌های مختلف ۹۹
شکل۲-۲۵: الف- درصد تغییرات پیش بینی شده متوسط سالانه رواناب بین دوره پایه ۱۹۹۹-۱۹۸۰ و دوره آینده ۲۰۹۹-۲۰۹۰، ب-مکانهای مناسب کشت دیم با استفاده از شاخص تناسب..... ۱۰۰
شکل۲-۲۶: نقشه توزیع میانگین دمای سالانه کشور (۲۰۰۶-۱۹۷۶)..... ۱۰۸
شکل۲-۲۷: روند افزایش میانگین دمای سالانه کشور در دوره ۱۳۹۵-۱۳۴۷..... ۱۰۹
شکل۲-۲۸: طبقه بندی دمایی بصورت ماهانه طی سه دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۱، و ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در ایران..... ۱۱۲

شکل۲-۲۹: میانگین دمای سالانه کشور در دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۹۰ ..... ۱۱۴
شکل۲-۳۰: نقشه توزیع میانگین بارش سالانه کشور (۲۰۰۶-۱۹۷۶) ۱۱۵
شکل۲-۳۱: بارش سالانه به میلیمتر طی سالهای ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۵ برای چهل و پنج ایستگاه ۱۱۶
شکل۲-۳۲: روند کاهشی بارش و افزایش تبخیر و تعرق بالقوه در کشور در دوره ۱۳۹۵-۱۳۴۷ ..... ۱۱۶
شکل۲-۳۳: درصد پوشش سالانه‌ی برف طی سالهای۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ ..... ۱۱۷
شکل۲-۳۴: ضریب تغییرات (٪) برف در دو ماه ژانویه و فوریه طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ بر اساس منطقه ی برف خیر کشور در سال ۲۰۰۸ و در دوره‌های هشت روزه مختلف ۱۱۷
شکل۲-۳۵: طبقه بندی بارش بصورت ماهانه طی سه دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۱، و ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در ایران ۱۲۲
شکل۲-۳۶: میانگین بارش سالانه کشور در دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۹۰ ..... ۱۲۳
شکل۲-۳۷: تغییرات جریانهای سطحی ایران طی سالهای آبی ۱۳۴۸-۱۳۴۷ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۱ ..... ۱۲۵
شکل۲-۳۸: دبی رودخانه‌های اصلی در حوضه‌های آبریز ۱۲۶
شکل۲-۳۹: حجم رواناب ماهانه طی دراز مدت ۱۲۷
شکل۲-۴۰: تغییرات درصد جمعیت با قابلیت دسترسی به آب آشامیدنی سالم طی بازه ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷ (کل جمعیت با خط آبی، جمعیت روستایی با خط قرمز و جمعیت شهری با خط خاکستری مشخص است ۱۲۸
شکل۲-۴۱: کاهش حجم مخازن آبهای زیرزمینی طی سالهای آبی ۱۳۴۴-۱۳۴۳ تا ۱۳۸۹-۱۳۹۰ ..... ۱۳۱
شکل۲-۴۲: تغییرات دریاچه ارومیه طی سالهای ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۴ ..... ۱۳۴
شکل۳-۱: شاخص جهانی گرسنگی ۱۴۷
شکل۳-۲: متان و دی نیتروژن مونوکسید مشاهداتی و پیش‌بینی شده در بخش کشاورزی از نواحی جهان طی دوره‌ی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ ..... ۱۵۰
شکل۳-۳: انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی، جنگل و دیگر کاربری‌های اراضی در آمریکای لاتین و کارائیب(LAM)، خاورمیانه و آفریقا(MAF)، کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD-1990) و اقتصاد در حال گذار(EIT) و آسیا ۱۵۱
شکل۳-۴: مقایسه‌ی بین پایگاه‌های داده‌ای مختلف از انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های مختلف در سال ۲۰۰۵ ..... ۱۵۲
شکل۳-۵: روند جهانی کاربری اراضی و مقدار استفاده از کود نیتروژن (بالا) و تعداد دام ها از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰(پایین) ۱۵۲

شکل۳-۶: خلاصه‌ای از اثرات روندهای آب و هوایی اخیر بر بازدهی محصولات خاص(گندم، برنج، ذرت و سویا) با استفاده از نتایج مطالعات مختلف در یک میانگین ۲۹ ساله ۱۵۳
شکل۳-۷: تغییرات پیش‌بینی شده در بازدهی محصول به دلیل تغییر آب و هوایی قرن بیست و یکم ۱۵۴
شکل۳-۸: اثرات آب و هوا و دی‌اکسید کربن بر بازدهی محصول ۱۵۵
شکل۳-۹: درصد تغییرات بازدهی محصولات بین دوره حال حاضر تا سال ۲۰۵۰ را نمایش می‌دهد..... ۱۵۵
شکل۳-۱۰: از گزارش چهارم IPCC روند قیمت‌ها نسبت به دوره مشاهداتی قبلی معکوس شده است..... ۱۶۵
شکل۳-۱۱: ارزیابی قابلیت اراضی کشور برای کشاورزی بر مبنای ویژگی‌های خاک و توپوگرافی..... ۱۶۹
شکل۳-۱۲: نقشه قابلیت زمین‌های ایران برای کشت غلات بر اساس ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و عناصر آب و هوایی..... ۱۷۱
شکل۳-۱۳: ارزیابی قابلیت زمین برای قابلیت کشت دیم بر اساس ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و استاندارد بارش ۲۵۰ میلیمتر در سال..... ۱۷۱
شکل۳-۱۴: توزیع زمین‌های کشاورزی ایران با قابلیت‌های مختلف ۱۷۲
جدول۳-۵: توزیع مشخصات آماری عملکرد تولید گندم (کیلوگرم در هکتار در سال)برای دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶؛ آبی و دیم در کشور..... ۱۷۴
شکل۳-۱۵: میزان کل تولیدات محصولات زراعی در سالهای ۸۳-۸۴ تا ۹۳-۹۴ به میلیون تن..... ۱۷۳
شکل۳-۱۶: توزیع جغرافیایی میانگین عملکرد تولید گندم (کیلوگرم در هکتار در سال) برای دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶؛ آبی (سمت راست) و دیم (سمت چپ) در کشور..... ۱۷۶
شکل۳-۱۷: روند در تولید و عملکرد گندم آبی و دیمی طی ۳۰سال گذشته ۱۷۷
شکل۳-۱۸: تغییرات عملکرد ۵ محصول زراعی آبی..... ۱۷۸
شکل۳-۱۹: تغییرات عملکرد ۵ محصول زراعی دیمی..... ۱۷۸
شکل۳-۲۰: تغییرات عملکرد ۴محصول باغی..... ۱۷۹
شکل۳-۲۱: درصد کاهش عملکرد محصولات (گندم، ذرت، نخود و چغندرقند) تا سال ۲۰۵۰..... ۱۸۱
شکل۳-۲۲: طول دوره رشد گیاهان در کشور..... ۱۸۳
شکل۳-۲۳: میانگین فعلی و پیش‌بینی شده طول فصل رشد برای سال ۲۰۵۰ در مناطق مختلف کشور به‌وسیله مدل گردش عمومی GFDL؛ خطوط عمودی انحراف معیار درون هر منطقه را نشان می‌دهند ۱۸۳
شکل۳-۲۴: میزان تولید آبزیان کشور به هزار تن..... ۱۸۴
شکل۳-۲۵: روند تولید گوشت قرمز طی سالهای ۵۳ تا۹۲..... ۱۸۵

شکل۳-۲۶: روند تولید گوشت مرغ طی سالهای ۵۳ تا۹۲ ..... ۱۸۶
شکل۳-۲۷: روند تولید شیر طی سالهای ۵۳ تا۹۲ ..... ۱۸۶
شکل۴-۱: افزایش وقایع حدی گرمایی که با افزایش تعداد افراد مسن که در شهرها زندگی می کنند، ترکیب خواهد شد. این افراد به طور ویژه‌ای از این وقایع آسیب‌پذیرند..... ۲۰۱
شکل۴-۲: اثر افزایش دما در انتقال شیستوزومیازی..... ۲۰۸
شکل۴-۳: مرگ و میر ناشی از ازن در همه سناریوهای RCP در سه دوره آینده..... ۲۱۰
شکل۴-۴: مرگ و میر ناشی از PM2.5 در همه سناریوهای RCP در سه دوره آینده ۲۱۰
شکل۴-۵: میانگین ماه‌های گرم طی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۸۰ ..... ۲۱۲
شکل۴-۶: پراکندگی شدت امواج گرما در کشور بر درصد روزهای ایام سال (۲۰۰۷-۱۹۷۴)..... ۲۱۵
شکل۴-۷: دمای مرگ و میر برای شهر تهران ۲۱۷
شکل۴-۸: رابطه بین مرگ و میر و دماهای حداکثر در طی تابستان در شهر تهران..... ۲۱۷
شکل۴-۹: (الف)-دوره‌های خشک برای بیش از ۱۲۰ روز متوالی، با بارش کمتر از ۲ میلیمتر و حداکثر دمای بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۲۱۸
شکل۴-۱۰: میانگین فراوانی روزهای یخبندان..... ۲۲۰
شکل۴-۱۱: (الف)- دوره‌های تر برای کمتر از ۳ روز متوالی، با بارش بیش از ۱۱۰ میلیمتر (راست) ۱: دوره مشاهداتی ، ۲ و ۳: دوره آینده تحت دو سناریوی RCP4.5, 8.5؛ (ب)- روزهای حدی سرد با صدک ۵ صدم طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۴ (۱) و روزهای حدی سرد تحت سناریوهای RCP4.5, 8.5 طی دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۴۹ (۲ و۳) ۲۲۱
شکل۴-۱۲: مقادیر تغییرات ستون کلی ازن روی ایستگاه اصفهان برای دوره (۲۰۱۱-۱۹۷۸)..... ۲۲۶
شکل۴-۱۳: نرخ کاهش ازن به دابسون بر هر دهه روی اصفهان، فلات مرکزی ایران (محور سمت راست) و سطح معنی‌داری تغییرات ازن (محور سمت چپ)..... ۲۲۷
شکل۴-۱۴: متوسط حداکثر و حداقل سالانه ازن و تعداد وقوع رخداد LOEs همراه با تغییر روند دراز مدت.... ۲۲۸
شکل۴- ۱۵: طبقه‌بندی جهانی شاخص تابش فرابنفش خورشیدی..... ۲۲۸
شکل۴-۱۶: متوسط تابش فرابنفش مرداد ماه (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰)..... ۲۲۹
شکل۴-۱۷: فراوانی سرطان پوست در هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در شش ناحیه جغرافیایی کشور در طی سالهای ۲۰۰۰تا ۲۰۰۵ ..... ۲۳۱
شکل۴-۱۸: روند ابتلا به مالاریا طی دوره آینده: ۲۰۱۵تا۲۰۲۰(سمت راست) و ۲۰۲۶ تا ۲۰۳۰ (سمت چپ)... ۲۳۲

شکل۴-۱۹: روند ابتلا به لشمانیای جلدی طی دوره آینده: ۲۰۱۵تا۲۰۲۰ (سمت راست) و ۲۰۲۶تا۲۰۳۰(سمت چپ)..... ۲۳۳
شکل۴-۲۰: روند ابتلا به لشمانیای احشایی طی دوره آینده: ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰(سمت راست) و ۲۰۲۶تا۲۰۳۰ (سمت چپ)..... ۲۳۳
شکل۴-۲۱: روند ابتلا به تب کریمه کنگو طی دوره آینده: ۲۰۱۵تا۲۰۲۰(سمت راست) و ۲۰۲۶ تا۲۰۳۰(سمت چپ)..... ۲۳۴
شکل۴- ۲۲: میانگین فراوانی روزهای گرد و غبار بر اساس کدهای نه گانه هواشناسی..... ۲۳۵
شکل۴-۲۳: روند فراوانی سالانه توفانها (کدهای۰۹،۳۰،۳۱،۳۲،۳۳،۳۴و۳۵)طی دوره آماری(۲۰۰۶-۱۹۸۷) ۲۳۷
شکل۴-۲۴: الف) روند فوریتهای پزشکی در بیماریهای قلبی-عروقی و ب) در بیماریهای تنفسی..... ۲۴۴
شکل۵-۱: ورود توریست‌های بین‌المللی و مشارکت قاره‌های مختلف در این بخش در سال ۲۰۱۶..... ۲۵۶
شکل۵-۲: انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش گردشگری طبق سناریوی "کسب و کار طبق معمول"..... ۲۵۸
شکل۵-۳: انتشار گاز گلخانه‌ای از بخش گردشگری به تفکیک نواحی در حال توسعه و توسعه یافته در بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۳۵..... ۲۵۹
شکل۵-۴: توزیع جغرافیایی تأثیرات عمده تغییر آب و هوایی بر مقاصد گردشگری ۲۶۳
شکل۵-۵: توفانهای اطلس شمالی با افزایش دمای سطح دریا، افزایش یافته‌اند..... ۲۶۷
شکل۵-۶: تغییر آب و هوایی پیش بینی شده ۲۶۹
شکل۵-۷: مرگ مرجانها به دلیل قرار گرفتن طولانی مدت در معرض افزایش درجه حرارت که موجب گچی شدن مرجان به دلیل اسیدی شدن اقیانوس می‌شود..... ۲۷۰
شکل۵-۸: عقب‌نشینی یخچال‌های Muir و Riggs در پارک ملی Glacier Bay (آلاسکا، ایالات‌متحده آمریکا)..... ۲۷۲
شکل۵-۹: سازگاری ورزش اسکی با تغییر آب و هوا ۲۷۳
شکل۵-۱۰: ورود گردشگران بین المللی به ایران در سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۳..... ۲۷۵
شکل۵-۱۱: شاخص اقلیم گردشگری در ماه‌های مختلف در ایران ۲۷۹
شکل۵-۱۲: شاخص آب و هواشناسی گردشگری برای سه دوره مشاهداتی ۱۹۹۰-۱۹۸۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۱ و ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در ایران طی ماههای مختلف سال ۲۸۵
شکل۵-۱۳: مقایسه میانگین شاخص آب و هواشناسی گردشگری طی دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ و دوره آینده ۲۰۴۰-۲۰۲۰ برای چند ایستگاه منتخب..... ۲۸۸

شکل۶-۱: جنگلهای حوضه آمازون که از طریق خشکسالیهای شدید، کـاربری اراضـی و افـزایش فراوانـی آتـش سوزی جنگلها تغییر یافته‌اند ۲۹۶
شکل۶-۲: تغییرات پیش بینی شده، احتمال و فراوانی خطر آتش سوزیهای جوی در جنگل با استفاده از روشـها و مدلهای مختلف آب و هوایی ۲۹۷
شکل۶-۳: میزان تغییرات آب و هوایی تا سال ۲۱۰۰ (سمت چپ) و جابجایی گونـه هـای مختلـف گیـاهی و جـانوری (سمت راست) باندهای صورتی افقی و عمودی تفسیر این شکل را بیان می‌کنند ۳۰۱
شکل۶-۴: جنگل‌های ایران به تفکیک مقدار تراکم ۳۰۴
شکل۶-۵: مراتع ایران به تفکیک مقدار تراکم ۳۰۵
شکل۶-۶: نمودار میانگین NDVI سالیانه ۳۰۷
شکل۶-۷: نمودار دمای میانگین سالیانه ۳۰۸
شکل۶-۸: نمودار بارش سالیانه ۳۰۸
شکل۶-۹: نمودار رطوبت نسبی میانگین سالیانه ۳۰۹
شکل۶-۱۰: نمودار رطوبت نسبی حداکثر سالیانه ۳۰۹
شکل۶-۱۱: نمودار ضریب همبستگی دمای میانگین و NDVI سالیانه ۳۱۰
شکل۶-۱۲: نمودار ضریب همبستگی بارش و NDVI سالیانه ۳۱۰
شکل۶-۱۳: نمودار ضریب همبستگی رطوبت نسبی میانگین و NDVI سالیانه ۳۱۱
شکل۶-۱۴: موقعیت جغرافیایی پناهگاههای حیات وحش ایران ۳۱۳
شکل۷-۱: سهم ناحیه‌ای تولید گاز طبیعی در سال ۲۰۱۵ ..... ۳۲۰
شکل۷-۲: مصرف جهانی انرژی در سال ۲۰۱۳ ..... ۳۲۴
شکل۷-۳: مشارکت منابع انرژی در افزایش مصرف انرژی اولیه جهانی و منطقه‌ای ۳۲۶
شکل۷-۴: عرضه اولیه انرژی سالانه (EJ) در سه سناریوی پایه (ستون سمت چپ)؛ و تغییر عرضه‌ی انرژی اولیـه در مقایسه با مقادیر پایه برای رسیدن به اهداف بلندمدت با غلظت بین ۴۳۰ تا ۵۳۰ CO2eq ppm (ستون سمت راست) ۳۲۷
شکل۷-۵: مقایسه پتانسیل فنی جهانی منابع انرژی تجدید پذیر و توسعه‌ی فنّاوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر تا سال ۲۰۵۰ ..... ۳۲۸
شکل۷-۶: انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط زیرمجموعه‌های مختلف بخش انرژی ۳۲۹
شکل۷-۷: عرضه گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی توسط مناطق مختلف ۳۳۱

شکل۷-۸: انتشار دی‌اکسید کربن از دو بخش برق و غیر برق ۳۳۲
شکل۷-۹: شاخص‌های انتخاب‌شده از رشد جهانی انرژی‌های تجدید پذیر، شکل سمت چپ، ظرفیت مخازن را به گیگاوات و شکل سمت راست تولید را در واحد میلیارد در سال نشان می‌دهد ۳۳۴
شکل۷-۱۰: ظرفیت تولید انرژیهای پاک در کشور در سال ۱۳۹۷ ..... ۳۳۷
شکل۷-۱۱: مصرف انرژی در کشور از سال ۵۸ تا ۹۴ برحسب بشکه نفت(هزاربشکه در روز) ۳۳۷
شکل۷-۱۲: مصرف گاز طبیعی از سال ۵۸ تا ۹۴ برحسب میلیون متر مکعب ۳۳۸
شکل۷-۱۳: تولید انرژی اولیه به تفکیک منابع ۳۳۹
شکل۷-۱۴: سرانه مصرف نهایی انرژی در ایران به تفکیک انرژی‌ها در مقایسه با سایر کشورها ۳۴۰
شکل۷-۱۵: عرضه انرژی اولیه و مصرف آن طی سالهای مختلف (میلیون بشکه معادل نفت خام) ۳۴۰
شکل۷-۱۶: عملکرد انتقال فراورده‌های نفتی طی سالهای مختلف ۳۴۱
شکل۷-۱۷: طول خطوط انتقال برق کشور طی سالهای مختلف ۳۴۱
شکل۷-۱۸: سهم انواع نیروگاه‌ها در تولید ناویژه برق ۳۴۲
شکل۷-۱۹: ظرفیت نیروگاه‌های کشور (به تفکیک نیروگاه) در تولید برق ۳۴۲
شکل۷-۲۰: جریان منابع و مصارف برق کشور در سال ۱۳۹۱ ..... ۳۴۳
شکل۷-۲۱: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور در فصل گرم ۳۴۸
شکل۷-۲۲: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور در ماه ژوئن ۳۴۸
شکل۷-۲۳: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور در ژوئیه ۳۴۹
شکل۷-۲۴: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور در ماه اوت ۳۵۰
شکل۷-۲۵: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور سپتامبر ۳۵۰
شکل۷-۲۶: روند افزایشی تعداد درجه روزهای با میانگین دمای بالای ۲۱ درجه ۳۵۱
شکل۷-۲۷: روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در فصل سرد ۳۵۲
شکل۷-۲۸: روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در ماه دسامبر ۳۵۲
شکل۷-۲۹: نمودار نشان دهنده روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در ماه ژانویه ۳۵۳
شکل۷-۳۰: نمودار نشان دهنده روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در ماه فوریه ۳۵۳
شکل۷-۳۱: نمودار نشان دهنده روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در ماه مارس ۳۵۴
شکل۷-۳۲: روند کاهشی تعداد روزهای با میانگین دمای کمتر از ۱۸ درجه سلسیوس در ایران ۳۵۴
شکل۷-۳۳: مقادیر دمای افزایش یافته هر یک از ماه‌های فصل گرم وسرد (مقادیر افزایش دما هم مقیاس شده‌اند) ۳۵۵

شکل۷-۳۴: پهنه بندی نیازهای سرمایشی کشور ۳۵۷
شکل۷-۳۵: پهنه بندی نیازهای گرمایشی کشور ۳۵۷
..... ۳۵۹
شکل۷-۳۷: پیش بینی تولید و مصرف فراورده‌های نفتی (هزار بشکه در روز) تا سال ۱۴۰۰ ..... ۳۶۵
شکل۷-۳۸: پتانسیل میزان انرژی خورشیدی و باد در ایران ۳۷۰
شکل۸-۱: نقشه جهانی از موقعیت تراکمهای شهری با جمعیت بیش از ۷۵۰۰۰۰ نفر و بیشتر در سال ۱۹۵۰ ..... ۳۷۶
شکل۸-۲: تراکم‌های بزرگ شهری سال ۲۰۱۰ با تغییر آب و هوایی مشاهداتی دوره‌ی ۲۰۱۲-۱۹۰۱ ..... ۳۷۸
شکل۸-۳: موقعیت تراکم‌های بزرگ شهری و تغییرات دمایی پیش بینی شده با RCP2.6 ..... ۳۷۹
شکل۸-۴: موقعیت تراکم‌های بزرگ شهری و تغییرات دمایی پیش بینی شده با RCP8.5 ..... ۳۷۹
شکل۸-۵: تغییر در بیشینه‌ی دمای حداکثر روزانه در روزهای طبقه بندی شده به عنوان روزهای همراه با امواج گرما (الف) و درصد تغییرات روزهای همراه با امواج گرما (ب)، در سه سناریوی با تأثیر پایین، متوسط و بالا ۳۸۱
شکل۸-۶: تغییر در دبی‌های با دوره بازگشت ده ساله که از طریق نسبت Q10 آینده بر Q10 دوره مشاهداتی برای شهرهای مورد بررسی در سه سناریوی با تأثیر پایین(الف)، متوسط(ب) و بالا(ج) بدست آمده است ۳۸۲
شکل۸-۷: چادر ساده عشایر بیرانوند که در فصل سرما گرم است و در زمان گرما خنک است ۳۹۱
شکل۸-۸: نمودار برآورد دمای داخل چادر عشایر بیرانوند در ماه‌های مختلف سال و در مکانهای مختلف ۳۹۱
شکل۸-۹: (الف) بیانگر ویژگی‌های یک خانه سنتی یزد و کارکردهای هر بخش از خانه که نمایانگر مهاجرت درون خانه در فصول مختلف است ۳۹۴
شکل۹-۱: تعداد جمعیت در معرض سیکلونهای حاره‌ای ۴۰۴
شکل۹-۲: سالهای باقی مانده از تولید محصولات مختلف انرژی بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۲ ..... ۴۰۷
شکل۹-۳: درصد افزایش ظرفیت تولید انرژی بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵ ..... ۴۰۸
شکل۹-۴: درصد برداشت آب شیرین در مواجه با تقاضای فعلی آب. ۴۰۹
شکل۹-۵: روند مهاجرت داخلی در کشور از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۰ ..... ۴۱۱
شکل۱۰-۱: خسارات (برحسب میلیارد دلار امریکا) تغییر آب و هوایی شهری ناشی از سیلابها تا سال ۲۰۸۰ .. ۴۲۴
شکل۱۰-۲: نقشه میزان خسارت‌های مالی مخاطره‌های رخداده در کشور ۴۳۱

فهرست جداول

جدول۱-۱: مشخصات برخی مدل‌های آب و هوایی ۳۳
جدول۱-۲: مشخصات سناریوهای واداشت تابشی RCP مورد استفاده در گزاش پنجم هیئت بین الـدول تغییـرات آب و هوایی..... ۳۶
جدول۱-۳: انواع داده‌ها در مطالعات تغییر آب و هوا..... ۴۳
جدول۱-۴: کاربرد دانش محلی در سازگاری با تغییر آب و هوا در برخی کشورها ۵۲
جدول۱-۵: انتشار گازهای گلخانه‌ای ایران در بخشهای مختلف طی سالهای ۱۹۹۴ ، ۲۰۰۰ و۲۰۱۰ ..... ۵۵
جدول۲-۱: مثال‌های منتخبی از مشاهدات، تشخیص و استناد به اثرات تغییر آب و هوا بر منابع آب..... ۶۳
جدول۲-۲: اثرات سناریوهای مختلف انتشار بر تغییرات هیدرولوژیکی و اثرات تغییـر آب و هـوایی مـرتبط بـا آب شیرین روی بشر و اکوسیستم..... ۹۴
جدول۲-۳: طبقات گزینه‌های سازگاری با تغییر آب و هوا به منظور مدیریت منابع آب شیرین..... ۱۰۳
جدول۲-۴: برخی از مثال‌های سازگاری در عمل..... ۱۰۴
جدول۲-۵: طبقه‌بندی و دامنه دمایی در فصول مختلف بکار گرفته شده در طبقه بندی دمایی ایران..... ۱۱۳
جدول۲-۶: مشخصات بارش در هریک از حوضه‌های درجه یک کشور ۱۲۴
جدول۲-۷: درصد تغییرات رواناب ناشی از کاهش یا افزایش دما و بارش در حوضـه‌هـای سـی‌گانـه کشـور بـر اسـاس سناریوهای خوشبینان، متوسط و بدبینانه در دوره‌ی ۲۰۳۱-۲۰۱۵ نسبت به دوره‌ی۱۹۸۲-۲۰۰۹..... ۱۳۰
جدول۲- ۸- مشخصات مهمترین دریاچه‌های کشور..... ۱۳۲
جدول۲-۹: تقسیم بندی حوضه‌ها از لحاظ شدت معضلات آب..... ۱۳۶
جدول۳- ۱: کاربری اراضی کشاورزی طی ۴ دهه اخیر ۱۴۷
جدول۳-۲: سرانه عرضه‌ی مواد غذایی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه..... ۱۴۸
جدول۳-۳: اثرهای پیش‌بینی شده روی محصولات..... ۱۵۶
جدول۳-۴: اثرهای پیش‌بینی شده روی دامپروری..... ۱۶۲
جدول۳-۶: جمعیت دامها در خاور نزدیک طـی سـالهای ۱۹۶۵-۱۹۶۱، ۱۹۹۰-۱۹۸۶ و ۲۰۰۹-۲۰۰۶ و تغییـرات آنها به درصد..... ۱۸۷

جدول۳-۷: تولیدات دامها در خاور نزدیک طی سالهای ۱۹۶۵-۱۹۶۱، ۱۹۹۰-۱۹۸۶ و ۲۰۰۹-۲۰۰۶ و تغییرات آنها به کیلوگرم..... ۱۸۸
جدول۳-۸: عرضه و تقاضای فراورده‌های پروتئینی تا سال ۱۴۰۰..... ۱۸۹
جدول۳-۹: مساحت و جمعیت سیستم‌های تولیدات دامپروری برای دوره آینده..... ۱۸۹
جدول۳-۱۰: تولیدات دامپروری در سیستمهای تولیدکننده برای دوره آینده..... ۱۹۰
جدول۴-۱: تأثیر آب و هوا بر بیماری‌های عفونی ۲۰۵
جدول۴-۲: مطالعه نلسون و همکاران ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰..... ۲۱۱
جدول۴-۳: میانگین تعداد روزهای با موج گرما (شرایط کمی ناراحت تا خیلی خطرناک) در طی سه دهه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ۲۱۶
جدول۴-۴: توزیع فراوانی روزهای یخبندان در دوره‌های مطالعاتی..... ۲۲۱
جدول۴-۵: اطلاعات آماری ستون کلی ازن (TOC) به دابسون روی ایران مرکزی همراه با مقادیر منفی دو برابر انحراف معیار هر ماه..... ۲۲۵
جدول۴-۶: میزان بروز و فروانی سرطان پوست طی سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ در استان تهران به تفکیک سال و جنس..... ۲۳۰
جدول۴-۷: روند تغییرات سالانه سرطان پوست در شش ناحیه جغرافیایی کشور به تفکیک جنسیت..... ۲۳۰
جدول۴-۸: مجموع فراوانی سالانه برای کدهای توفانهای گرد و غبار ملایم و شدید طی دوره آماری(۲۰۰۶-۱۹۸۷)..... ۲۳۶
جدول۴-۹: میانگین و حداکثر آلاینده های مختلف برای شهر تهران بر اساس داده های اخذ شده از سازمان محیط زیست..... ۲۳۸
جدول۴-۱۰: تعداد روزهای با شرایط هوای مختلف برای شهر تهران بر اساس داده‌های اخذ شده از سازمان محیط زیست..... ۲۳۸
جدول۴-۱۱: میانگین سالانه ذرات معلق ۱۰ و ۲/۵ میکرون برای شهرهای مهم کشور ۲۳۹
جدول۴-۱۲: عوارض کوتاه مدت منتسب به آلاینده‌های شهر تهران در سال ۱۳۹۳..... ۲۴۲
جدول۴-۱۳: برآورد پیامدهای بهداشتی بلندمدت (مزمن) منتسب به ذرات معلق PM2.5 در شهر تهران، ری و شمیرانات در سال ۱۳۹۴..... ۲۴۳

جدول۴-۱۴: برآورد تعداد مرگ منتسب به ذرات معلق PM2.5 و هزینه اقتصادی آلودگی هوا در ایران.....۲۴۳
جدول۵-۱: اثرات تغییر آب و هوا برای مقاصد گردشگری.....۲۵۹
جدول۵-۲: تغییرات پیش‌بینی‌شده در درجه روزهای سرمایشی و گرمایشی طی دوره ۲۰۵۰ نسبت به ۱۹۹۰-۱۹۶۱.....۲۶۵
جدول۵-۳: تغییرات پیش‌بینی‌شده در درجه روزهای سرمایشی و گرمایشی طی دوره ۲۱۰۰ نسبت به ۱۹۹۰-۱۹۶۱.....۲۶۵
جدول۵-۴: راه‌های سازگاری کشورهای جزیره‌ای کوچک در بخش گردشگری با تغییر آب و هوا.....۲۷۴
جدول۵-۵: میانگین دراز مدت شاخص آب و هواشناسی گردشگری برای چهل ایستگاه طی بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۰...۲۸۷
جدول۶-۱: تغییرات مساحت جنگلهای هیرکانی در طی زمان.....۳۰۶
جدول۶-۲: مساحت (به هکتار) پوششگیاهی بر اساس شاخص NDVI و مقادیر حداکثر.....۳۰۷
جدول۶-۳: فهرست پناهگاههای حیات وحش ایران.....۳۱۳
جدول۷-۱: برآوردها از منابع فسیلی و میزان کربن آنها.....۳۲۰
جدول۷-۲: سناریوهای انتشار تا سال ۲۱۰۰.....۳۳۲
جدول۷-۳: درصد سهم انواع حامل‌های انرژی در عرضه اولیه انرژی.....۳۳۹
جدول۷-۴: نیاز سرمایشی و گرمایشی کشور در دوره آماری مورد بررسی از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵.....۳۴۷
جدول۷-۵: دمای براورد شده سال ۲۰۰۵ و سال ۱۹۶۵و مقادیر افزایش دمای محاسبه شده.....۳۵۶
جدول۷-۶: همبستگی بار مصرفی و مصرف سرانه ایران با نیازهای سرمایشی و گرمایشی ماهانه و فصلی.....۳۵۸
جدول۷-۷: همبستگی فضای نیازهای گرمایشی سرمایشی و تعداد مشترکین هر شرکت برق منطقه‌ای با بار مصرفی.....۳۵۹
جدول۷-۸: مقادیر افزایش پتانسیل ۰/۰۱۴ بار مصرفی روزانه به ازای افزایش ۱ درجه روز میانگین نیاز سرمایشی روزانه کشور.....۳۶۰
جدول۷-۹: تاثیر افزایش نیازهای سرمایشی ماهانه (تغییر آب و هوا) بر بار مصرفی.....۳۶۱
جدول۷-۱۰: کل انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی کشور در سال ۲۰۱۰.....۳۶۲
جدول۷-۱۱: سهم هر بخش از بخش‌های مصرف کننده انرژی در انتشار گازهای گلخانه‌ای (به درصد) در سال ۱۳۹۱.....۳۶۳
جدول۷-۱۲: میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف انواع سوخت در بخش انرژی کشور در سال ۱۳۹۱.....۳۶۳
جدول۷-۱۳: میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از تولید و مصرف انرژی کشور طی سالهای ۱۳۹۱-۱۳۸۶.....۳۶۴
جدول۷-۱۴: میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (گیگاگرم) در مصرف انرژی طی سالهای ۱۹۹۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰.....۳۶۴

جدول۷-۱۵: روند مصرف انرژی در ایران (میلیون بشکه معادل نفت خام) ۳۶۵
جدول۸-۱: مثالهایی از تعریف نواحی شهری و روستایی در برخی کشورهای منتخب ۳۷۶
جدول۸-۲: فراوانی و میزان خسارات وارده از انواع مخاطرات آب و هوایی در طول دوره‌ی۲۰۰۷-۱۹۹۰ ..... ۳۸۶
جدول۹-۱: تعداد کل مهاجران و مقصد مهاجرت (۱۳۹۵-۱۳۸۵)..... ۴۱۱
جدول۹-۲: امنیت غذایی نسبی خانوارهای نمونه کشور..... ۴۱۲
جدول۱۰-۱: طبقه‌بندی اثرات اقتصادی تغییر آب و هوا ۴۲۱
جدول۱۰-۲: توزیع مکانی خسارت‌های ناشی از مخاطره‌های رخداده در کشور(۱۳۹۰-۱۳۷۰)..... ۴۲۹
جدول۱۰-۳: میزان خسارت‌های اقتصادی مخاطرات آب‌وهوایی در کل استانهای کشور..... ۴۳۲

فصل اول

مفاهیم پایه تغییر آب و هوا

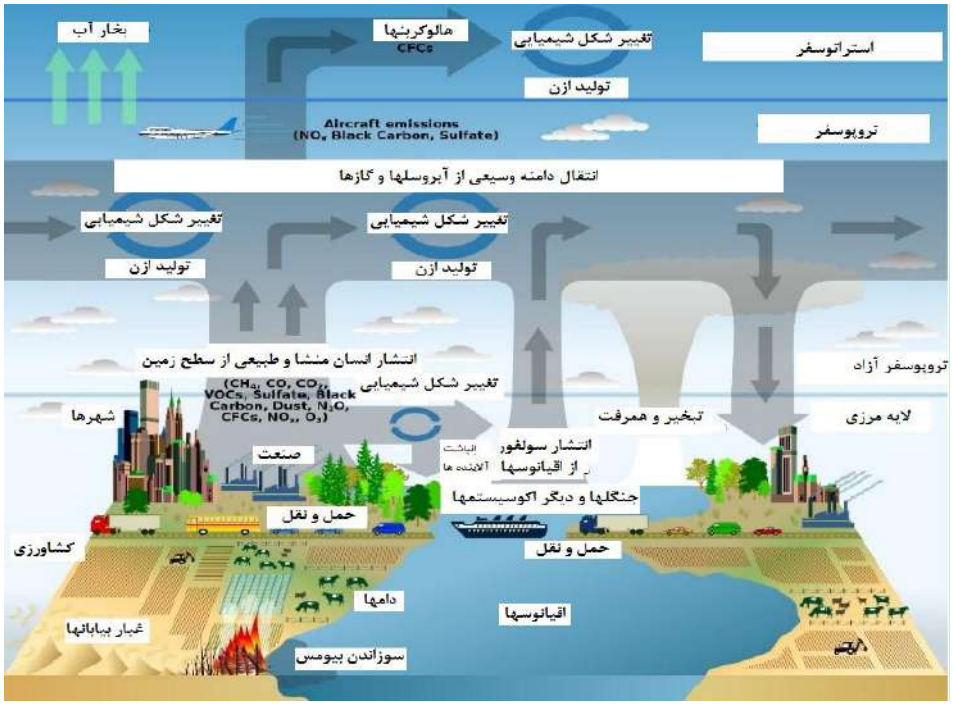
۱-۱- مقدمه

امروزه آب و هوا جزء مهمی از زندگی روزمره افراد شده است به‌طوریکه بدون توجه به شرایط آب و هوایی، هیچیک از فعالیت‌های بشری یا قابل انجام شدن نیست و یا در صورتیکه انجام شود نیز از کیفیت و کارایی لازم برخوردار نخواهد بود. تغییرات رخ داده در شرایط آب و هوایی جهان در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی در طی سال‌های اخیر شکل متفاوتی به خود گرفته است و تفاوت‌های رخ داده، اثرهای زیادی را روی انجام فعالیت‌های محیط زیستی بشر گذاشته است. در مواردی این اثرها دارای بار منفی بسیار زیادی است که عدم توجه به آنها می‌تواند در آینده شرایط دشوارتری را ایجاد نماید. این موضوع می‌رساند که لازم است بیش از گذشته ویژگی‌های تغییرآب و هوا مورد توجه قرار گیرد تا بتوان ضمن حفاظت از محیط زیست از اثرهای منفی آن با اعمال روشهای مختلف کاست. در این فصل از کتاب سعی شده است به مفاهیم پایه‌ی تغییر آب و هوا ازجمله عوامل مؤثر بر آن، مدل‌ها و انواع آن، روش‌های ریزمقیاس سازی، داده‌های مورد استفاده برای تغییرات آب و هوایی، برخی مدل‌های پرکاربرد عملی آن و مفاهیم کاهش و سازگاری پرداخته شود.

۱-۲- مفهوم تغییر آب و هوا

آب و هوا به صورت مجموعه شرایط میانگین عناصر آب و هوایی درازمدت در مناطق جغرافیایی تعریف شده است و ازنظر مدت زمان مورد مطالعه با علم هواشناسی که به مطالعه شرایط لحظه‌ای هوا می‌پردازد دارای تفاوت آشکار می‌باشد. آب و هوای حاکم بر یک ناحیه از طریق بررسی شرایط عناصر آب و هوایی مانند فشار هوا، دما، رطوبت، جریان باد و امثالهم از یکسو و مطالعه عوامل آب و هوایی مانند عرض جغرافیایی، دوری و نزدیکی به دریا، ارتفاع و امثالهم از سوی دیگر تحلیل می‌شود. بررسی‌های موجود نشان می‌دهد که میانگین عناصر آب و هوایی به‌ویژه دما در طی سالهای اخیر دچار دگرگونی‌هایی شده است که از آن به عنوان تغییر آب و هوا یاد می‌شود. با توجه به اینکه همه محققین با تغییر شرایط میانگین در عناصر جوی موافقت ندارند، بیشتر مطالعات روی تغییرات عنصر دما متمرکز شده است و به همین جهت با توجه به تغییرات این عنصر جوی از واژه گرمایش جهانی استفاده می‌شود. نتایج بررسی‌ها بیانگر افزایش ۰/۸ درجه سانتیگرادی دما در طی صد و پنجاه سال اخیر است (IPCC, 2007a). مطالعه شرایط عناصر آب و هوایی از زمان پیدایش جهان بیانگر تغییرات گسترده و نوسانات بسیار زیاد دما در گذشته بوده است که محققین بر این عقیده‌اند که تغییرات رخ داده‌ی فعلی عمدتاً بر مبنای اثرهای انسانی بوده است و از این نظر با تغییر آب و هوایی گذشته متفاوت است. بر این مبنا عمده‌ترین تغییرات رخ‌داده‌ی انسانی بر روی میزان گازهای گلخانه‌ای متمرکز شده است. در عین حال برخی هم بر این عقیده‌اند که تغییرات رخ داده در گرو تغییرات فعالیت‌های خورشیدی است و تغییرات اتفاق افتاده در میزان گازهای گلخانه‌ای دارای اثر بسیار محدودتری نسبت به فعالیت‌های خورشیدی می‌باشد و از اینرو اعتقاد دارند با تغییر فعالیت‌های خورشیدی در آینده نزدیک شاهد کاهش دمای کره زمین خواهیم بود.

در کل، سیستم آب و هوایی دارای پنج جزء اصلی می‌باشد که با یکدیگر در ارتباط بسیار نزدیک هستند و تغییر در یک جزء می‌تواند اجزاء دیگر را متأثر سازد. از این‌رو لازم است برای مطالعه جامع تغییر آب و هوایی همه اجزاء مرتبط با یکدیگر و به صورت جامع مورد مطالعه قرار گیرند. پنج جزء اصلی عبارت‌اند از اتمسفر (هوا کره)، هیدروسفر (آب کره)، کریوسفر (یخ کره)، لیتوسفر (سنگ کره) و بیوسفر (زیست کره) که همه آنها می‌توانند از طریق عوامل خارجی متنوعی تأثیر پذیرند که مهمترین این عوامل، تابش خورشید است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: اجزای سیستم آب و هوایی

۱-۳- عوامل تغییر آب و هوا

عوامل متعددی در تغییر سامانه آب و هوایی مؤثر می‌باشند که این عوامل در مجموع به دو دسته‌ی عوامل طبیعی و عوامل انسانی تقسیم می‌شوند.

- **عوامل طبیعی دخیل در تغییر آب و هوا**

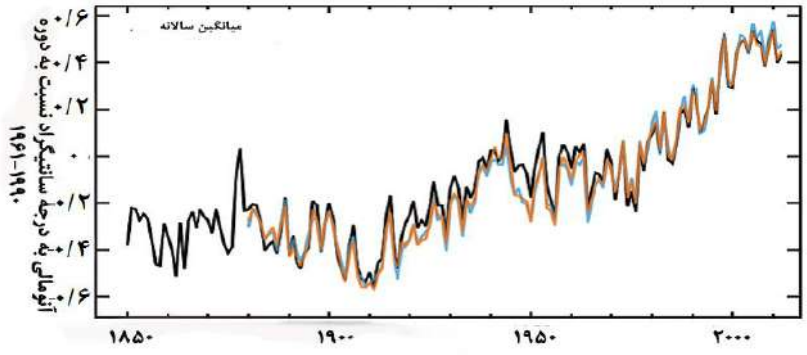
مهمترین عوامل طبیعی که می‌توانند در تغییر آب و هوا نقش داشته باشند عبارتاند از: (Cicerone and Nurse, 2014)

- تغییر در مؤلفه‌های گردشی زمین مانند رقص محوری، حرکت تقدیمی که در دوره‌های زمانی طولانی مدت رخ می‌دهد.
- تغییر در میزان فعالیت‌های خورشیدی مانند تغییرات کلف‌های خورشیدی که مقدار انرژی خورشیدی دریافتی در سطح زمین را تنظیم می‌کند که در طی دهه‌ها و یا سال‌ها صورت می‌گیرد.

- تغییرات و نوسانهایی مانند پدیده‌ی انسو[1]، نائو[2] و... که در نتیجه‌ی عملکرد و واکنش‌های بین جو و اقیانوس پدید می‌آید که در مقیاس چندین سال یا دهه می‌باشند.
- انفجارات آتش‌فشانی که به‌صورت سریع و در طی یک دوره یکساله و یا دوساله می‌تواند مقدار انرژی دریافتی خورشید را تغییر دهد.

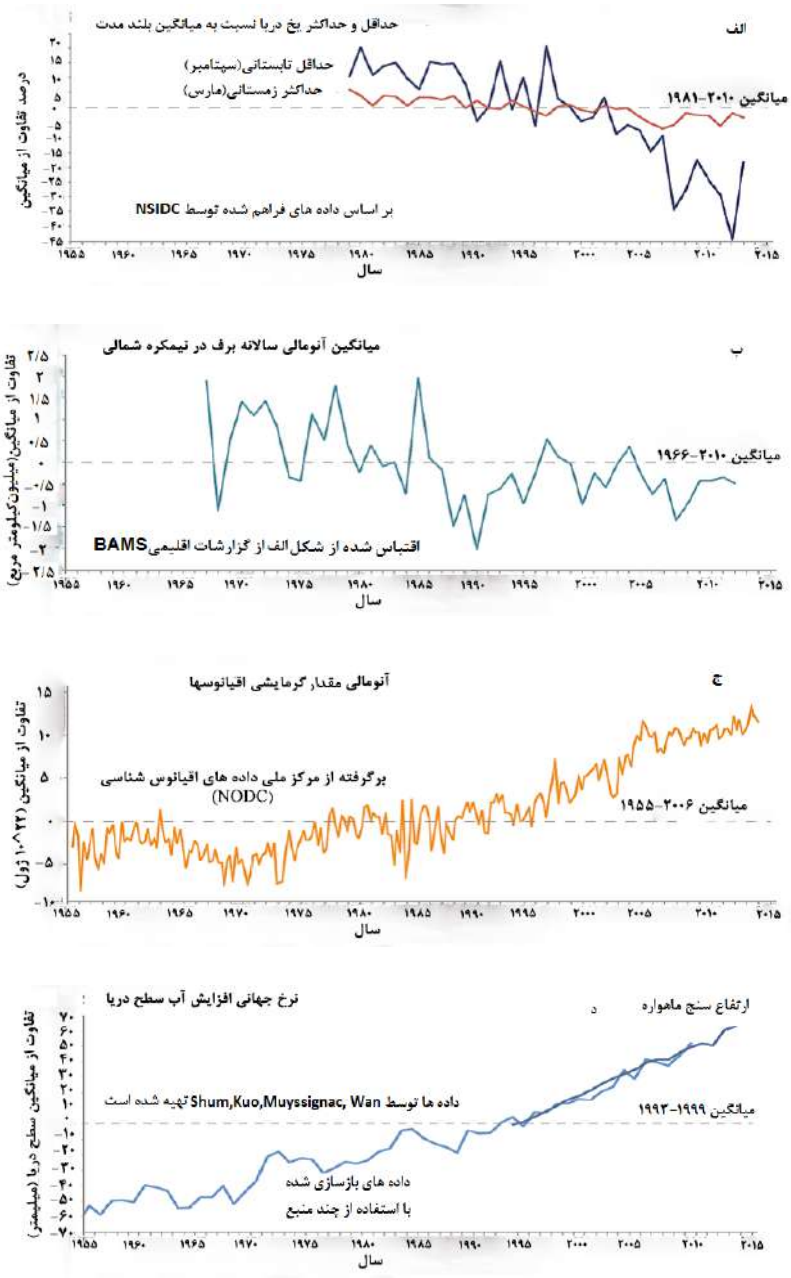
- **عوامل انسانی دخیل در تغییر آب و هوا**

عوامل انسانی تأثیرگذار در تغییر آب و هوایی به‌ویژه بعد از انقلاب صنعتی قابل مشاهده است که در نتیجه آن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش زیادی پیدا کرده است و همین عامل باعث افزایش دمای کره زمین گردیده است. در همین زمینه میزان دی‌اکسید کربن جو در دوران قبل از صنعتی شدن PPM[3]۲۸۰ بوده که این مقدار به ppm۳۵۴ در سال ۱۹۹۰ و به ppm۳۶۷ در سال ۱۹۹۹ رسیده است (IPCC-TGICA, 2007). در شکل ۱-۲ و ۱-۳، تغییرات مهم برخی پارامترها طی سال‌های اخیر نمایش داده شده است.



شکل ۱-۲: میانگین دمای سطح زمین طی دوره‌ی ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۲، نشان دهنده‌ی روند افزایشی می‌باشد: داده‌های HadCRUT4 از UK Met Office Hadley Centre (مشکی)، داده‌های NCDC MLOST از US National Oceanic and Atmospheric Administration (نارنجی) و داده‌های NASA GISS از US National Aeronautics and Space Administration (آبی). (Cicerone and Nurse, 2014).

[1] El Niño–Southern Oscillation (ENSO)
[2] North Atlantic Oscillation (NAO)
[3] parts per million



شکل ۱-۳: نمودارها نشان‌دهنده و تائید کننده‌ی تغییرات دمایی نشان داده شده در شکل ۱-۲ می‌باشند. کاهش در وسعت یخ‌های دریایی در حداقل تابستانه‌ی خود (که در سپتامبر رخ داده است) (الف)، کاهش پوشش برف در نیمکره شمالی در بهار (ب)، گرمایش اقیانوس نسبت به میانگین دوره‌ی ۲۰۰۶-۱۹۵۵ (ج)، افزایش آب سطح اقیانوس‌ها (به بیش از ۷۰۰ متر یا ۲۲۰۰ فوت) (د)، (Cicerone and Nurse, 2014).

۱-۴- مدل‌های آب و هوایی و انواع آنها

مدل یک روش پایه برای تجسم سازی واقعیت‌ها است که خواه در قالب یک مدل فیزیکی به صورت یک ماکت و خواه به صورت یک مدل ریاضی یا آماری نماد پیدا می‌کند. فرآیند ساخت یک مدل به مدل‌سازی معروف است و هدف از آن نظیر سازی محیط طبیعی است که از طریق آنها بتوان فرآیندهای مختلف را بررسی و نتیجه آن را در خروجی مدل مشاهده نمود. استفاده از مدل‌ها در پیش‌بینی‌های هواشناسی دارای سابقه دیرینه است. با توسل به این مدل‌ها محققین قادر هستند بر مبنای عوامل ورودی مدل، پیش بینی‌هایی برای وضعیت چند روز آتی را ارائه نمایند. تفاوت اساسی که مدل پیش بینی مورد استفاده در هواشناسی با مدل‌های آب و هوایی دارد در این است که مدل‌های آب و هوایی درصدد انجام پیش بینی‌های درازمدت هستند. به‌طور مسلم هر قدر مؤلفه‌ها و ورودی‌های مدل به واقعیت محیط طبیعی نزدیک باشد امکان دقت مدل سازی و پیش بینی مدل افزایش پیدا می‌کند.

شکل ۱-۴ دوره‌ی تحول مدل‌های آب و هوایی را نمایش می‌دهد. پیش‌بینی‌های جوی رقومی از دهه‌ی ۱۹۵۰ به عنوان یکی از کاربردهای اولیه‌ی رایانه توسعه پیدا کردند. سپس سریعاً امکان استفاده از شبیه‌سازی‌های رقومی برای مطالعات آب و هوایی مورد توجه قرار گرفت. امکان تولید ترکیب پایدار از معادلات اتمسفری برای دوره‌ی درازمدت توسط نرمان فلیپس[۱]، در سال ۱۹۵۶ نشان داده شد. در همان زمان جوزف اسماگرنسکی[۲]، برنامه‌ای را در مدل‌سازی آب و هوایی که از بزرگ‌ترین و قوی‌ترین برنامه‌های توسعه‌ی مدل‌های جهانی آب و هوایی[۳] در آزمایشگاه دینامیک سیالات و ژئوفیزیک مرکز ملی اقیانوس و جو (GFDL[۴]) دانشگاه پرینستون[۵] است، شروع کرد. از سال ۱۹۶۱، دانشگاه کالیفرنیا نیز تولید مدل‌های گردش عمومی(GCM[۶]) که یکی از مهمترین آنها مدل گردش عمومی جو (AGCM[۷]) می‌باشد را تحت پشتیبانی یاله مینت و آکیو آراکاوا[۸] شروع نمود. این برنامه‌ها در دهه‌ی ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ بر روی دیگران اثر گذاشت که به برنامه‌هایی برای مدل‌سازی که امروزه در آزمایشگاه‌های ناسا[۹] (سازمان ملی هوا و فضا) و چندین دانشگاه موجود است منجر شد. مرکز ملی ایالات متحده برای تحقیقات اتمسفری (NCAR[۱۰]) توسعه‌ی AGCM را تحت نظر آکرا کاساحارا و

---

[1] Norman Phillips
[2] Joseph Smagrinsky
[3] Global climate Model
[4] National Oceanic and Atmospheric Administration's Geophysical Fluid Dynamics Laboratory(GFDL)
[5] Princeton
[6] General Circulation Model(GCM)
[7] Atmospheric General Circulation Model(AGCM)
[8] Yale Minte &Akio Arakawa
[9] National Aeronautics and Space Administration(NASA)
[10] National Center for Atmospheric Research(NCAR)

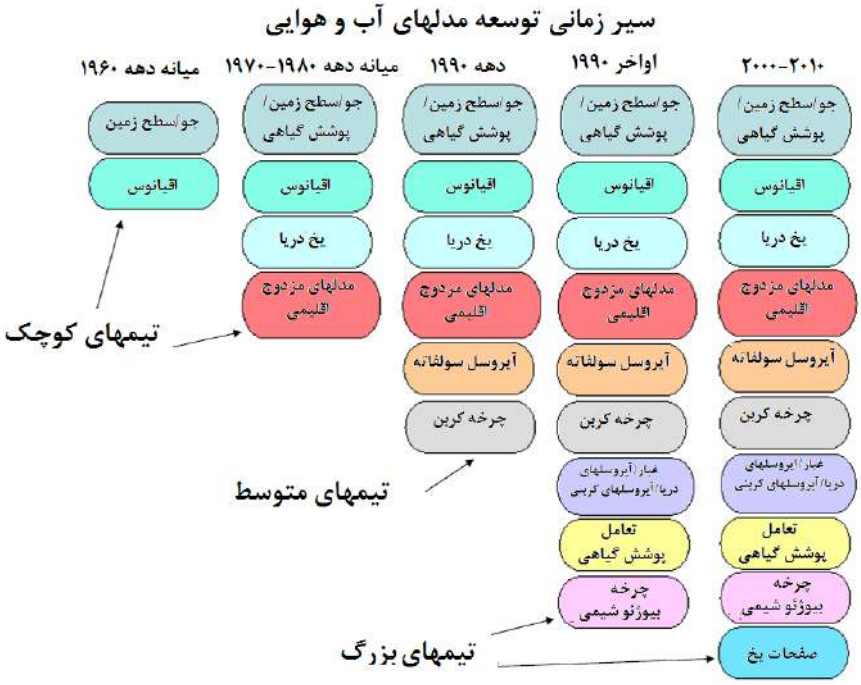
وارن واشنگتن[1] آغاز کرد و درنتیجه در اواخر دهه‌ی ۷۰ و اوایل دهه‌ی ۸۰، مجموعه‌ای از مدل‌های آب و هوایی که در حقیقت مدل‌های پیشین مدل‌های جدید سیستم آب و هوایی هستند ایجاد شد.

مدل‌های پیش‌بینی پیشین، بیشتر روی دینامیک سیالات تمرکز داشتند در حالی که سیر تغییر و تبدیل انرژی تابشی و بیلان اتمسفری که آن هم اهمیت زیادی برای شبیه‌سازی‌های آب و هوایی دارد نیز مهم بود، به‌علاوه چون شبیه‌سازی‌های آب و هوایی در مقیاس زمانی بزرگ‌تر از فصل تمرکز دارد، باید اقیانوس‌ها و یخ‌ها را نیز در سیستم مدل‌سازی اضافه می‌نمودند، درنتیجه اولین مدل اقیانوسی GCM در سال ۱۹۶۰ توسط برایان و کوکس[2] در GFDL توسعه یافت سپس توسط برایان و مناب[3] در سال ۱۹۷۰ با مدل اتمسفری جفت شد و به مدل مزدوج گردش عمومی جو-اقیانوس (AOGCM[4]) معروف شد. به‌موازات آن وقایع در ایالات‌متحده، دهه‌ی ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ دوره‌ی توسعه‌ی مدل‌های آب و هوایی و جوی در جهان بود که مراکز اصلی آنها در اروپا و آسیا می‌باشد. نمایندگان این گروه‌ها در ماه اوت سال ۱۹۷۴ در استکهلم هلند تحت حمایت برنامه‌ریزی تحقیقات اتمسفری با یکدیگر ملاقات داشتند، ملاقات این گروه‌ها، همکاری‌های گسترده‌ای را که امروزه هم در همکاری‌های بین‌المللی ادامه دارد ایجاد نمود.

استفاده از مدل‌های آب و هوایی در تحقیقات روی دی‌اکسید کربن از اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ شروع شد. مهمترین مطالعه، «تغییر و تبدیل غیرعمدی آب و هوا[5]» در سال ۱۹۷۱ با استفاده از مدل‌های آب و هوایی گردش عمومی جو برای مطالعات آب و هوایی انسان منشأ انجام شد. با بهبودها و پیشرفت‌ها در مشاهدات آب و هوایی و قدرت رایانه‌ها، این تحقیقات ادامه یافت و گروه‌های مدل‌سازی پیشرفت زیادی در مدل‌هایشان ایجاد کردند، گرچه این پیشرفت به‌صورت یکنواخت است اما روند افزایشی دارد. بعد از این پیشرفت‌ها تا اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰، چندین سازمان ملی و بین‌المللی برای ارزیابی توسعه‌ی تحقیقات علمی مرتبط با تغییرات جهانی آب و هوا شکل گرفت. ازجمله‌ی آنها می‌توان به هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا (IPCC[6]) در سال ۱۹۸۸ و برنامه‌ریزی تحقیقات تغییرات جهانی ایالات‌متحده (USGCRP[7]) در ۱۹۸۹ که مدل آب و هوایی طراحی می‌کند اشاره کرد. امروزه مشارکت‌های زیادی از سه گروه در ایالات‌متحده (GFDL,NCAR,NASA) و دیگر سازمانها در کشورهای آلمان، ژاپن، فرانسه، استرالیا، کانادا، روسیه، چین، کره، نروژ و بریتانیا ایجاد شده است (Bader et al., 2008).

---

[1] Akira Kasahara&Warren Washington
[2] Bryan&Cox
[3] Bryan&Manabe
[4] atmosphere-ocean coupledgeneral circulation model(AOGCM)
[5] Inadvertent climate Modification
[6] Inetrgovermental Panel on climate change
[7] United State Global Change Research Program



شکل ۱-۴: توسعه‌ی تاریخی مدل‌های آب و هوایی(منبع: IPCC, 2001a)

مدل‌های آب و هوایی در مجموع به پنج گروه زیر تقسیم می‌شوند: (URL 1-1)

- **مدل‌های آماری-احتمالی**

مدل‌های آماری- احتمالی از ساده‌ترین مدل‌های آب و هوایی به شمار می‌روند که در آنها بر اساس روابط آماری مانند معادلات رگرسیون چند متغیره بر مبنای شناسایی متغیر وابسته و متغیر یا متغیرهای مستقل سعی می‌گردد برآوردهایی از ارزش عددی متغیر وابسته و متغیرهای اصلی تأثیر گذار در آن شناسایی و تبیین شود.

- **مدل‌های توازن انرژی (EBM[1])**

این نوع از مدل‌ها بر مبنای بررسی بیلان انرژی بین تابش خورشید و اتلاف گرما و انتقال انرژی بین عرض‌های جغرافیایی استوار است. این نوع مدل‌ها می‌تواند بدون بعد و یا تنها بر مبنای یک بعد پایه‌گذاری شوند که در حالت اول ویژگی‌های عرض جغرافیایی نادیده انگاشته می‌شود در صورتی که در

[1] Energy Balance Model

حالت دوم عرض جغرافیایی نیز در نظر گرفته می‌شود. در نوع دوم، دما برای هر عرض جغرافیایی با استفاده از مقادیر وابسته به عرض و متناسب برای هر پارامتر آب و هوایی محاسبه می‌گردد.

- **مدل‌های یک‌بعدی تابش همرفتی (RCMs[1])**

این مدل‌ها قادر هستند به صورت تک‌بعدی و یا دوبعدی مورد بررسی قرار گیرند. در این نوع مدل‌ها انتقال انرژی با سه ویژگی جذب، پخش و یا گسیلمندی در نظر گرفته می‌شود و با در نظر گرفتن آلبدوی سطحی، مقادیر ابر و اغتشاشات جوی و جذب گرما در لایه‌های مختلف جو محاسبات لازم صورت می‌گیرد. مدل‌های سلول هدلی استوایی نمونه‌ای از این نوع مدل‌ها می‌باشند.

اصولاً مدل‌های تابشی- همرفتی بر اساس قوانین بنیادی زیر بنا نهاده شده‌اند (عساکره، ۱۳۸۶):

- برابری مقادیر تابش ورودی (موج کوتاه) و خروجی (موج بلند) زمین در بلندمدت
- توصیف ویژگی‌های رطوبتی در لایه‌های عمودی جو
- عدم وجود انقطاع حرارتی بین لایه‌های عمودی جو
- عدم میل مقادیر افت آهنگ از مقادیر بحرانی (این مقدار عمدتاً ۶/۵ درجه برای هر کیلومتر است)

- **مدل‌های دوبعدی دینامیکی –آماری (SDMs[2])**

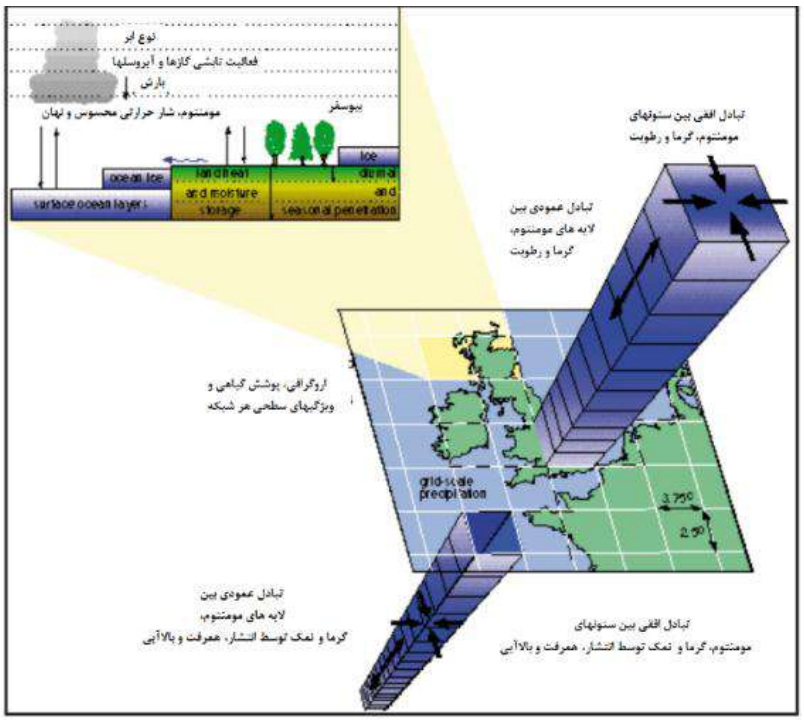
این مدل‌ها عموماً دوبعدی با یک بعد عمودی و یک بعد افقی هستند. این مدل‌ها، انتقال انرژی از مدل‌های توازن انرژی را با توابع تابش-همرفت مدل‌های تابش همرفتی ترکیب می‌کنند. در این مدل‌ها انتقال از استوا به قطب به‌طور دقیق‌تری نسبت به مدل‌های توازن انرژی بر اساس روابط تجربی شارها بین عرض‌های جغرافیایی شبیه‌سازی می‌شود، پخش انرژی با استفاده از قانون حرکت شبیه‌سازی می‌شود، روابط آماری آنها با استفاده از سرعت و جهت باد در این مدل‌ها تعریف می‌شود. این مدل‌ها برای شبیه‌سازی و مطالعه‌ی جریانات افقی انرژی بسیار مفید هستند.

- **مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی جو (GCMs[3])**

این مدل‌های دارای سه بعد بوده و متشکل از هزاران سلول می‌باشند. مدل‌های GCM، مدل‌های ترکیبی هستند که از طرح‌ها و مدل‌های مختلف مانند طرح‌های مختلف بارش، رطوبت، محاسبات رواناب، طرح‌های تابش امواج خورشید، محاسبات آلبدو و ...به شبیه‌سازی گردش عمومی جو در ارتباط

[1] one dimensional radiative-convective models (RCMs)
[2] two-dimensional statistical-dynamical models (SDMs)
[3] three-dimensional general circulation models (GCMs)

با اجزای مختلف آن می‌پردازند و درنتیجه به تولید داده اقدام می‌کنند. این مدل‌ها خود به ۳ نوع مدل گردش عمومی جو AGCM، مدل گردش عمومی اقیانوس OGCM[1] و مدل جفت شده یا مزدوج AOGCM تقسیم می‌شوند (شکل ۱-۵). در مدل گردش عمومی جو معادلات تکامل زمانی دما، بارش، باد، فشار، بخارآب و... در ارتباط با لایه‌ی نازک اتمسفر (حدود ۵۰ متر) در نظر گرفته می‌شود، اما در مدل گردش عمومی اقیانوس، به واکنش اقیانوس‌ها و دریاها در مقابل افزایش دی‌اکسید کربن توجه شده است. در مدل‌های جفت شده، علاوه بر متغیرهای مربوط به گردش جو و اقیانوس، روابط متقابل اکوسیستم خشکی و جو و همچنین خشکی و اقیانوس هم مدنظر است. هدف از آنها محاسبه‌ی همه‌ی شاخص‌های سه‌بعدی آب و هوا در شبکه‌های مشخص است. طول و عرض جغرافیایی شبکه‌ها در مدل‌های مختلف متفاوت است. قدرت تفکیک افقی مدل AOGCM، ۲۰۰-۱۵۰ کیلومتر و قدرت تفکیک عمودی برابر با ۴۰۰-۲۰۰ کیلومتر و گام زمانی برای مدل ۳۰ دقیقه است(White et al., 2009). در جدول ۱-۱ به برخی از مهمترین مدل‌های گردش عمومی جو و مراکزشان اشاره شده است.



شکل ۱-۵: مدل مفهومی از AOGCM (Viner and Hulme,1997)

[1] Oceanic General Circulation Model(OGCM)

جدول۱-۱: مشخصات برخی مدل‌های آب و هوایی (URL 1-2)

مراکز	نام	کشور	مدل جهانی آب و هوایی	وضوح شبکه
سازمان تحقیقات صنعتی و علمی جامعه‌ی استرالیا	CSIRO	استرالیا	CSIRO-MK2.0	۱/۹° × ۱/۹°
مرکز کانادایی برای مدل‌ها و تحلیل‌های آب و هوایی	CCCma	کانادا	CGCM2(T47)	۲/۸° × ۲/۸°
مرکز آب و هوایی پکن	BCC	چین	BCC-CM1	۱/۹° × ۱/۹°
موسسه‌ی فیزیک اتمسفری	LASG	چین	FGOALS_g 1.0	۲/۸° × ۲/۸°
مرکز ملی تحقیقات هواشناسی	CNRM	فرانسه	CNRM-CM2	۱/۹° × ۱/۹°
موسسه‌ی Pierre Simon Laplace	IPSL	فرانسه	IPSL-CM4	۲/۵°×۳/۷۵°
موسسه‌ی هواشناسی ماکس پلانک	MPI-M	آلمان	ECHAM5-OM	۱/۹° × ۱/۹°
موسسه‌ی هواشناسی دانشگاه بن	MIUB	آلمان	ECHO-G	۳/۹° × ۳/۹°
گروه داده و مدل درMPI-M	M&D	آلمان	ECHO-G	۳/۹° × ۳/۹°
موسسه‌ی ملی فیزیک و آتش‌فشان‌شناسی	INGV	ایتالیا	SXG 2005	۱/۹° × ۱/۹°
موسسه‌ی تحقیقات و هواشناسی ژاپن	NIES	ژاپن	MIROC2.2 (hires)	۱/۱° × ۱/۱°
موسسه‌ی ملی مطالعات محیطی	MRI	ژاپن	MRI-CGCM2.2.2	۲/۸ ° ×۲/۸°
موسسه‌ی تحقیقات هواشناسی KMA	METRI	کره	ECHO-G	۳/۹° × ۳/۹°
مرکز تحقیقات آب و هوایی Bjerknes	BCCR	نروژ	BCM2.0	۱/۹° × ۱/۹°
موسسه‌ی ریاضیات محاسباتی	INM	روسیه	INM-CM2.0	۴× ° ۵°
آزمایشگاه ژئوفیزیک دینامیک سیالات	GFDL	آمریکا	GFDL-CM2.1	۲ × ۲/۵°
اداره هواشناسی بریتانیا	UKMO	بریتانیا	HadCM2 HADGEM1	۲/۵°×۳/۷۵° ۱/۳° × ۱/۹°

۱-۵- سناریوهای تغییر آب و هوایی

مدل‌های گردش عمومی جو برای مطالعه‌ی سناریوهای آب و هوایی و برای فرضیه‌های متفاوت ارزیابی موارد اقتصادی و اجتماعی جهان مورد استفاده بوده‌اند. سناریوهای متفاوت تغییر آب و هوایی آینده، موضوع گزارش‌های ارزیابی بوده است که توسط هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا تولید می‌شود.

در سال ۱۹۸۸ سازمان جهانی هواشناسی (WMO[1]) و برنامه‌ریزی محیط‌زیست سازمان ملل (UNEP[2])، هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا را بنیان نهادند. هدف از ایجاد آن این بود که اطلاعات علمی موجود در زمینه‌ی تغییر آب و هوا را ارزیابی کند و آن را طوری بنگارد که به کار سیاستگذاران و دیگر متخصصین و افراد غیر متخصص بیاید. تمامی این سناریوها بر حسب چند متغیر ازجمله تکنیک، اقتصاد، جمعیت، انرژی و... هستند که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن را پایه‌ای برای مطالعات خود قرار می‌دهند. هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا در سال ۱۹۹۰ اولین گزارش ارزیابی(FAR[3])، در سال ۱۹۹۵ دومین گزارش ارزیابی(IS92 Scenarios)، در سال ۲۰۰۱ سری جدید سناریوها در چهار خانواده‌ی سناریو موسوم به SRES[4]، در سال ۲۰۰۷ چهارمین ارزیابی موسوم به AR4[5] و در سال ۲۰۱۳ پنجمین ارزیابی خود را موسوم به AR5[6] به جهانیان عرضه کردند.

- **سناریوهای انتشار گزارش دوم منتشرشده توسط هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا**

سناریوهای موسوم به IS92 شش سناریو از IS92a تا IS92f را در برمی‌گیرد. در این سناریوها مقدار گازهای گلخانه‌ای با نرخی ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. فرضیه‌های این سناریوها با انتقادهای زیادی روبرو شده است. از جمله ایرادهای وارده به این سناریو به‌عنوان مثال سناریوی IS92C پایین‌ترین نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در این سناریو ابتدا جمعیت به‌طور زیادی رشد کرده و سپس در نیمه‌های قرن کاهش می‌یابد. رشد اقتصادی پایین و محدودیت‌های زیادی برای سوخت‌های فسیلی در نظر گرفته می‌شود به طوری که نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن به کمتر از مقدار خود در سال ۱۹۹۰ می‌رسد (IPCC-TGICA, 2007).

- **سناریوهای انتشار گزارش سوم منتشرشده توسط هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا**

یکی از مهمترین و پرکاربردترین گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا، گزارش سوم این هیئت بین الدول بوده است که تا قبل از انتشار گزارش پنجم IPCC به‌طور زیادی از این سناریوها

[1] World Meteorological Organization
[2] United Nations Environment Programme (UNEP)
[3] First assessment report
[4] Special Report on Emissions Scenarios
[5] Fourth Assessment Report
[6] Fifth Assessment Report

جهت شبیه‌سازی‌های آب و هوایی استفاده می‌شد. این سناریوها که به سناریوهای SRES موسوم هستند شامل دامنه‌ی انتشار همه‌ی نوع مرتبط گازهای گلخانه‌ای و سولفور و نیروهای محرک آنها (جمعیت، توسعه‌ی اقتصادی و فنّاوری) است. سناریوهای گروه SRES شامل ۴۰ سناریو توسط ۶ گروه سناریو که ترسیم‌کننده‌ی چهار خانواده‌ی اصلی سناریو (یک گروه در A2،B1،B2 و سه گروه در A1) هستند از توسعه‌ی فنّاوری، انرژی، جمعیت، اقتصاد و...خصلت می‌یابند. این چهار خانواده اصلی عبارت‌اند از (IPCC, 2000):

A1: در این سناریو جهان آینده با رشد سریع اقتصادی و جمعیت جهانی کاراتری که در نیمه‌ی قرن به حداکثر خود می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد در نظر گرفته می‌شود. این سناریو به معرفی سریع فنّاوری‌های جدید و کاراتر می‌پردازد. این خانواده خود به سه گروه تقسیم می‌شود:

- A1F: شدت بخشیدن به نقش انرژی فسیلی.
- A1T: استفاده از منابع انرژی غیر فسیلی.
- A1B: تعادل میان همه‌ی منابع.

A2: این خانواده سناریو یک دنیای بسیار ناهمگون را تصور می‌کند که مفهوم اصلی آن خوداتکایی و بقای هویت محلی است، الگوی باروری در میان نواحی دگرگونی بسیار اندکی دارد که نتیجه‌ی آن افزایش پیوسته‌ی جمعیت است. توسعه‌ی اقتصادی ابتدا بر محور منطقه‌ای استوار است و رشد اقتصادی و تغییر فناوری به زیر بخش‌هایی تفکیک‌شده و با شتاب کمتر از سایر سناریوها به انجام می‌رسد.

B1: این خانواده سناریو یک دنیای همگون با جمعیت جهانی مشابه حداکثر در میانه‌ی قرن ۲۱ و کاهش پس از آن همانند سناریوی A1 را در بر دارد. اما در این سناریو، تغییر سریع ساختارهای اقتصادی به سمت یک سامانه‌ی اقتصادی با کاهش شدت مواد، استفاده از فناوری پاک را مد نظر دارد، تأکید بر حل مسائل جهانی، اقتصادی، اجتماعی و توسعه‌ی پایدار زیست‌محیطی اما بدون تغییرات شدید آب و هوایی مد نظر است.

B2: در این خانواده‌ی سناریو تأکید بر حل مسائل محلی اقتصادی، اجتماعی و توسعه‌ی پایدار زیست‌محیطی مورد توجه است. در این سناریو افزایش پیوسته‌ی جمعیت با نرخ کمتر از سناریوی A2 تصور شده است. مقدار متوسط توسعه‌ی اقتصادی، رشد سریع‌تر و متفاوت تغییر فناوری نسبت به سناریوی A1 و B1 در این سناریو ترسیم شده است.

- **سناریوهای انتشار گزارش پنجم منتشرشده توسط هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا**

در گزارش پنجم هیئت بین الدول تغییرات آب و هوایی، سناریوهای جدید تحت عنوان خطوط سیر غلظت‌های گوناگون (RCP[1]) در شبیه‌سازی‌های مدل‌های آب و هوایی که تحت چارچوب پروژه‌ی درون

[1] Representative Concentration Pathway

مقایسه‌ای مدل‌های مزدوج (CMIP5[1]) از برنامه‌ریزی تحقیقات جهانی آب و هوا است، استفاده شده است. RCP شامل چهار سناریوی اصلی می‌باشند که یکی از آنها با انتشار بسیار پایین (RCP2.6)، دو سناریو با مقدار بالاتر (RCP4.5,RCP6.0) و یک سناریو با انتشار بسیار بالا (RCP8. 5) در نظر گرفته شده است. در حقیقت این سناریوهای جدید می‌تواند نمایشگر سیاست‌گذاری‌های آب و هوای قرن ۲۱ در مقایسه با سیاست‌های غیر آب و هوایی منتشرشده در گزارش سوم IPCC باشند (جدول ۱-۲).

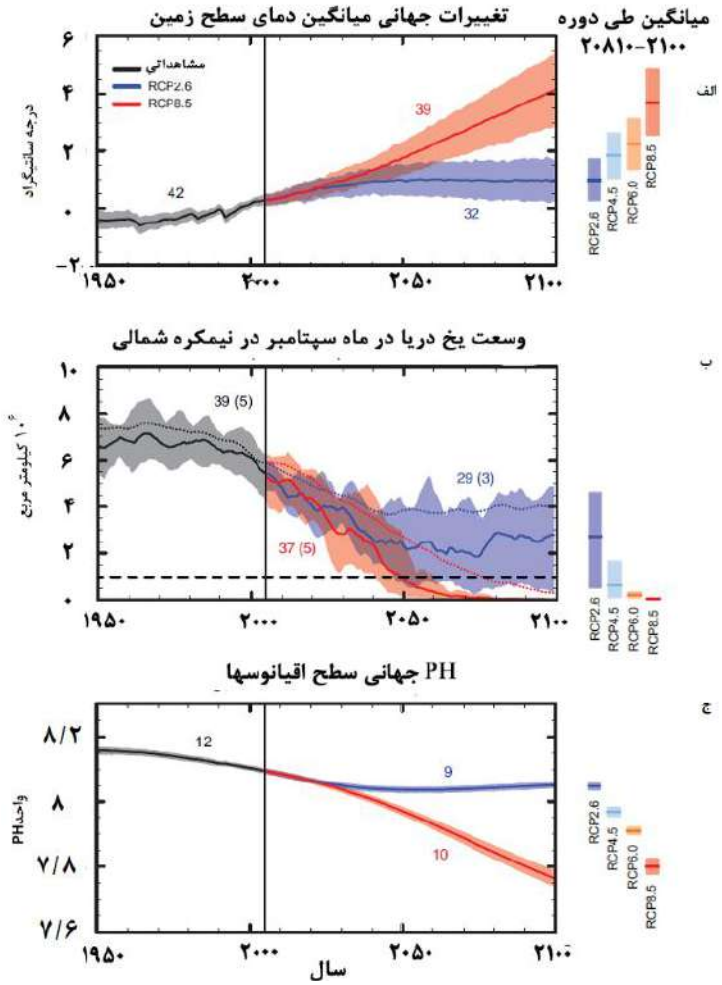
جدول۱-۲: مشخصات سناریوهای واداشت تابشی RCP مورد استفاده در گزاش پنجم هیئت بین الدول تغییرات آب و هوایی (IPCC, 2014)

نام سناریو	نیروی تابشی (وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰)	معادل دی اکسید کربن (p.p.m)	ناهنجاری دمایی (درجه سانتیگراد)	خط سیر (روند)	معادل ناهنجاری دمایی سناریوهای انتشار SERS
RCP8.5	۸/۵	۱۳۷۰	۴/۹	افزایش	A1F1
RCP6.0	۶	۸۵۰	۳	پایداری بدون جهش	B2
RCP4.5	۴/۵	۶۵۰	۲/۴	پایداری بدون جهش	B1
RCP2.6 RCP39D	۳ قبل از ۲۱۰۰، کاهش به ۲/۶ تا ۲۱۰۰	۴۹۰	۱/۵	افزایش و کاهش	-

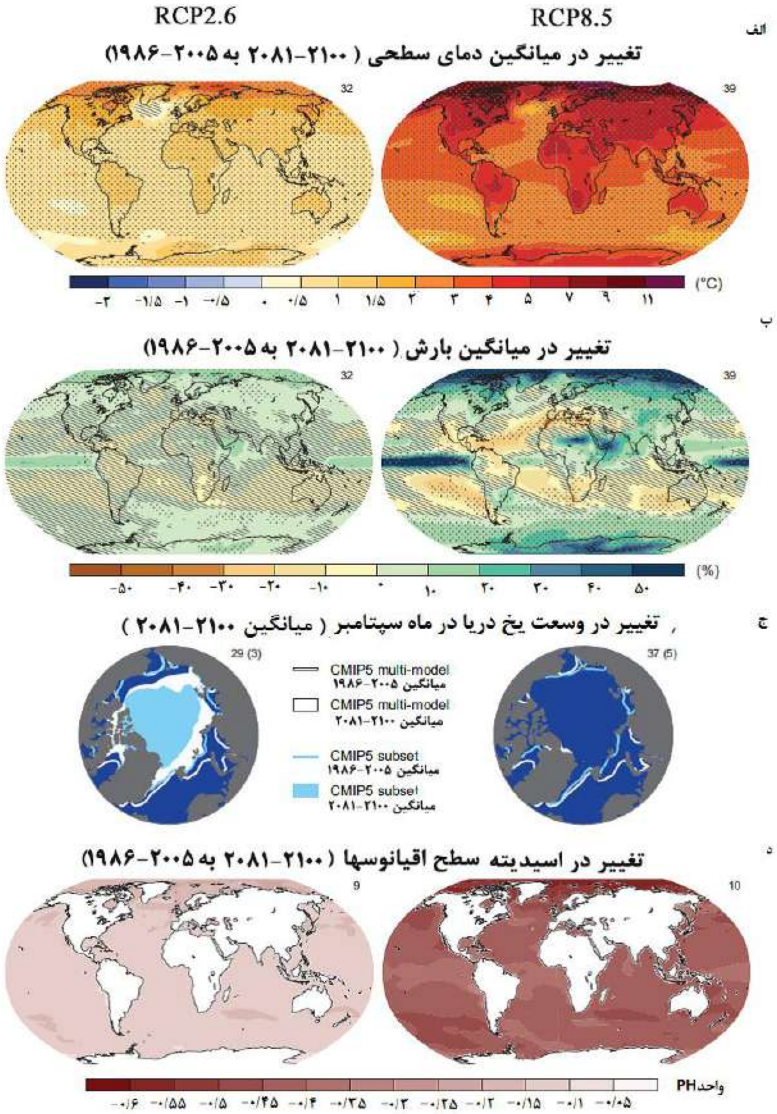
تا آخر قرن ۲۱ محتمل است که دما تحت همه‌ی این سناریوها به‌جز RCP2.6 نسبت به دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۸۵۰ به میزان ۱/۵ درجه سانتیگراد بالاتر رود. همچنین تحت سناریوهای RCP6 و RCP8.5 به متجاوز از ۲ درجه سانتیگراد و برای RCP4.5 به مقداری کمتر از ۲ درجه سانتیگراد برسد. گرمایش ادامه می‌یابد و تغییرات درون سالانه تا دهه‌ای را آشکار خواهد نمود و این تغییرات به‌طور ناحیه‌ای نیز یکنواخت نخواهد بود. بیشتر شبیه‌سازی‌های مدل‌های CMIP5 پیش‌بینی کرده‌اند که غلظت دی‌اکسید کربن در سناریوی RCP2.6 به ۴۲۱، در سناریوی RCP4.5 به ۵۳۸، در سناریوی RCP6.0 به ۶۷۰ و در سناریوی RCP8.5 به ۹۳۶ ppm خواهد رسید.

شکل ۱-۶ نتایج را به‌صورت نمودار برای دما، یخ دریاها و اسیدیته شدن آب اقیانوس و شکل ۱-۷ نتایج را به‌صورت نقشه برای دما، بارش، یخ و اسیدیته شدن آب اقیانوس‌ها تحت این سناریوها نشان می‌دهد.

[1] Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)



شکل ۱-۶: سری زمانی شبیه‌سازی‌شده چندمدله از پروژه‌ی CMIP5 طی دوره‌ی ۱۹۵۰ تا ۲۱۰۰. الف – تغییر در میانگین سالانه دمای سطحی نسبت به دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۸۶، ب- گستره یخ دریاها در ماه سپتامبر در نیمکره شمالی (میانگین چرخشی ۵ ساله)، ج-میانگین جهانی PH سطح اقیانوس‌ها. سری زمانی شبیه‌سازی‌ها و عدم قطعیت‌های آنها (سایه روشن) برای سناریوی RCP2.6 (آبی) و سناریوی RCP8.5 (قرمز) نمایش داده شده است. خط مشکی با سایه روشن خاکستری، داده‌های ارزیابی مشاهداتی مدل شده می‌باشد. تعداد مدل‌ها برای شبیه‌سازی نیز بالای هر خط نوشته شده است. میانگین کل مدل‌ها با نقطه‌چین نمایش داده شده است. خط تیره در نمودار ب نیز نمایش‌دهنده‌ی شرایط تقریباً عاری از یخ می‌باشد (زمانی که گستره یخ دریا طی حداقل ۵ سال متوالی کمتر از 10^6 باشد) (IPCC, 2013).



شکل ۱-۷: نتایج میانگین چندمدله از پروژه‌ی CMIP5 برای سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 طی دوره‌ی ۲۱۰۰-۲۰۸۱. الف-تغییرات میانگین سالانه دمای سطحی، ب- میانگین درصد تغییرات در میانگین سالانه‌ی بارش ، ج- گستره یخ دریا در ماه سپتامبر، د- تغییر در اسیدیته سطح آب اقیانوس‌ها. تغییرات در نمودارهای الف،ب و د نسبت به دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۸۶ نمایش داده شده است. تعداد مدل‌های استفاده‌شده نیز در بالای هر نمودار در سمت راست آنها نمایش داده شده است، نقاط روی نقشه‌ها نمایش‌دهنده‌ی نواحی است که میانگین چند مدل در مقایسه با تغییرپذیری طبیعی بالاتر بوده است و ۹۰ درصد مدل‌ها با این نتیجه در توافق بوده‌اند (منبع:IPCC, 2013).

۱-۶- ریزمقیاس سازی[1]

اطلاعات تغییر آب و هوا برای برخی مطالعات نیاز به مقیاس فضایی خیلی بهتر و با وضوح‌تر از آنچه توسط مدل‌های گردش عمومی جو تولید می‌شود دارد. حتی اگر مدل‌های جهانی آب و هوایی در آینده با وضوح بالا اجرا شوند نیاز به ریزمقیاس سازی نتایج چنین مدل‌هایی برای یکایک مکآنها یا موقعیت‌ها برای ارزیابی تغییر آب و هوا باقی خواهد ماند. درحالی‌که مدل‌های گردش عمومی برای شبیه‌سازی آب و هوا در مقیاس قاره‌ای طراحی شده‌اند، اما در برخی کاربردها همانند مدیریت منابع آب، تحلیل‌های مقیاس ناحیه‌ای و حتی محلی و...به اطلاعات تغییر آب و هوایی بارش و دمای محلی در وضوح فضایی بالا نیاز است. متأسفانه مدل‌های آب و هوایی جهانی به دلیل وضوح کم آنها که عموماً حدود ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع (۳۰۰-۱۵۰ کیلومتر) است و همچنین عدم توانایی‌شان در حل و فصل اشکال ریزمقیاس شبکه مانند ابر، توپوگرافی، تبخیر و...برای مطالعه‌ی اثرات محلی محدود می‌باشند؛ به همین دلیل نیاز به تکنیکی وجود دارد که اشکال بزرگ‌مقیاس را در مقیاس محلی تفسیر و توجیه کند که این تکنیک «ریزمقیاس سازی» نام دارد. ریزمقیاس سازی به‌طور عام به دو گروه ریزمقیاس سازی آماری و ریزمقیاس سازی دینامیکی قابل تقسیم‌بندی است:

- **ریزمقیاس سازی دینامیکی[2]**

این نوع ریزمقیاس سازی به نام ریزمقیاس سازی منطقه‌ای نیز شناخته می‌شود. این نوع مدل‌ها کاملاً متکی به مدل گردش جهانی بوده و در حل و فصل شرایط جوی مشابه آن عمل می‌نمایند. در این روش از مدل‌های گردش جهانی برای تعریف شرایط مرزی اتمسفری (دما، فشار سطح زمین، رطوبت نسبی، جهت و سرعت باد، ارتفاع ژئوپتانسیل و...) که در طول زمان تغییر می‌کند استفاده می‌شود و دینامیک اتمسفری با استفاده از شبکه‌هایی با وضوح افقی ۷۰-۲۰ کیلومتر مدل می‌شود. از محدودیت‌های اصلی آنها این است که آنها از نظر محاسباتی به مدل گردش جهانی‌ها وابسته‌اند. سناریوی تولیدشده توسط آنها به انتخاب شرایط مرزی مانند رطوبت خاک حساس است، از مزیت‌های اصلی آنها این است که آنها می‌توانند اشکال اتمسفری کوچک‌مقیاس مثل بارشهای اروگرافیک و یا جت‌های سطح پایین را بهتر از مدل‌های گردش جهانی تحلیل کنند.

- **ریزمقیاس نمایی آماری**

در این نوع ریز مقیاس سازی موارد زیر مورد توجه است:

- **تیپ‌های هوا[3](طرح طبقه‌بندی جو)**

این رویکرد گروهی از داده‌های جوی محلی را در ارتباط با الگوی گردش اتمسفری استفاده می‌کند، سناریوی تغییر آب و هوایی آینده توسط نمونه‌برداری مجدد از توزیع متغیرهای مشاهده‌شده و هم

---

[1] Downscaling
Dynamic Downscaling
[2] Regional climate Model(RCM)
[3] Weather Typing

توسط دنباله‌های مصنوعی تولیدشده الگوهای جوی با استفاده از روش Monte Carlo و نمونه‌برداری مجدد از داده‌های مشاهده‌شده، ساخته می‌شود. به‌عبارت دیگر این روش گروهی از روزها را به تعداد محدودی از آب و هوا یا حالات بر اساس شباهت سینوپتیکی‌شان جدا می‌کند (wilby et al., 2004). سپس از GCMیا RCM جهت برآورد فراوانی تیپ‌های هوا به‌منظور ارزیابی تغییر آب و هوا استفاده می‌شود. این روش برای بسیاری از متغیرها و برای کاربردهای چند مکانه نیز معتبر است.

- **مولدهای مصنوعی جو**[1]

در این روش دادهای جوی مصنوعی جهت دوره‌ی پایه و سناریوسازی تولید می‌شود. از این نمونه می‌توان به MET&ROLL، LARS-WG[2]، WGEN، CLIMGEN، USCLIMAT و GEM اشاره نمود. در مورد مولدهای مصنوعی (WG) دو روش وجود دارد که عبارت‌اند از روش زنجیره مارکف و روش توزیع نیمه تجربی.

در نوع ریچاردسون یا زنجیره مارکف، حالت فعلی یک سیستم به حالت‌های قبلی آن بستگی دارد، برای کار با زنجیره مارکف باید دو حالت را مشخص نمود: حالت سیستم در زمان مشخص و احتمالات تغییر حالت خاص به حالت‌های ممکن دیگر که اصطلاحاً حالت گذار نامیده می‌شود (مؤمنی،۱۳۷۴). مولدهای مصنوعی جو از روش‌های مختلفی برای وقوع و شدت بارش استفاده می‌کنند. تر یا خشک بودن روز توسط زنجیره مارکف مشخص می‌شود، سپس مقادیر بارش در روزهای مرطوب با استفاده از توزیع گاما به دست می‌آید، متغیرهای دیگر مانند دمای حداقل، حداکثر و تابش، به تابش خورشید مرتبط هستند. در مدل WGEN متغیرها با استفاده از خودهمبستگی مدل شده‌اند. ضعف آنها در نشان دادن طول سری خشک و مرطوب است که در کشاورزی اهمیت زیادی دارد.

روش دیگر روش توزیع نیمه تجربی یا سریال است. LARS-WG یک مدل WG است که از توزیع نیمه تجربی برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند. این مدل که دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه، بارش روزانه و تابش روزانه را تحت شرایط آب و هوایی حال و آینده مدل می‌کند نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به مدل WGEN ارائه می‌دهد. این مدل برای چهار متغیر ذکرشده از توزیع نیمه تجربی ذیل استفاده می‌کند:

EMP=$\{a_0, a_i, h_i$=0,1,2,....,10$\}$

که در آن EMP هیستوگرامی با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش است. ai-1< ai (ai-1, ai]و h_i، تعداد رخداد بارش در iامین فاصله را نشان می‌دهد. مقادیر تصادفی از توزیع نیمه تجربی با انتخاب یکی از فاصله ها و سپس انتخاب یک مقدار در آن محدوده از توزیع یکنواخت مشخص می‌شود. این توزیع قابل انعطاف است و می‌تواند با کمی تبدیل به تنوع وسیعی از شکل‌های گوناگون با بازه‌های مختلف(ai-1, ai]) تغییر کند. امتیاز آن این است که این توزیع به ۲۱ پارامتر نیاز دارد که از نسخه‌های

[1] Weather Generator(WG)
[2] Long Ashton Research Station-Weather Generator

جدیدتر این مدل که از سه پارامتر برای نشان دادن سری تر و خشک استفاده می‌کند برتری دارد. فاصله‌ی [ai-1, ai) بر اساس توزیع قابل انتظار از رفتار متغیرهای هواشناسی است. برای تابش، فاصله‌ی بین مقادیر بیشینه و کمینه‌ی داده‌های مشاهده‌شده برابر هستند درصورتی‌که برای طول سری خشک وتر بارش، اندازه‌ی فاصله‌ها به‌تدریج با افزایش i، افزایش می‌یابد. دمای حداقل و حداکثر به‌عنوان یک فرایند تصادفی و آماری، میانگین و انحراف معیار روزانه مشروط به تر یا خشک بودن روز در نظر گرفته می‌شوند. چرخه‌ی فصلی میانگین و انحراف معیار توسط سری فوریه مرتبه سوم مدل می‌شود. مقادیر باقیمانده دما با استفاده از توزیع نرمال مدل‌سازی می‌شود. برای تابش، اگر مدل‌سازی آن با توزیع نرمال مطابقت نداشته باشد با یک توزیع نیمه تجربی مستقل از دما مدل می‌شود. مزیت اصلی این مدل در این است که برای ارزیابی اثرات کشاورزی و هیدرولوژی کاربرد دارد.

- **توابع انتقال[1] (مدل‌های رگرسیونی)**

این مدل‌ها به ارتباط بین متغیرهای وابسته (predictand) و متغیر مستقل (predictor) تکیه دارد. امروزه مدل‌های رگرسیون خطی، غیرخطی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، همبستگی کانونیکال و تحلیل مؤلفه‌های اصلی همه برگرفته از این ارتباط هستند. قدرت اصلی آن در استفاده‌ی آسان آن نهفته است اما تنها کسری از تغییرپذیری آب و هوای مشاهداتی را توضیح می‌دهد.

۱-۷-انواع داده‌ها در ارزیابی تغییر آب و هوایی

به دنبال شناسایی ضعف‌ها و مشکلات به منظور تدارک برای دوره‌ی آینده در گزارش سوم هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا که در سال ۲۰۰۱ کامل شد، این هیئت یک اتاق کاری برای پروژه تغییر آب و هوای ناحیه‌ای برای ارزیابی اثرات در سپتامبر ۱۹۹۶ در لندن تشکیل داد که هدف از ایجاد این اتاق کاری شکل دادن به یک «گروه موظف در حمایت از سناریوها و داده‌ها برای ارزیابی اثرات آب و هوایی»(TGCIA[2]) بود، که نقش این گروه در نظر گرفتن راهبرد به منظور فراهم کردن اطلاعات ناحیه‌ای تغییر آب و هوا با تمرکز خاص روی گزارش سوم هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا و همچنین ظرفیت‌سازی برای ارزیابی‌های آینده‌ی هیئت بود.

در سال ۱۹۹۸ مرکز توزیع داده‌ها (DDC[3]) در پی تأکید و توصیه‌ی گروه موظف برای بهره‌برداری از انتشار به‌موقع از مجموعه پایدار سناریوهای به روز تغییر آب و هوایی مرتبط با عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیطی برای استفاده در ارزیابی اثرات آب و هوایی تأسیس شد که این مرکز سه نوع اصلی از داده‌ها را فراهم می‌کند:

الف-سناریوها و داده‌های اقتصادی و اجتماعی: این اطلاعات برای توصیف توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی فراهم می‌شود، منبع این داده‌ها سطوح کشوری و ناحیه‌ای هستند که متغیرهای منابع اقتصادی

[1] Transfer Function
[2] Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (TGICA)
[3] Data Distribution Centre

و اجتماعی را مشخص می‌کنند، این اطلاعات مانند جمعیت، شرایط اقتصادی، کاربری اراضی و ... است و از منابعی نظیر بانک جهانی، سازمان خواروبار جهانی و UNEP جمع‌آوری می‌شوند(IPCC, 1998).

ب-سناریوها و مشاهدات آب و هوایی: مشاهدات آب و هوایی دربرگیرنده‌ی داده‌های میانگین ماهانه دوره‌ی پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ برای نواحی جهان و برای نه متغیر آب و هوایی در وضوح ۰/۵ درجه در طول و عرض جغرافیایی، همراه با ناهنجاری‌های دهه‌ای از این میانگین برای دوره‌ی ۱۹۹۵-۱۹۰۵ است. امروزه این داده‌ها برای سال ۲۰۰۰ به روز شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی‌های مدل‌های مزدوج و مدل‌های غیر مزدوج، نتایج شبیه‌سازی‌های دوره‌ی کنترل و...نیز فراهم شده‌اند.

ج-سناریوها و داده برای تغییرات محیطی دیگر: شامل داده‌های پایه و شبیه‌سازی‌شده برای میانگین جهانی غلظت دی‌اکسید کربن، افزایش سطح آب دریاهای جهانی و ناحیه‌ای، غلظت ازن سطح زمین و غلظت سولفات و سولفور می‌باشد.

از اصلی‌ترین کارهای مرکز توزیع داده‌ها، تأمین مجموعه داده‌های خروجی از آزمایش‌های مدل‌های گردش عمومی جو است.

دوره‌ی پایه برای مطالعات آب و هوایی با توجه به این موارد انتخاب می‌شود:

الف-ارائه‌گر میانگین آب و هوایی حال حاضر در ناحیه‌ی مورد مطالعه باشد.

ب-دوره‌ی زمانی کافی که دامنه‌ی وسیعی از تغییر آب و هوایی همانند ناهنجاری آب و هوایی را در بر بگیرد، داشته باشد.

ج-این دوره، همه‌ی متغیرهای آب و هوایی را پوشش دهد.

د-داده‌ها با کیفیت بالا باشد.

ه-به راحتی قابلیت مقایسه‌ای با آب و هوای پایه‌ای استفاده‌شده در دیگر مطالعات را داشته باشد.

دوره‌ی پایه عموماً یک دوره‌ی ۳۰ ساله به‌عنوان یک دوره نرمال توسط سازمان هواشناسی جهانی تعریف شده است که آن دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ است، اخیراً دوره‌ی استاندارد ۲۰۰۰-۱۹۷۱ در نظر گرفته می‌شود که به‌عنوان رد دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نیست. انتخاب این دوره‌ها در برخی کشورها نیز با مشکلاتی مواجه است مثلاً در برخی کشورها دسترسی بهتر داده‌ها برای دوره‌ی ۱۹۸۰-۱۹۵۱ وجود دارد و یا در برخی کشورها به دلیل افزایش روند گرمایش که ممکن است به دلیل نظریه‌ی گازهای گلخانه‌ای باشد، ۱۰ سال گرمتر بین ۱۴۴ سال اخیر، بین ۱۹۸۳ و ۱۹۹۹ رخ داده باشد.

داده‌های مربوط به آینده باید با در نظر گرفتن خصوصیات مدل‌های گردش عمومی جو انتخاب شود. این خصوصیات عبارت‌اند از:

۱. مدل بهتر است از نوع مدل مزدوج اتمسفری-اقیانوسی باشد.
۲. مدارک این مدل‌ها در اسناد و مکتوبات موجود باشد.
۳. به‌طور واضحی به ارائه‌ی گازهای گلخانه‌ای بپردازد.
۴. وضوح حداقل ۳ درجه در عرض جغرافیایی و ۳ درجه در طول جغرافیایی داشته باشد.

انواع داده‌های مورد استفاده در جدول ۱-۳ آمده است:

جدول ۱-۳: انواع داده‌ها در مطالعات تغییر آب و هوا (IPCC-TGICA, 2007)

نوع داده	منبع
انواع مختلف	مرکز داده‌ای جهانی هواشناسی
آب و هوای مشاهداتی	مجموعه داده‌های آب و هوایی جهانی(CRU[1])در مرکز توزیع داده‌ی IPCC شبکه‌ی جهانی آب و هواشناسی تاریخی (GHCN[2]) موسسه‌ی تحقیقات بین‌المللی پیش‌بینی‌های آب و هوایی Lamont-Doherty مشاهدات زمینی دانشگاه کلمبیا مرکز داده‌های جوی بریتانیا (BADC[3]) مرکز آب و هواشناسی بارش‌های جهانی (GPCC[4]) مرکز ملی تحقیقات اتمسفری (NCAR) سیستم حمایت از داده‌ها داده‌های واحد تحقیقات آب و هوایی CRU مرکز آب و هوایی NOAA مجموعه‌ی فراگیر از داده‌های اتمسفری اقیانوسی (COADS[5]) در NOAA
داده‌های Reanalysis	NCEP[6] Reanalysis ECMWF[7]
شبیه‌سازی کنترل GCM	IPCC Data Distribution Center (مرکز توزیع داده‌ای IPCC)
مولدهای مصنوعی	Larswg ClimGen climatic data Generator
داده‌های گردش عمومی جو مدل کانادایی CanESM2[8] برای استفاده در نرم‌افزار SDSM[9]	این مدل گردش عمومی جو کانادایی قادر است داده‌ها را به‌طور جهانی مهیا نماید. وضوح سلول‌های شبکه‌ای ۶۴×۱۲۸ کیلومتر بوده و برای تحلیل‌های آب و هوایی و ریزمقیاس سازی بر اساس سناریوهای گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا بسیار قابل توجه است.
داده‌های ناحیه‌ای CORDEX[10]	این داده‌ها توسط برنامه‌ریزی جهانی تحقیقات آب و هوایی[11] (WCRP) طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ معرفی شده است و این برنامه‌ریزی طی اجلاس‌های برگزارشده‌ی مختلف نشان داده است که این داده‌ها بلوغ کافی برای ارزیابی اثرات تغییر آب و هوایی را دارا می‌باشند. داده‌های CORDEX، خروجی GCMهای متعددی را پوشش می‌دهد و نتایج را به‌صورت ناحیه‌ای در اختیار قرار می‌دهد. CORDEX ۱۴ ناحیه‌ی جغرافیایی را شامل شده و ناحیه‌ی ۱۳ مربوط به منطقه‌ی خاورمیانه و شمال افریقا می‌باشد. ایران در این ناحیه واقع شده است. این داده‌ها در وضوح فضایی ۱۲ تا ۵۰ کیلومتر بوده و برای ارزیابی اثرات تغییر آب و هوایی قابل استفاده می‌باشند.

[1] Climatic Research Unit
[2] Global Historical Climatology Network
[3] British Atmospheric Data Centre
[4] Global Precipitation Climatology Centre
[5] Ocean-Atmosphere Data Set
[6] National Centers for Environmental Prediction
[7] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)
[8] The second generation Canadian Earth System Model (CanESM2)
[9] Statistical Downscaling Model
[10] Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
[11] World Climate Research Programme(WCRP)

۱-۸- عدم قطعیت‌ها[1] و روند آینده‌ی مدل‌های آب و هوایی

در هر گام ارزیابی اثرات، باید تصمیم‌گیری مناسب و کاملی از عدم قطعیت‌های کلیدی در نتایج در نظر گرفته شود که شامل عدم قطعیت داده‌های ورودی، مدل‌ها، سناریوی آب و هوایی و سناریوهای غیر آب و هوایی است(Carter et al., 2001).

با توجه به روند فعلی و توسعه‌ی رایانه‌های پیشرفته و درنتیجه قابلیت این رایانه‌ها در افزایش دقت در عملکردشان، افزایش دقت در مدل‌ها جهت تحلیل فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، همچنین آگاهی بشر از پدیده‌ی گرمایش جهانی و استفاده‌ی رو به رشد از این مدل‌ها جهت سناریوسازی برای آینده باعث شده این مدل‌ها همچنان به توسعه‌ی خود ادامه دهند، اما اینکه واقعاً چقدر به آینده‌ی دور نزدیک می‌شویم به عدم قطعیت‌های زیر بستگی دارد:

- عدم قطعیت موجود در سناریوها
- عدم قطعیت موجود در مدل‌های گردش عمومی جو
- عدم قطعیت‌های موجود در روش‌های ریزمقیاس سازی

درنتیجه برای استفاده از مدل‌ها جهت سناریوسازی باید آزمون‌های عدم قطعیت بر روی آنها انجام شود تا میزان صحت کار آشکار گردد. برای عدم قطعیت‌های موجود در روش ریزمقیاس سازی می‌توان موارد زیر را در نظر گرفت:

در مورد داده‌های دما، چون داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند، عدم قطعیت‌ها با مقایسه‌ی میانگین و واریانس سری مشاهداتی و ریزمقیاس شده قابل اندازه‌گیری است. این آزمون‌ها در سطوح مختلف آماری (همانند ۹۵درصد و ۹۹درصد) انجام می‌شوند.

در مورد سری بارش، عدم قطعیت‌ها علاوه بر مقایسه‌ی میانگین و واریانس سری مشاهداتی و ریزمقیاس شده به دلیل توزیع غیر نرمال آن، در مورد میانگین ماهانه‌ی دوره‌ی خشک و مرطوب، توزیع فراوانی تجمعی میانگین ماهانه‌ی بارش روزانه و توزیع ماهانه‌ی روزهای خشک و مرطوب در سری تولیدشده و مشاهداتی نیز انجام می‌گیرد. با انجام این آزمون‌ها تا حدی می‌توان از نتایج کار خود اطمینان حاصل کرد.

عدم قطعیت‌های موجود در سناریو و یا مدل‌ها را می‌توان با مقایسه‌ی بین مدل‌ها و سناریوها به حداقل ممکن کاهش داد.

[1] Uncertainty Analysis

۱-۹- پیمان‌های بین‌المللی در زمینه‌ی تغییر آب و هوا

چارچوب پیمان‌نامه سازمان ملل در زمینه‌ی تغییر آب و هوایی (UNFCCC[1]) یک معاهده‌ی محیطی بین‌المللی است که توسط اجلاس‌های ملل متحد برای محیط و توسعه (UNCED[2]) ایجاد شده و رسماً به‌عنوان اجلاس زمین که از سوم تا چهاردهم ژوئن ۱۹۹۲ در ریودوژانیروی برزیل برگزار شد، شناخته شده است. هدف پیمان، ثابت نگه‌داشتن غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر در سطحی است که از خطرهای انسان منشأ رو به رشد مواجه با سیستم آب و هوایی جلوگیری کند. خود پیمان، محدودیت‌های اجباری برای انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کشورها ندارد و هیچ مکانیزم اجرایی را شامل نمی‌شود، اما پیمآنهایی که «پروتکل» نامیده می‌شوند، محدودیت‌های اجباری برای انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بردارند، که مهمترین آن پیمان «کیوتو» بود که به‌موجب آن کشورهای صنعتی متعهد شدند میزان گازهای گلخانه‌ای را تا ۵/۲ درصد کاهش دهند. مقر UNFCCC در نیویورک سیتی بوده و سال تثبیت آن ۹ می ۱۹۹۲ می‌باشد. از زمانی که UNFCCC اجرایی شد، متحدان هرساله همدیگر را در اجلاس احزاب یا اجلاس‌های مشارکتی (COP[3]) برای ارزیابی افزایش تغییر آب و هوایی ملاقات می‌کنند. در ۱۹۹۵ در برلین آلمان، اولین اجلاس تشکیل شد. پس از آن اجلاس‌های تشکیل‌شده‌ی سازمان به ترتیب عبارت‌اند از: سال ۱۹۹۶ در ژنو سوئیس، سال ۱۹۹۷ در کیوتوی ژاپن و قرارداد کیوتو، سال ۱۹۹۸ در بوئنوس آیرس آرژانتین، سال ۱۹۹۹ در بن آلمان، سال ۲۰۰۰ در هلند، سال ۲۰۰۱ در بن آلمان، سال ۲۰۰۲ در دهلی نو هند، سال ۲۰۰۳ در میلان ایتالیا، سال ۲۰۰۴ در بوئنوس آیرس آرژانتین، سال ۲۰۰۵ در منترال کانادا، سال ۲۰۰۶ در نایروبی کنیا، سال ۲۰۰۷ در بالی اندونزی، سال ۲۰۰۸ در لهستان، سال ۲۰۰۹ در کپنهاک دانمارک، سال ۲۰۱۰ در مکزیکوسیتی مکزیک، سال ۲۰۱۱ در دوربان آفریقای جنوبی، سال ۲۰۱۲ در قطر، سال ۲۰۱۳ در وارساو لهستان، سال ۲۰۱۴ در لیمای پرو، سال ۲۰۱۵ در پاریس فرانسه، سال ۲۰۱۶ در مراکش، سال ۲۰۱۷ در بن آلمان و سال ۲۰۱۸ در لهستان. در هر کدام از این اجلاس‌ها تصمیماتی اتخاذ گردیده است و به زبآنهای مختلف منتشر شده‌اند (URL 1-3).

۱-۱۰- نرم‌افزارهای مدل‌سازی آب و هوایی

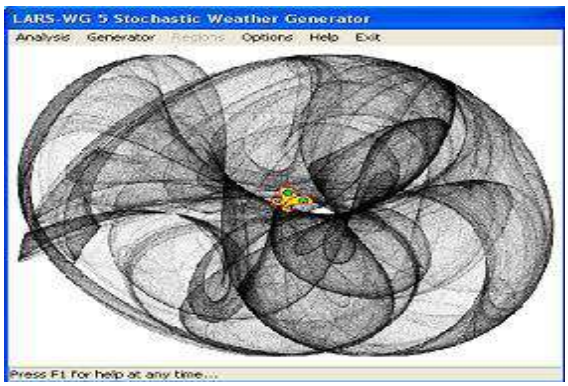
در این بخش برخی از مدل‌های مهم که به‌طور زیادی در مدل‌سازی‌های آب و هوایی از آنها استفاده می‌گردد مورد بررسی قرار می‌گیرند.

---

[1] United Nations Framework Convention on Climate Change
[2] United Nations Conference on Enviroment and Development
[3] Conferences of the parties

- **مدل ریزمقیاس سازی LARS_WG**

LARS-WG یک مولد مصنوعی جوی است که می‌تواند به شبیه‌سازی داده‌های جوی در حد یک ایستگاه بپردازد (Semenov et al.,1998). نسخه‌ی اول این مدل در سال ۱۹۹۰ در بوداپست مجارستان به‌عنوان قسمتی از پروژه‌ی ارزیابی ریسک‌های کشاورزی توسعه داده شد.



شکل ۱-۸: محیط گرافیکی مدل LARS_WG

مراحل تولید داده‌های جوی در این مدل به سه‌گام قابل تفکیک است(Semenov and Barrow,2002):

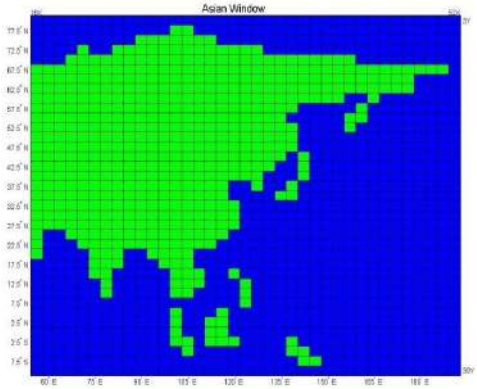
الف-تنظیم مدل: در این بخش داده‌های جوی مشاهداتی جهت تعیین خصوصیات آماری‌شان تجزیه و تحلیل می‌شوند؛ که این اطلاعات در دو فایل پارامتری به نام‌های Sta و Wg ذخیره می‌شوند.

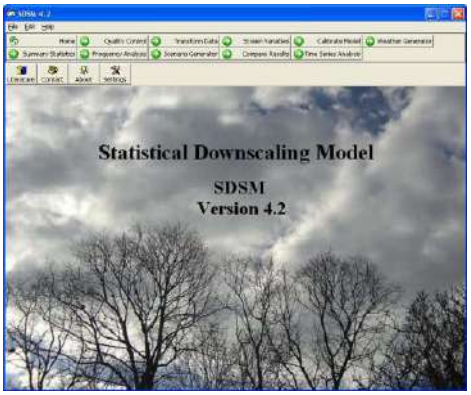
ب-ارزیابی مدل: ویژگی آماری داده‌های تولیدشده و داده‌های مشاهده‌شده برای تعیین تفاوت‌های معنی‌دار بین آنها تجزیه و تحلیل می‌شود و در فایل TST ذخیره می‌شود.

ج-تولید داده‌های جوی مصنوعی: داده‌های مصنوعی با استفاده از فایل‌های که در دوره‌ی تنظیم و ارزیابی مدل به دست آمده است تولید می‌شود.

- **مدل SDSM**

این مدل ریزمقیاس سازی آماری قادر است که سناریوی تغییر آب و هوا در اندازه‌ی یک ایستگاه و در مقیاس زمانی روزانه با استفاده از خروجی‌های GCM فراهم کند. SDSM یک مدل پیوندی بر اساس مولد مصنوعی و با پایه‌ی رگرسیونی است. ساختار کلی مدل به‌صورت شکل ۱-۹ است و پنجره آسیا در وبگاه مخصوص داده‌های سناریوی SRES مدل مشاهده می‌گردد. این مدل دارای هفت بخش اصلی است که در ادامه به توضیح آن پرداخته می‌شود(Wilby and Dawson,2007).





شکل ۱-۹: نمایی از محیط گرافیکی مدل SDSM و پنجره‌ی داده‌های آسیا برای سناریوهای گزارش سوم (SRES)

الف-کنترل کیفی داده‌ها: تعداد اندکی از ایستگاه‌ها دارای آمار صد در صد کامل و صحیحی هستند. این گزینه داده‌ها را از لحاظ کیفیت، کنترل می‌کند.

ب-نمایش متغیرهای مستقل برای ریزمقیاس سازی: ارتباط تجربی بین متغیر مستقل و متغیر وابسته را از طریق آماره‌های همبستگی، همبستگی جزئی و مقدار واریانس توجیه شده بیان می‌کند. این قسمت یکی از مراحل پر چالش در یک ریزمقیاس سازی موفق محسوب می‌شود. قبل از هر اقدامی در این قسمت باید نوع فرآیند مشخص شود، اگر فرآیند ارتباط متغیر وابسته-مستقل توسط یک عامل میانی بسط نمی‌یابد (همانند دما) گزینه‌ی «غیرشرطی»[1] انتخاب می‌شود و اما در غیر این صورت گزینه‌ی «شرطی»[2] انتخاب می‌شود (همانند بارش که مقادیر آن به رخداد روزهای تر بستگی دارد).

ج-تنظیم مدل: این قسمت بعد از انتخاب متغیرهای مستقل با الگوریتم مناسب به محاسبه‌ی پارامتر معادلات رگرسیونی می‌پردازد. آماره‌ی chow test، یک آماره انتخابی است که می‌تواند پردازش مدل را به‌ویژه اگر الگوریتم Dual simplex انتخاب شود به‌طور مشخصی کُند کند. آماره‌ی Durbin-watson، یک آزمون آماری است که در تحلیل رگرسیون، خودهمبستگی را در باقیمانده‌ها مشخص می‌کند. مقدار (۲) نشان‌دهنده‌ی عدم خودهمبستگی و مقدار کمتر از (۱) حاکی از وجود خودهمبستگی می‌باشد.

د-مولد مصنوعی: این قسمت با استفاده از داده‌های بازتحلیل شده اقدام به تولید مجموعه داده‌های جوی روزانه‌ی مشاهداتی می‌کند.

ه-تحلیل داده‌ها (خلاصه آمار): این قسمت می‌تواند خلاصه‌ی خصوصیات آماری مرتبط با داده‌های مشاهداتی و تولیدشده را تولید نماید.

---

[1] Unconditional
[2] conditional

و-تحلیل‌های گرافیکی: با گزینه‌های تعبیه‌شده در مدل می‌توان، مقایسه‌ی نتایج، تحلیل‌های سری زمانی و... را انجام داد.

ز-تولید سناریو: این قسمت قادر است به تولید مجموعه سناریوی جوی روزانه با استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو هم برای دوره حال و هم آینده بپردازد.

- **مدل ریزمقیاس ساز دینامیکی Regcm**

اولین مدل RegCM[1] در دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا در اواخر دهه ۱۹۸۰ معرفی شد (Giorgi,1989). هسته‌ی دینامیکی مدل RegCM4 بسیار مشابه نسخه‌ی هیدروستاتیکی مدل MM5 است (Grell,1993). در حقیقت می‌توان گفت RegCM4 یک مدل آب و هوایی منطقه‌ای هیدروستاتیک است که دارای یک هسته دینامیک بوده که بر اساس نسخه‌ی ۵ مدل هیدروستاتیک مقیاس MM5 طراحی شده است (گرل و همکاران، ۱۹۹۴).

نسخه‌ی RegCM4 یک نسخه‌ی بهبودیافته از مدل RegCM3 یعنی نسخه‌ی قبلی خود (پال[2] و همکاران، ۲۰۰۷) است که در مرکز بین‌المللی فیزیک نظری[3] (ICTP) Abdus Salam توسعه یافته است. این بهبودها با توجه به کد نرم‌افزار و فیزیک جو (به‌عنوان مثال، انتقال تابش، لایه مرزی سیاره‌ای، طرح‌های همرفتی در خشکی و اقیانوس، نوع کاربری اراضی و فرایندهای سطحی، مبادلات اقیانوس-جو) صورت گرفته است. جزئیات توسعه‌ی مدل RegCM از اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ تا امروز و توضیحات کامل از ویژگی‌های اساسی RegCM4 توسط جورجی و همکاران (۲۰۱۲) ارائه شده است.

این مدل شامل ۱۸ سطح سیگمای عمودی در ۵ سطح ۴۰، ۱۱۰، ۳۱۰، ۷۳۰ و ۱۴۰۰ متر از سطح در لایه‌ی تروپوسفر می‌باشد (Giorgi and Bates,1989). از بسته‌ی تابش NCAR[4] (CCM2[5]) (کیل[6] و همکاران، ۱۹۹۶) استفاده می‌کند، طرح لایه مرزی سیاره‌ای توسط هولستاگ[7] و همکاران (۱۹۹۰) طراحی شده است. بر مبنای یک مفهوم انتشار غیر محلی که ارائه گر مقیاس قابل حل و فصل برای بارش است توسط طرح پال و همکاران توسعه داده شده است. علاوه بر این، دو مدل در RegCM4 برای شبیه‌سازی فرایندهای زیست-ژئوفیزیکی سطح زمین وجود دارد: یک طرح انتقال جو-بیوسفر (BATS[8]) ؛ و دیگری مدل CLM[9]2.5 است. طرح پارامتریزه کردن انتقالی جو- بیوسفر برای توصیف

[1] Regional Climate Model
[2] Pal
[3] International Centre for Theoretical Physics
[4] National Center for Atmospheric Research
[5] NCAR community climate model (CCM3)
[6] Kiehl
[7] Holtslag
[8] Biosphere-Atmosphere Transfer
[9] Community land model

نقش رطوبت خاک و پوشش گیاهی استفاده می‌شود که معادلات مومنتوم، انرژی و بخارآب مرتبط با جو- سطح را محاسبه می‌کند و شامل لایه پوشش گیاهی و لایه‌ی سطحی خاک، برف و بیست نوع پوشش گیاهی است. مدل CLM شامل یک لایه پوشش گیاهی، ده لایه خاک، پنج لایه برف و بیست و چهار نوع پوشش گیاهی است. در این طرح برای هر لایه‌ی دمایی، آب مایع و یخی به‌طور مشخصی حل و فصل شده است.

معادلات مومنتوم، ترمودینامیک و هیدروستاتیک از اصلی‌ترین معادلات مطرح در این مدل است.

RegCM4 شامل چهار گزینه برای پارامتریزه کردن ابر کومولوس می‌باشد:[1] GFC - طرح گرل[2] با دیدگاه فریچ و چاپل،[3,4] GAS- طرح گرل با دیدگاه آراکاوا و اسچوبرت[5]، Kuo - طرح آنتس-کو[6]، و طرح MIT-امانوئل[7]. طرح امانوئل از لحاظ فیزیکی واقع‌گرایانه‌تر است و دارای مزایای متعددی در مقایسه با سایر گزینه‌های دیگرRegCM4 است. طرح SUBEX[8] برای ابرهای غیر همرفتی و بارشی در مدل استفاده شده است. در این طرح‌واره تغییر پذیری زیر شبکه‌ای از ابرها با پیوند میانگین رطوبت نسبی سلول به درصد ابرناکی و آب ابر محاسبه می‌شود.

در انتها توصیه می‌شود برای درک عملکرد و اجرای این مدلها به دستورالعمل‌های هر مدل که در داخل پایگاه اینترنتی آنها موجود است مراجعه شود. همچنین خاطر نشان می‌شود قبل از اجرای هر مدل روابط فیزیکی و آماری تعبیه‌شده در مدل مورد توجه قرار گیرد و صرفاً تنها به منظور ریز مقیاس سازی استفاده نگردد چرا که گاهی گزینه‌ها و آماره‌های مختلف در هر مدل می‌تواند تغییرات اساسی در نتایج نهایی ایجاد نماید.

۱-۱۱- مفاهیم و چارچوب کاهش و سازگاری در برابر تغییر آب و هوا

در دهه‌های اخیر، تغییر آب و هوا از مهمترین مباحث در حوزه‌ی آب و هواشناسی بوده است. از آنجایی که گستردگی این تغییر، جهان‌شمول بوده و علی‌رغم تلاش‌های گسترده به‌منظور پیش‌بینی آن، هنوز با چالش‌های گسترده‌ای روبرو است دو موضوع بسیار مهم در پیوند با تغییر آب و هوایی مطرح شده‌اند این دو موضوع یکی موضوع سازگاری و دیگری تعدیل یا کاهش است. در حقیقت سازگاری با تغییر آب و هوایی به اعمالی اشاره دارد که زندگی را در برابر اثرات معکوس ایجادشده

[1] Grell scheme with the closure of Fritsch and Chappell
[2] Grell
[3] Fritsch and Chappell
[4] Grell scheme with the closure Arakawa and Schubert
[5] Arakawa and Schubert
[6] Anthes–Kuo scheme
[7] MIT–Emanuel
[8] Subgrid Explicit Moisture Scheme

توسط تغییر آب و هوایی (نظیرتوفانها و هاریکن‌هایی که باد یا سیلابهای عظیمی ایجاد می‌کنند یا خطر افزایش سطح آب دریاها) محافظت می‌کند اما بالعکس، واژه‌ی کاهش به اعمالی اشاره دارد که از غلظت گازهای گلخانه‌ای کاسته شود که به دو صورت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و یا بـا افـزایش جـذب آنها صورت می‌گیرد(Weber,2011).

در گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا، «کاهش» موضوع کارگروه سوم (WGIII) است که مطالعه کنندگان را برای داشتن اطلاع جامعی از انتخابها و راهبردها برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و یا افزایش جذب گازهای گلخانه‌ای توسط سیستم زمین ارجاع می‌دهد. در اصـطلاح کلـی«کـاهش» از دو طریق برای توسعه‌ی پایدار با اهمیت شناخته می‌شود. اول اینکه، نـرخ و بزرگـی تغییـر آب و هـوایی را کاهش می‌دهد و در حقیقت از تنش‌های مرتبط با آب و هوا شامل وقـایع حـدی آب و هـوایی و جـوی روی توسعه پایدار می‌کاهد؛ اما مشاهدات اخیـر از نـرخ افزایشـی انتشـار گـاز دی‌اکسـید کـربن نشـان می‌دهند که تثبیت غلظت به چالشی روبه رشد تبدیل شده است و دوم اینکه مسیرهای تغییر فناوری و نهادی برای کاهش انتشار خالص گازهای گلخانه‌ای، با مسیرهای توسعه ارتباط برقرار می‌کنند.

یکی از مهمترین راهبردهایی که در این بخش انجام می‌شود افزایش جذب کـربن و کـاهش انتشـار کربن از خاک از طریق شیوه‌های بهتر مدیریت کشاورزی است کـه مـی‌توانـد انتشـار خـالص گازهـا را کاهش دهد و همچنین می‌تواند ظرفیت نگهـداری آب در خـاک را بهبـود ببخشـد. شـیوه‌هـایی نظیـر محافظت کشت در شرایط خشکسالی می‌تواند نگهداری آب در خـاک را بهبـود بخشـد و همچنـین بـه کاهش انتشار کربن از خاک نیز کمک نماید. البته این مورد بصورت یک چالش باقی مانده است.

همچنین در راه سومی نیز «کاهش» و «توسعه» در گروه‌ها و کشورهای مختلف با هم تعامل دارنـد در حقیقت توانایی‌ها برای اجرای کاهش به ظرفیـت کـاهش آنهـا بسـتگی دارد. توانـایی بـرای کـاهش گازهای گلخانه‌ای انسان منشأ بسیار مهم است و مهارت‌ها و شایستگی‌هـای یـک کشـور مـی‌توانـد بـه کاهش گازهای گلخانه‌ای کمک کند. بسیاری از عوامل تعیین‌کننده‌ی ظرفیـت کـاهش توسـط سـطوح مختلف توسعه‌ی کشورها همچون سطح حال حاضر از انتشار، نقـش خـود انسـان، مـالی، سـرمایه‌هـای فناوری نظیر توانایی پرداخت‌ها برای کاهش، عظمت و هزینه‌های فرصـت‌هـای کـاهش، اثـر نظـارتی و وظایف بازار، آموزش و پرورش و مهارت‌های پایه، مجموعـه‌ی قابـل دسـترس از فنّـاوری‌هـای کـاهش، توانایی جذب فنّاوری‌های جدید و سطح توسعه‌ی زیرساخت شکل می‌گیرد.

از هنگامی‌که اثرات تغییر آب و هوا در جهان ظاهر شده است روز به روز موضوع سازگاری نیز مورد توجه بیشتری قرار مـی‌گیـرد. در ابتـدای امـر تـلاش‌هـای مرکـب زیـادی از سـازمآنهای بـین‌المللـی، گزارش‌های علمی و ... به‌منظور آگاه‌سازی اهمیت سازگاری با تغییر آب و هوا از انتشار گـزارش چهـارم

هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا صورت گرفت. امروزه موضوع سازگاری از مرحله‌ی آگاهی‌رسانی و ارتقا در حال انتقال به انجام و اجرای طرح‌ها، راهبردها، قوانین و پروژه‌ها در سطح ملی و محلی است.

سازگاری آب و هوایی و توسعه‌ی پایدار در پیوند با چندین قانون است: الف: بسیاری از تعیین‌کننده‌های ظرفیت سازگاری برای پاسخ به اثرات آب و هوا و شاخص‌های توسعه‌ی پایدار همپوشانی داشته باشند، ب: ظرفیت‌سازی سازگاری به‌صورت انتقادی در هردو سیستم اجتماعی و زیست‌محیطی مشارکت داشته باشد و ج: ظرفیت‌سازی سازگاری ممکن است در چارچوب توسعه‌ی پایدار به تغییرات متحولانه‌ای نیاز داشته باشد.

در سرتاسر جهان، توانایی جوامع و افراد برای پاسخ به تغییر آب و هوا بر اساس ظرفیت‌هایی نظیر سرمایه‌ی انسانی، فناوری اطلاعات، منابع و مواد، زیرساخت‌ها، سرمایه‌های اجتماعی و سازمانی، سرمایه‌های سیاسی، ثروت و سرمایه‌های مالی پیش‌بینی‌شده، نهادها و حقوق است که به‌طور معمول با شاخص‌های توسعه همپوشانی دارد. با این حال توجه به این نکته ضروری است که هم در مناطق درحال توسعه و هم کمتر توسعه‌یافته، ساخت این ظرفیت‌ها دارای پیامدهایی برای توسعه‌ی پایدار است زیرا ممکن است مصرف مواد را افزایش دهد و ایجاد کننده‌ی اثرات بالقوه‌ی منفی بر روی اکوسیستم باشد (نظیر ساخت و سازهای جدید و افزایش مصرف).

از نقطه نظر حکومتی، سازگاری با آب و هوا و توسعه‌ی پایدار، برخی از ویژگی‌ها همانند مسائل مربوط به مقیاس‌های مکانی و زمانی، عدم قطعیت‌ها و حوزه‌های قضایی را مطرح می‌کند و طراحی و اجرای موفق به انواع مختلف ظرفیت‌ها، ازجمله ساختارهای سیاسی و اداری نیاز دارد.

راهبردهای سازگاری باید توسط چهار اصل زیر پیگیری شود (Lagos et al.,2009):

الف-مقیاس: انطباق واکنش‌ها با تعداد رو به رشد جمعیت در معرض خطر

ب-سرعت: زمان را نباید هدر داد به دلیل اینکه تغییر آب و هوا سریع‌تر از پیش‌بینی‌ها در حال رخداد است.

ج-تمرکز: مدیریت ریسک، ایجاد انعطاف‌پذیری در شهروندان فقیر جهان، افزایش عملکرد اکوسیستم‌ها

د-ترکیب: شناسایی ارتباط محیط و توسعه، تغییر آب و هوا و اداره‌ی سینرژی و ایجاد ارتباط بین سازگاری و کاهش

معرفی روش‌های جدید سازگاری هم در کشورهای توسعه‌یافته و هم درحال‌توسعه رو به شتاب است. طرح‌های سازگاری گوناگون در سطح ملی منعکس کننده‌ی ویژگی‌های ساختار سیاسی داخلی، شرایط اجتماعی و اقتصادی، ارزش‌ها و ادراکات و همچنین تنش توسعه و فرصت‌های آن است. جدول ۱-۴ کاربرد دانش محلی در سازگاری در برخی از کشورها را نمایش می‌دهد.

جدول ۱-۴: کاربرد دانش محلی در سازگاری با تغییر آب و هوا در برخی کشورها(Mimura et al., 2014)

مکان	بخش	رویکرد و راهبرد	عملیات سازگاری انجام‌گرفته	مؤسسات	منبع
کیمبرلی جنوبی، استرالیا	ذخایر آب	• تعریف آسیب‌پذیری‌ها • افزایش ظرفیت تطبیق‌پذیری	• گردآوری تغییرات مشاهده‌شده • افزایش عملیات پایش • مدیریت منابع آب مرور TEK[1]	دانشگاه‌ها، سازمآنهای غیردولتی(NGO[2]) دانشگاه ایالات‌متحده	گرین و همکاران، ۲۰۱۰. پروبر و همکاران، ۲۰۱۱. لئونارد و همکاران، ۲۰۱۳
ترینیداد، بولیوی و مرکز شمالی بولیوی	اکوسیستم‌ها، کشاورزی	• کاهش آسیب‌پذیری	• احیای Camellones" (پلاتفرم خاکی) TEK • کاهش فرسایش ثبت مشاهدات محلی	سازمان بین‌المللی اوکسفام[3]، سازمآنهای غیردولتی، دولت بولیوی، سازمان خواروبار جهانی	سازمان بین‌المللی اوکسفام،۲۰۰۹
ایالت پینولویل پومو (کالیفرنیا، ایالات‌متحده آمریکا)	زیرساخت	• کاهش دادن: نیروی خورشیدی • افزایش ظرفیت تطبیق‌پذیری	• زیرساخت با طراحی مشترک • رسیدگی به سرمایه ناکافی • رسیدگی به کمبود آب و نیاز انرژی	دانشگاه‌ها؛ سازمانهای غیردولتی؛ توسعه شهری و مسکن	شلبی و همکاران،۲۰۱۲. ردستر و همکاران ۲۰۱۳
فیجی	اکوسیستم‌ها و ذخایر آب	• تعریف آسیب‌پذیری‌ها • افزایش ظرفیت تطبیق‌پذیری	• شناخت TEK قابلیت تصمیم سازی تطبیق‌پذیری • بهبود آگاهی جامعه • مشارکت در توسعه	آژانس استرالیایی توسعه بین‌المللی؛ دپارتمان محیطی فیجی؛ دانشگاه آرام جنوبی	دومارو، ۲۰۱۰

[1] Traditional ecological knowledge
[2] Nongovernmental organization
[3] Oxfam

مکان	بخش	رویکرد و راهبرد	عملیات سازگاری انجام‌گرفته	مؤسسات	منبع
کنیا، تانزانیا، مالاوی، زیمبابوه، زامبیای جنوبی	کشاورزی	•تعریف آسیب‌پذیری‌ها • افزایش ظرفیت تکنیکی • افزایش ظرفیت تطبیق‌پذیری	• استفاده از هشدار زودهنگام خشکسالی • به‌کارگیری TEK توسعه‌ی گزارش دهی نوین • گردآوری تغییرات مشاهده‌شده •جمع‌آوری آب باران • تغییر عملیات زراعت • استفاده از ارقام و گونه‌های مناسب	دانشگاه کیپ تاون؛ دانشگاه نایروبی؛ دپارتمان توسعه بین‌المللی بریتانیا؛ مرکز تحقیقات بین‌المللی کانادا	چانگا و همکاران، ۲۰۱۰. مگاب و همکاران، ۲۰۱۰. کالاندا- جوشا و همکاران، ۲۰۱۱. ماژول و همکاران، ۲۰۱۳. مسیندل و همکاران، ۲۰۱۳.
زمین‌های اختصاصی بومیان آمریکا (غرب ایالات‌متحده آمریکا)	سلامت، ذخایر آبی، محیط	• تعریف آسیب‌پذیری‌ها و اثرات • افزایش ظرفیت تطبیق‌پذیری	• گردآوری تغییرات مشاهده‌شده • استفاده از قانون‌گذاری محیطی • مرور دانش بومی • تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی محلی • تجزیه و تحلیل مفاهیم تاریخی/حقوقی	دانشگاه‌ها و سازمآنهای غیردولتی مرتبط؛ دفاتر قبیله‌ای؛ تحقیقات آژانس فدرال	ردستر و همکاران، ۲۰۱۰. دویله و همکاران، ۲۰۱۳. گاتوم و همکاران، ۲۰۱۳.

سازگاری با اثرات تغییر آب و هوا به تامین مقدار قابل‌توجهی از بودجه برای اقدامات سازگاری در طیف وسیعی از بخش‌ها نیاز دارد. تعدادی از مطالعات نشان می‌دهد که مقدار سالانه‌ی بودجه‌ی سازگاری مورد نیاز توسط کشورهای در حال توسعه تا سال ۲۰۳۰ چند ده میلیارد دلار است

(UNFCCC, 2007). در حال حاضر در هر دو عرصه‌ی عمومی و خصوصی، تأمین مالی برای سازگاری کمتر از تأمین مالی برای کاهش است. طبق یک ارزیابی از میزان کل امور مالی آب و هوا در طی سالهای ۲۰۱۰/۲۰۰۹ توسط بوخنر[1] و همکاران (۲۰۱۱)، تأمین مالی برای «کاهش» از تأمین مالی برای سازگاری با نسبت بیش از ۲۰:۱ پیشی گرفته است، در حالی که ۹۳ میلیارد دلار برای اقدامات کاهش و تنها ۴/۴ میلیارد دلار برای مدیریت سازگاری استفاده شده است.

در مسیر سازگاری با تغییر آب و هوا، موانع کلی وجود دارد که در مقیاس‌های بخشی، فضایی و زمانی قابل تقسیم می‌باشند و بدین معنی است که بر اساس موقعیت کشورها، این موانع گاهی هم می‌توانند برای برنامه‌ریزی سازگاری قدرت تلقی شوند و یا گاهی برای آن محدودیت‌هایی ایجاد کنند. برای مثال، مشکلات اولیه توانسته است دستور کار تنظیم، برنامه‌ریزی و راهبرد گیری، اجرا، نظارت و ارزیابی را که به‌طور فزاینده‌ای مطالعات مختلف آنها را روشن ساخته است را ارائه دهد.

پنج مشکل اصلی در این رابطه موجود است که عبارت‌اند از:

الف- اهمیت هماهنگی نهادی چند سطحی بین سطوح مختلف سیاسی و اداری در جامعه که به‌طور فزاینده در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته به‌عنوان چالش ذکر شده است.

ب- مطالعات نشان داده‌اند که نقش آفرینان کلیدی، هواداران و قهرمانان قاطع برای شروع، جریان سازی و حفظ حرکت در برنامه‌ریزی سازگاری آب و هوا و پیاده‌سازی آن در ابزارهای مختلف ملی تعیین‌کننده هستند. در غیاب سیاست‌های قدرتمند، این بازیگران می‌توانند بسیار بااهمیت باشند گرچه، این بازیگران اصلی‌ترین راهنماها برای سازگاری محسوب می‌شوند اما آسیب‌پذیری‌هایی همانند وابستگی به تعهدات شخصی نیز وجود دارد.

ج- فعل و انفعال افقی بین نقش آفرینان و سیاست‌های عامل در سطوح اجرایی مشابه، به‌عنوان عاملی کلیدی در سازگاری آب و هوا مورد توجه است. مطالعات متعددی نشان داده است که دولت‌های محلی و اداره‌کنندگان حرفه‌ای با هنجارها، ارزش‌ها و اولویت‌های داخلی خود و با استحکام نهادی از بخش‌های اداری و سیاسی، طبقه‌بندی نامناسبی را ایجاد می‌کنند که باعث می‌شود سازگاری آب و هوایی به‌عنوان وظیفه‌ای جدا از یک بخش منحصر به فرد، مانع جریان و هماهنگی افقی در سراسر بخش‌ها و ادارات شود.

د- در بسیاری از مطالعات، نیاز به دانش در همه‌ی ابعاد سیاسی در برنامه‌ریزی و اجرا تأکید شده است.

ه- در مطالعات به هماهنگی بهبودیافته بین دولت‌های رسمی و آژانس‌های دولتی و سهامداران خصوصی تأکید شده است. مشارکت بخش خصوصی که اغلب به عنوان راهی برای افزایش بهره‌وری در سازگاری آب و هوا دیده می‌شود، بسیار با اهمیت تلقی می‌شود (Mimura et al.,2014).

[1] Buchner

۱-۱۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران

پس از موارد گفته شده در مورد اجرای روشهای کاهش و سازگاری ضروری می‌رسد با استفاده از جدولی سهم ایران در انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های مختلف بیان شود. جدول ۱-۵ انتشار گازهای گلخانه‌ای از ایران در بخشهای مختلف را در سالهای ۱۹۹۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به Gg[1] به طور خلاصه نشان داده است. همانطور که جدول نشان می‌دهد بخش انرژی بالاترین تولید کننده‌ی دی اکسید کربن است به‌طوریکه در سال ۱۹۹۴ رقمی با مقدار ۲۸۵/۸۹۱ کیلوتن و در سال ۲۰۱۰ با یک روند صعودی رو به رشد مقدار قابل ملاحظه‌ی ۵۸۴/۵۶۱ کیلوتن را به خود اختصاص داده است که از این مقدار بخش قابل توجهی از آن به میزان ۹۳ درصد مربوط به احتراق سوختهای فسیلی است. صنعت، کشاورزی، جنگل داری در رتبه‌های بعدی تولید دی اکسید کربن قرار دارند. بالاترین انتشار متان نیز مربوط به بخش انرژی و سپس کشاورزی است؛ اما بالاترین انتشار نیتروژن اکساید مربوط به بخش کشاورزی ثبت شده است. با بررسی تغییرات این سه دوره مشخص می‌گردد انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران دارای یک روند رو به رشد مشخص است.

جدول ۱-۵: انتشار گازهای گلخانه‌ای ایران در بخشهای مختلف طی سالهای ۱۹۹۴ ، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ (احدی،۱۳۹۳)

منشا	CO2	CH4	N2O	مجموع
۱۹۹۴				
۱.انرژی	۲۸۵۸۹۱	۱۵۵۹	۸/۷۹	۳۲۱۳۵۷
سوخت فسیلی	۲۵۴۳۵۴	۸۰/۶	۸/۸	۲۵۸۷۷۲
انتشار فرار	۳۱۵۳۷	۱۴۷۸	۰	۶۲۵۸۴
۲.صنعت	۲۴۷۵۴	۱/۹	۲/۲	۲۵۴۷۵
۳.کشاورزی	۰	۶۴۳	۵۴/۲	۳۰۳۰۴
۴.جنگل	۳۱۴۱۷	۷	۰/۰۴	۳۱۵۷۶
۵.اتلاف	۰	۳۲۶/۷	۴/۶	۸۲۹۹
مجموع انتشار گازهای گلخانه ای	۳۴۲۰۶۲	۲۵۳۸	۶۹/۹	۴۱۷۰۱۰
GWP[2]	۱	۲۱	۳۱۰	
مجموع معادل co2	۳۴۲۰۶۲	۵۳۲۹۱	۲۱۶۵۸	۴۱۷۰۱۰
۲۰۰۰				
۱.انرژی	۳۳۷۳۵۲	۱۸۰۲	۸/۴۷	۳۷۷۸۰۹
سوخت فسیلی	۳۰۴۰۲۷	۷۹	۸	۳۰۸۳۰۱
انتشار فرار	۳۳۳۲۵	۱۷۲۳	۰	۶۹۵۰۸
۲.صنعت	۲۸۵۵۶	۳	۲/۴	۲۹۳۵۷

[1] 10^9 g = 1 Gg = 1 kt
[2] Global warming potential

منشا	CO2	CH4	N2O	مجموع
۳.کشاورزی	۰	۹۰۸	۷۷/۲	۴۲۹۹۳
۴.جنگل	۹۲۷۸	۰/۳	۰	۹۲۸۵
۵.اتلاف	۰	۸۹۲/۶	۴۱/۵	۳۱۶۰۹
مجموع انتشار گازهای گلخانه ای	۳۷۵۱۸۶	۳۶۰۵/۸	۱۲۹/۵	۴۹۱۰۵۳
GWP	۱	۲۱	۳۱۰	
مجموع معادل co2	۳۷۵۱۸۶	۷۵۷۲۲	۴۰۱۴۶	۴۹۱۰۵۳
۲۰۱۰				
۱.انرژی	۵۸۴۵۶۱	۵۴۳۸	۴/۵	۷۰۰۱۵۷
سوخت فسیلی	۵۴۳۶۷۹/۳	۷۱/۸	۴/۵	۵۴۶۵۸۹
انتشار فرار	۴۰۸۸۲	۵۳۶۶	۰	۱۵۳۵۶۸
۲.صنعت	۶۷۸۴۰/۸	۲۹/۸	۴/۵	۶۹۸۴۶
۳.کشاورزی	۵۹۸/۸	۹۶۶/۱	۵۷/۷	۴۴۳۶۶
۴.جنگل	۹۱۸۱	۰/۳	۰	۹۱۸۸
۵.اتلاف	۲۹	۱۳۰۸/۲	۱/۳	۲۷۹۰۵
مجموع انتشار گازهای گلخانه ای	۶۶۲۲۱۱	۷۷۴۲/۱	۸۶	۸۵۱۴۶۲
GWP	۱	۲۱	۳۱۰	
مجموع معادل co2	۶۶۲۲۱۱	۱۶۲۵۸۵	۲۶۶۶۶	۸۵۱۴۶۲

در انتها در نتیجه‌ی این جدول می‌توان نتیجه گرفت ایران نیز همگام با بسیاری از کشورهای در حال توسعه سهم عظیمی در تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد و سهم نسبی آن بالاست. راهکارهای سازگاری و کاهش جز لاینفک برای برنامه‌ریزی‌های آینده خواهد بود همانطور که اشاره شد به نظر می‌آید همانند بسیاری از کشورها که مراحل کاهش و سازگاری خود را از ادعا به عمل در آورده‌اند، ایران نیز باید این رویه را پیش گیرد تا وظیفه خود را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به جا آورد تا در آینده نزدیک شاهد اتفاقات ناگواری همانند سیلهای سال ۹۸ و خشکسالیهای گریبانگیر دهه‌های ۷۰ یا ۸۰ و یا حتی سال ۲۰۱۰ نباشیم. اگر چه این کار نیازمند موارد متعددی است که در این فصل به اختصار به آنها اشاره شد علاوه بر آن استفاده از رودیکردهای مناسب و با تجربه دنیا و با در نظر گرفتن ویژگی‌های محیطی و جغرافیایی کشور راهگشای مناسبی برای این امور خواهد بود که در فصل‌های آتی به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرند.

منابع فصل اول

احدی، م، ۱۳۹۳. انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران و جهان و تحلیل روند آتی آن، کارگاه آموزشی توانمند سازی ادرات کل در محاسبه موجودی انتشارگازهای گلخانه ای،کرج، دانشگاه محیط زیست، ۳و ۴ تیر ۱۳۹۳.

عساکره، ح، ۱۳۸۶. تغییراقلیم، انتشارات دانشگاه زنجان.

Bader, D.C., et al.,2008: Climate Models :An Assessment of Strengths and Limitations, Synthesis and Assessment Product 2.1 Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research.

Buchner, B., A. Falconer, M. Herve-Mignucci, C. Trabacchi, and M. Brinkman., 2011: The Landscape of Climate Finance. Report by Climate Policy Initiative (CPI), Venice, Italy, 101 pp.

Carter, T. R., La Rovere, E. L., Jones, R. N., Leemas, R., Mearns, L. O., Nakicenovic, N., Pittock, A. B., Semenov, S. M., and Skea, J., 2001: Developing and applying scenarios, in Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, edited by Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 145–190, Cambridge Univ. Press, New York.

Cicerone, R., Nurse, P., 2014: Climate Change Evidence & Causes, An overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences.

Giorgi, F., 1989: Two-dimensional simulations of possible mesoscale effects of nuclear war fires. J. Geophys. Res. 1989;94:1127–1144. DOI: 10.1029/JD094iD01p01145.

Giorgi, F., and Bates, G. T., 1989: The climatological skill of a regional model over complex terrain, Mon. Wea. Rev.1989: 117:2325–2347. DOI:http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<2325:TCSOAR>2.0.CO;2.

Giorgi, F., Coppla, E., Solmon, F., et al., 2012: RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. Clim. Res. 52, 7–29.

Grell, G.A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. Mon. Weather Rev. 121, 764–787.

Grell, G. A., Dudhia, J. and Stauffer, D. R., 1994: Description of the fifth generation penn state/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR technical note NCAR/TN 398+STR.1994;121 .doi:10.5065/D60Z716B.

Holtslag, A.A.M., Bruijn, E.I.F.de, Pan, H.L.,1990: A high resolution air mass transformation model forecasting, short-range weather forecasting. Mon. Wea. Rev. 1990;118: 1561-1575. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1990)118<1561:AHRAMT>2.0.CO;2.

IPCC, 1998: The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. A Special Report of IPCC Working Group II. [Watson, R.T., M.C. Zinyowera, and R.H. Moss (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, 518 pp.

IPCC, 2000**:** Special report emissions scenarios, Summary for Policymakers, A Special Report of IPCC Working Group III.

IPCC, 2001a: Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. J.T. Houghton et al. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., and New York

IPCC, 2001b: climate change 2001, synthesis report, by R. Watson and Core Writing Team (eds.), Cambridge university press.

IPCC, 2007a: The Physical Science Basis, Working Group I – Technical Summary. Summary for policymakers, working group I of the intergovernmental panel on climate change.

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

IPCC-TGICA, 2007: General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66 pp.

Kiehl, J.T., Hack, J.J., Bonan, G.B., Boville, B.A., Briegleb, B.P., Williamson, D.L., Rasch, P.J., 1996. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM2). Center for Atmospheric Research, National.

Lagos,R., Wirth,T.E., El-Ashry,M., 2009: Facilitating an International Agreement on Climate Change: Adaptation to Climate Change, A Proposal of the Global Leadership for Climate Action

Mimura, N., Pulwarty, R.S.,. Duc, D.M, Elshinnawy, I., Redsteer, M.H., Huang, H.Q., Nkem, J.N., and Sanchez Rodriguez, R.A., 2014: Adaptation planning and implementation. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y .O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P .R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY , USA, pp. 869-898.

Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Gao, X., Francisco, R., Zakey, A., Winter, J., Ashfaq, M., Syed, F. S.,Sloan, L. C., Bell, J. L., Diffenbaugh, N. S., Karmacharya, J., Konaré, A., Martinez, D., da Rocha, R. P., and Steiner, A. L., 2007: Regional climate modeling for the developing world: the ICTP Regcm3 and RegCNET, Bull, Amr,meteorol, Soc,88(9):1395-1409.

Semenov, A. M., Brooks, R. J., Barrow, E. M., and Richardson, C. W., 1998: Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates, Clim. Res., 10, 95–107.

Semenov, M.A, and Barrow, E.M., 2002: A LARS-WG Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies Developed by Mikhail A. Semenov. Version 2.0User Manual.

UNFCCC, 2007: Investment and Financial Flows to Address Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Secretariat, Bonn, Germany, 272 pp. unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/background_paper.pdf

Viner, D. and M. Hulme., 1997: The Climate Impacts LINK Project: Applying Results from the Hadley Centre's Climate Change Experiments for Climate Change Impacts Assessment. Climatic ResearchUnit, Norwich, UK, 17 pp.

Weber,E.U., 2011: Adaptation and Mitigation Reponses to Climate Change: Complements or Substitutes. CRED Newsletter.

White, P et al., 2009: A Review of Climate Change Model Predictions and Scenario Selection, prepared by Akvaplan-niva together with Philippine atmospheric ,Geophysical and Astronomical Service Administration (PAGASA).

Wilby,R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., Mearns, L.O., 2004: guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods.

Wilby, R.L., and Dawson, C.W., 2007: SDSM 4.2 — A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, User Manual.

URL 1-1: http://planet.botany.uwc.ac.za/nisl/Climate_change/page_54.htm

URL 1-2: https://sites.google.com/view/lars-wg

URL 1-3: http://unfccc.int/documentation/decisions/items/2964.php

فصل دوم

تغییر آب و هوا و منابع آب

۲-۱-مقدمه

محیط زمینی همچنان و همیشه تحت تغییرات چرخه‌ی طبیعی آب و هوا در حال تغییر است. درک این تغییرات رخ داده در آبکره و یخکره بر اساس مشاهدات محدود گذشته و سازگار شدن با تغییرات آینده بر اساس پیش‌بینی‌های نامشخص آب و هوایی به دست آمده از مدل‌های آب و هوایی مختلف، دو چالش اصلی برای مدیریت آب هستند. با توجه به تغییر آب و هوایی، تغییرات در چرخه هیدرولوژیکی می‌تواند به اثرات و خطرهای گوناگون منجر شود و این اثرات توسط واداشت‌های غیر آب و هوایی تغییرات، عکسل‌العمل با آنها و واکنش‌های مدیریت آب مشخص می‌شوند. آب نماینده‌ای است که بسیاری از اثرات تغییر آب و هوا را به جامعه در بخش‌هایی نظیر کشاورزی، حمل و نقل، انرژی و ... منتقل می‌کند. آب، اگرچه از طریق چرخه‌ی هیدرولوژیکی حرکت می‌نماید، به‌طور محلی یکی از منابع در حال تغییر است و آسیب‌پذیری به آب با بلایایی نظیر سیل و خشکسالی مرتبط است که از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت است. تغییر آب و هوایی انسان منشأ یکی از عوامل تنش‌زا برای منابع آب بوده است و محرک‌های غیر آب و هوایی نظیر افزایش جمعیت، توسعه‌ی اقتصادی، شهر نشینی، کاربری اراضی یا تغییرات ژئومورفولوژیکی طبیعی، عواملی چالش‌برانگیز برای پایداری منابع آب با کاهش عرضه و یا افزایش تقاضا هستند.

بیشتر مطالعات اخیر در زمینه‌ی ارزیابی اثرات تغییر آب و هوا بر روی ویژگی‌های هیدرولوژیکی از تعداد کمی سناریو استفاده نموده‌اند. تعداد بسیاری نیز از مجموعه‌های وسیعی از مدل‌های جهانی و ناحیه‌ای استفاده کرده‌اند. تعداد زیادی از مطالعات، مدل‌های هیدرولوژیکی را با استفاده از داده‌های ورودی بر اساس خروجی که توسط مدل‌های جهانی یا ناحیه‌ای آب و هوا تولید شده و یا ریزگردانی شده، و اریبی[1] آنها تصحیح شده، اجرا نموده‌اند. هنگامیکه از دامنه‌ی وسیعی از سناریوها جهت شبیه‌سازی استفاده می‌شود، از اثر عدم قطعیت‌های مدل‌های هیدرولوژیکی کاسته می‌شود؛ اما از طرفی اثر ساختار مدل‌های هیدرولوژیکی در تغییرات پیش‌بینی‌ها یکی از مهمترین چالش‌هاست و یکی از آنها تفاوت در ارائه‌ی فرآیندهای بخارآب و ذوب برف است.

در این فصل اهم موضوعات اثرگذاری تغییر آب و هوا بر منابع آب مورد بررسی قرار گرفته و راه‌های سازگاری ارائه شده است.

۲-۲- رخدادهای اصلی هیدرولوژیک تحت تاثیر تغییر آب و هوا

تغییرات هیدرولوژیکی مستند لزوماً به دلیل تغییر آب و هوایی انسان منشأ نیست. برای نتیجه‌گیری درست که آیا این تغییرات، طبیعی یا انسان منشأ هستند باید مطالعات ویژه‌ای صورت گیرد تا سهم هریک از این عوامل مشخص شود. فعالیت‌های انسانی نظیر تغییر کاربری اراضی، برداشت آب، آلودگی و...باعث عدم شناسایی دقیق این دو از یکدیگر می‌شود. با وجود این، بسیاری از اثرات هیدرولوژیکی را می‌توان با اطمینان بالایی به واداشت‌های آب و هوایی نسبت داد (جدول ۲-۱). نمودار بالای جدول ۲-۱ سطح اطمینان هر نمونه از ۱۶ نمونه را در تشخیص و استناد به تغییر آب و هوا را نشان می‌دهد.

حوادث حدی همانند سیل‌ها، حدس و گمان در مورد اینکه آیا آنها واقعاً به علت تغییر آب و هوایی ایجاد شده باشند را بالا می‌برد. به راستی، تغییر آب و هوایی، احتمال حوادث خاصی را بالا می‌برد. از سویی برای تخمین این تغییرات، کمی سازی عدم قطعیت‌ها به دلیل تغییرپذیری طبیعی در آب و هوای تغییریافته یا بدون تغییر، لازم است.

۲-۳- تغییرات مشاهداتی و آینده‌ی مرتبط با آب و هوا در منابع آب

- **اثر تغییر آب و هوا بر بارش‌های جهانی، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و پرمافراست**

روندهای جهانی بارش از منابع داده‌ای مختلف، در طول دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۰۱ به طور آماری معنی دار نیست (Bates et al., 2008). با توجه به مشاهدات منطقه‌ای، بیشتر خشکسالی‌ها و حوادث حدی بارش از دهه‌ی ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ نسبت به دهه‌ی ۱۹۵۰ حدی‌تر شده است (Arndt et al., 2010) و

[1] bias

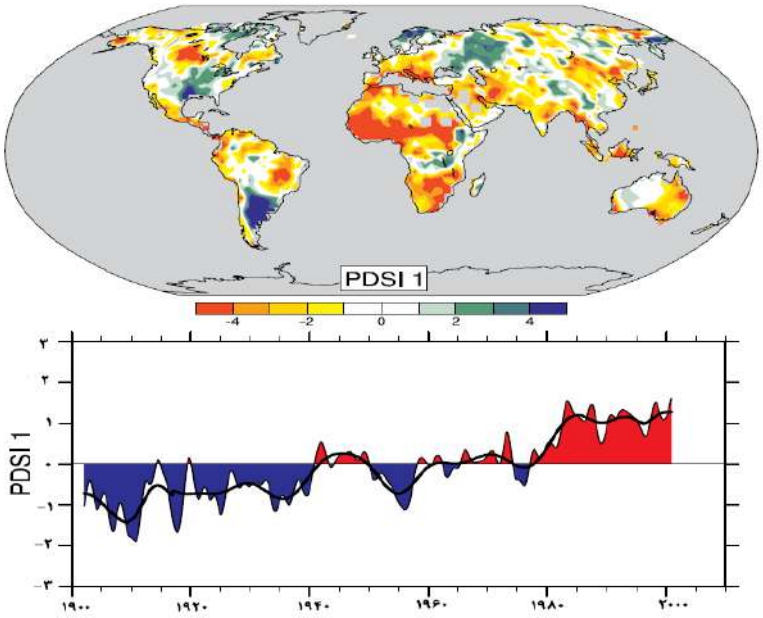
روندهای خاصی در مقدار بارش حدی و تجمعی مشاهده شده است. بیشتر تغییرات منطقه‌ای بارش یا به تغییرات درونی گردش جوی و یا به گرمایش کره‌ی زمین نسبت داده شده است. تخمین زده شده است که به‌طور قابل توجهی، واداشت‌های انسان منشأ از قرن بیستم در تغییرات مشاهده‌شده در بارش ناحیه‌ای و جهانی نقش داشته است (Zhang et al., 2007).

جدول۲-۱: مثال‌های منتخبی از مشاهدات، تشخیص و استناد به اثرات تغییر آب و هوا بر منابع آب. تغییرات هیدرولوژیکی مشاهده‌شده به واداشت‌های آب و هوایی خود نسبت داده شده‌اند و همه‌ی آنها لزوماً انسان منشأ نیستند(منبع:Jiménez et al.,2014).

	تغییرات مشاهداتی	انتساب به (مرتبط با)	منبع
۱	تغییر رواناب (جهانی، ۱۹۹۴-۱۹۶۰)	به‌طور اساسی با تغییر آب و هوایی، افزایش اندکی در دی‌اکسید کربن و تغییرات کاربری اراضی مرتبط است.	گرتن و همکاران(۲۰۰۸) و...
۲	کاهش رواناب (رودخانه‌ی زرد چین)	به افزایش دما مرتبط است و تنها ۲۵ درصد این کاهش به برداشت انسان نسبت داده شده است.	پیائو و همکاران(۲۰۱۰)
۳	زودهنگامی در دبی اوج سالانه (قطب روسیه، ۲۰۰۱-۱۹۶۰)	افزایش دما و زودرسی بهار	شیکلومانو و همکاران(۲۰۰۷)
۴	زودهنگامی در دبی اوج سالانه (رودخانه کلمبیا، غرب ایالات‌متحده، ۱۹۹۹-۱۹۵۰)	گرمایش انسان منشأ	هدالگو و همکاران(۲۰۰۹)

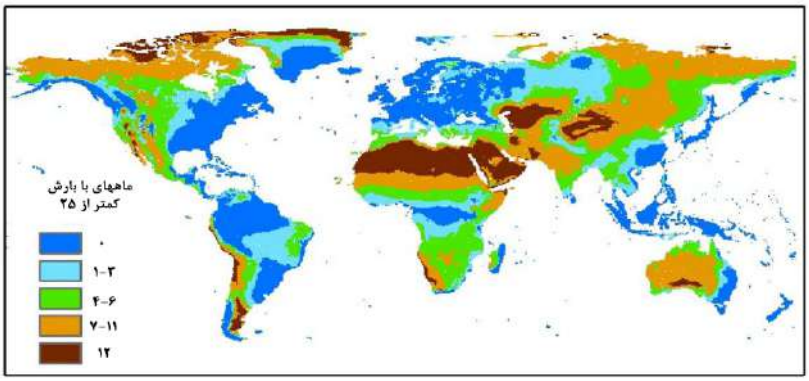
	تغییرات مشاهداتی	انتساب به (مرتبط با)	منبع
۵	میزان آب ناشی از ذوب یخ‌ها در دوره ۱۹۴۰-۱۹۱۰ نسبت به دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۰ افزایش یافته است(آلپ‌های اروپایی)	کاهش یخ‌ها در اثر افزایش نرخ گرمایشی اتفاق افتاده است.	کولینز(۲۰۰۸)
۶	کاهش دبی فصل خشک (پرو ۱۹۹۰-۱۹۵۰)	کاهش وسعت یخ‌ها در شرایط عدم تغییر مشخصی از بارشها	بارر و همکاران(۲۰۱۲)
۷	ناپدید شدن یخچال Chacaltaya، بولیوی (۲۰۰۹)	افزایش منحنی هم‌دمای انجماد به ۵۰ متر در هر دهه (۲۰۰۰-۱۹۸۰)	رزنویگ و همکاران(۲۰۰۷)
۸	افزایش وقایع حدی بارشی (عرض‌های میانی و مناطق حاره نیمکره شمالی، ۱۹۹۹-۱۹۵۱)	انتشار گازهای گلخانه‌ای انسان منشأ	مین و همکاران(۲۰۱۱)
۹	درصد خطرات سیل (انگلستان و ویلز، پاییز سال ۲۰۰۰)	وقایع حدی بارش به گازهای گلخانه‌ای انسان منشأ نسبت داده شده است.	پال و همکاران(۲۰۱۱)
۱۰	کاهش دبی سفره‌های کارستی (اسپانیا، قرن ۲۰)	کاهش بارش، افزایش دما و فاکتورهای مخالف دیگر	اگولرا و موریلو (۲۰۰۹)
۱۱	کاهش دبی آبهای زیرزمینی (کشمیر ۲۰۰۵-۱۹۸۵)	کاهش بارش زمستان	جلانی(۲۰۰۸)
۱۲	افزایش کربن ارگانیک محلول در دریاچه‌ها (بریتانیا،۲۰۰۳-۱۹۸۸)	افزایش دما و بارش و فاکتورهای مخالف دیگر	اوانز و همکارارن(۲۰۰۵)
۱۳	بررسی روند صعودی فقدان اکسیژن در منبع ذخیره آب در هنگام فعالیت ENSO (اسپانیا، ۱۹۹۱-۱۹۶۴ و ۲۰۰۷-۱۹۹۴)	کاهش رواناب به دلیل کاهش بارش و افزایش تبخیر	مارک و همکاران(۲۰۱۰)
۱۴	تغییر در آلودگی آب در یک تالاب شور(کالیفرنیا،۲۰۰۰-۱۹۶۹)	به تغییرات رواناب و ۷۰ درصد تغییرات در کالیفرنیا به تغییرات بارش مرتبط است.	پدنکار و همکاران (۲۰۰۵)
۱۵	تغذیه آبخوآنها از مردآبها (کارولینای شمالی، ۲۰۰۳-۱۹۷۸)	هاریکن‌ها	پرل وهمکاران(۲۰۰۶)
۱۶	افزایش مقدار مواد مغذی در دریاچه‌ها (ویکتوریا، استرالیا، ۲۰۰۰-۱۹۸۴)	افزایش دمای هوا و دمای آب	تیبی و تیلر(۲۰۰۷)

در شکل ۲-۱ شاخص خشکسالی کشاورزی پالمر مشاهده می‌گردد. با استفاده از شاخص PDSI[1]، (Dai, et al., 2004) از اواسط دهه‌ی ۱۹۵۰، روند خشکی بزرگی در نیمکره شمالی رخ داده که به خوبی در اوراسیا، افریقای شمالی، کانادا و آلاسکا قابل مشاهده است، در نیمکره‌ی جنوبی، سطح زمین در دهه‌ی ۱۹۷۰ مرطوب و در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۹۰ خشک بوده و بین سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۹۸، روند خشکی قابل مشاهده است. همچنین طول فصول خشک در شکل ۲-۲ برای دوره‌ی ۱۹۹۶-۱۹۶۱ نمایش داده شده است، این شکل به‌طور جهانی و به‌خوبی تعداد ماه‌های با بارش کمتر از ۲۵ میلی‌متر را نمایش می‌دهد. طول خشکی دوازده ماهه در قسمت‌هایی از آفریقای شمالی، آمریکای شمالی و جنوبی، عربستان، ایران و قسمت‌هایی از آسیا مشهود است.



شکل۲-۱: الگوی فضایی شاخص خشکسالی پالمر در دوره‌ی ۲۰۰۲-۱۹۰۰، این شاخص کمبود تجمعی رطوبت خاک(با در نظر گرفتن شرایط محلی) را با ترکیب بارش قبلی و تخمین رطوبت اندازه‌گیری می‌کند. قسمت پایین شکل، روند این شاخص را نمایش می‌دهد. هنگامی‌که این شاخص در نمودار پایین مثبت (منفی) است نواحی قرمز و نارنجی در نقشه بالا خشک‌تر(مرطوب‌تر) و نواحی آبی یا سبز مرطوب‌تر (خشک‌تر) از حد متوسط هستند و خط منحنی نیز تغییرات دهه‌ای را نمایش می‌دهد.

[1] Palmer Drought Severity Index (PDSI)



شکل۲-۲: طول فصول خشک طی دوره ۱۹۹۶-۱۹۶۱(منبع: Hunter et al., 2010)

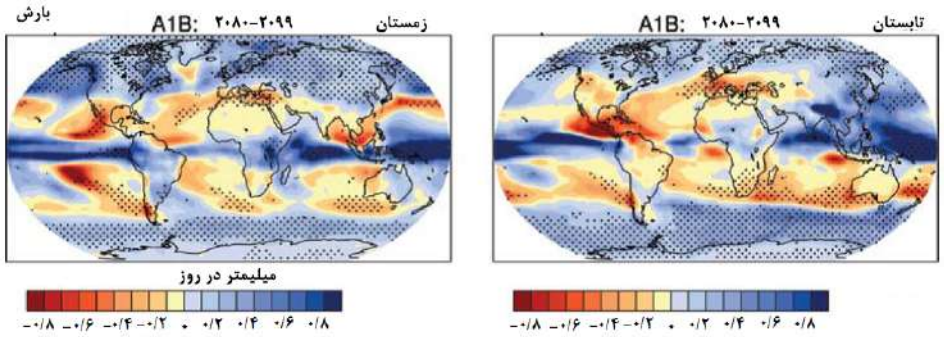
تغییرات در مقدار برف نیز همانند بارش تعیین نشده است. از سویی مطابق گرمایش جهانی، در بیشتر نیمکره‌ی شمالی، فصول برف‌ریز کوتاه‌تری با زودرسی شروع فصل ذوب برف مشاهده شده است (Takala et al., 2009).

بر اساس مطالعات صورت گرفته چشم انداز آتی در این حوضه به صورت زیر خواهد بود:

در افق ۲۰۵۰، فراوانی بارش‌های حدی در قرن بیست و یکم افزایش خواهد یافته که خطر سیلاب را ایجاد خواهد نمود. تا سال ۲۰۵۰، یکی از موضوعات مهم، افزایش تنش آب به دلیل تغییر آب و هوا خواهد بود. برای حوضه‌ی کارائیب، افزایش دمای ۱/۵ تا ۲ درجه سانتیگراد تا سال ۲۰۵۰ به کاهش طول فصول بارانی (۷ تا ۸ درصد) و کاهش بارش منجر خواهد شد. تا سال ۲۰۵۰ در حوضه‌ی اقیانوس آرام نیز کاهش بارش مشاهده می‌گردد که منجر به کاهش آبهای شیرین و افزایش خطر بالا رفتن سطح آب دریا خواهد شد. در استرالیا و زلاند نو نیز تا سال ۲۰۳۰ حوادث حدی نظیر بارش‌های حدی افزایش خواهد یافت و خطراتی مانند شکسته شدن سدهای دشت سیلابی و سیستم‌های زهکش شهری و جاری شدن سیل در شهرهای ساحلی در نزدیکی رودخانه‌ها در پی خواهند داشت (Bates et al.,2008). در برخی حوضه‌های موسمی نیز افزایش در بارش‌ها دیده می‌شود به عنوان مثال تا سال ۲۰۵۰ در حوضه‌ی رودخانه‌ی گنگ افزایش بارش پیش‌بینی شده است(Knutson et al., 2010).

در افق ۲۱۰۰، بهترین پیش‌بینی از تغییر آب و هوایی مشخص کرده است که دمای متوسط جهانی، طی دوره ۲۰۹۰ تا ۲۱۰۰ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۹۹-۱۹۸۰ تا حدود ۱/۸ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت((Meehl et al., 2007; ; Parry et al., 2007). گرمایش در خشکی‌ها به دلیل قابلیت دسترسی به آب کمتر برای سرمایش تبخیر و اینرسی حرارتی کوچک تر جو در مقایسه با اقیانوس، بالاتر خواهد بود (Meehl et al., 2007). شکل ۲-۳ تغییرات بارش مربوط به دوره‌ی ۲۰۹۹-۲۰۸۰ را برای دو فصل تابستان و زمستان نشان می‌دهد. شرایط جوی گرمتر، سیستم هیدرولوژیکی را تشدید و حدی خواهد کرد. بارش با تنوع مکانی و زمانی بسیار زیادی پیش‌بینی شده است، به‌طور کلی،

کاهش بارش در مناطق جنب حاره و افزایش بارش در عرض‌های جغرافیایی بـالاتر و در بخـش‌هـایی از مناطق استوایی پیش بینی می‌گردد (Boko et al., 2007).



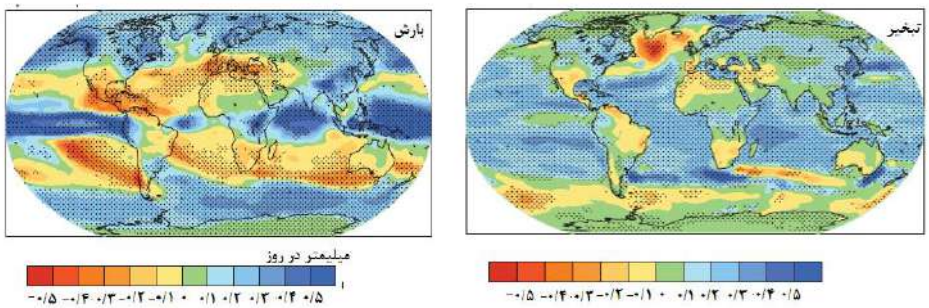
شکل۲-۳: میانگین تغییرات ۱۵ مدل در بارش برای زمستان(چپ) و تابستان(راست) طی دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (Btaes et al.,2008)

- **تبخیر و تعرق**

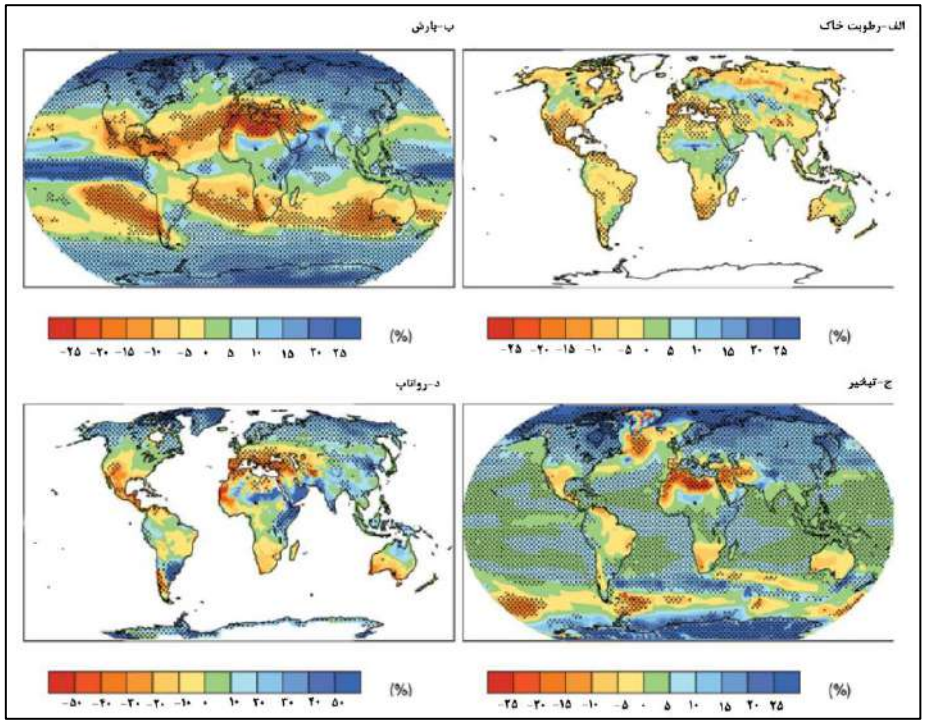
کاهش پیوسته‌ی تبخیر و تعرق واقعی جهـانی و ناحیـه‌ای از دهـه‌ی ۱۹۶۰، بـه تغییـرات بارشـی، دامنه‌ی روزانه‌ی دما، غلظت آیروسل، تابش خورشید، کاهش فشار بخـارآب و سـرعت بـاد نسـبت داده شده است (Fu et al., 2009; Wang et al., 2011). در حالت کلی افق‌های زیر قابل تصور است:

در افق ۲۰۵۰، بر اساس بسیاری از مدل‌های آب و هوایی، احتمـالاً تبخیـر و تعـرق بـالقوه در آب و هوای گرمتر افزایش خواهد داشـت کـه ایـن مـورد چرخـه‌ی هیـدرولوژیکی را شـتاب خواهـد بخشـید (Jiménez et al.,2014). شبیه‌سازی درازمدت از وسعت تبخیر و تعرق واقعی با عدم قطعیت‌های زیادی همراه است. تبخیر و تعرق نه تنها تحت تأثیر دما است بلکه از تغییر تابش و رطوبت خـاک، کـاهش در هدایت تاج پوشش گیاهی مرتبط با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و تغییرات پوشش گیاهی نیز تـأثیر می‌پذیرد (Katul and Novick, 2009). پیش‌بینی پاسخ تبخیر و تعرق گیاه به آب و هوای در حال گرم شدن نامعلوم است. بر اساس شش روش مختلف، افزایش تبخیر و تعرق بالقوه مرتبط با گرمایش جهانی مشخص شده است(Kingston et al., 2009). این افزایش در اروپا، امریکای مرکزی، آفریقـای جنـوبی و سیبری پیش‌بینی شده است (Seneviratne et al., 2010).

در افق ۲۱۰۰، شکل ۲-۴ تغییرات تبخیر و بارش را نشان می‌دهد. شکل ۲-۵ نیز تغییرات رطوبـت خاک، بارش، تبخیر و رواناب را در افق مورد بررسی نمایش می‌دهد و تفاوت آن با شـکل۲-۴ در واحـد ارائه آن (درصد) است که بسیار ملموس‌تر است.



شکل۲-۴: تغییرات احتمالی بارش(چپ) و تبخیر (راست) که تحت شرایط تغییر آب و هوایی پیش‌بینی شده است. نواحی نقطه‌چین نشان دهنده این است که هشتاد درصد مدل‌ها در توافق با ایـن نتـایج مـی‌باشـند (Meehl et al., 2007).



شکل۲-۵: درصد تغییرات احتمالی رطوبت خاک(الف)، بارش(ب)، تبخیر (ج) و رواناب(د) که تحت شرایط تغییر آب و هوایی در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ پیش‌بینی شده است، نواحی نقطه‌چین نشان دهنده این است کـه هشتاد درصد مدل‌ها در توافق با این نتایج می‌باشند (Bates et al., 2008).

- **رطوبت خاک**

روندهای روبه بالا (افزایشی) و رو به پایین (کاهشی) در مقدار رطوبت خاک در چین طی دوره‌ی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۶ محاسبه شده است و خشکسالی‌های رطوبت خاک با بازه‌ی بلندمدت تر، حدی‌تر و فراوان‌تری در ۳۷ درصد نواحی زمینی مشاهده شده است (Wang et al., 2011) که با افزایش روزهای خشک و طولانی شدن دوره‌های خشک از دهه‌ی ۱۹۶۰ همراه بوده است و می‌تواند به افزایش روزها و دوره‌های گرم نسبت داده شود.

در افق ۲۰۵۰ کاهش در رطوبت خاک، خطر روزهای گرم را افزایش می‌دهد و همچنین باعث افزایش امواج گرما خواهد شد.

در مورد افق ۲۱۰۰ همانطور که شکل ۲-۴ نشان می‌دهد به غیر از قسمتهایی از آسیای مرکزی، قسمتهایی از آفریقا و آمریکای شمالی که افزایش اندکی در رطوبت خاک مشاهده می‌گردد در بقیه نواحی کاهش رطوبت خاک مورد انتظار است.

- **پرمافراست**

کاهشِ وسعت پرمافراست و افزایشِ میانگین دما، به طور زیادی در اوراسیا و شمالگان (Jiménez et al.,2014) مشاهده شده است. عمق لایه‌ی فعال و تخریب لایه‌ی منجمد به مقدار یخِ خاک وابسته است. در زمین‌های شیب‌دار، پایداری شیب متأثر از تغییرات پرمافراست است (Harris et al., 2009). رهاسازی گازهای گلخانه‌ای به دلیل تخریب پرمافراست می‌تواند اثرات تغییر آب و هوا را تشدید کند اما تا به حال این فرایند توسط مدل‌های آب و هوایی ارائه نشده است.

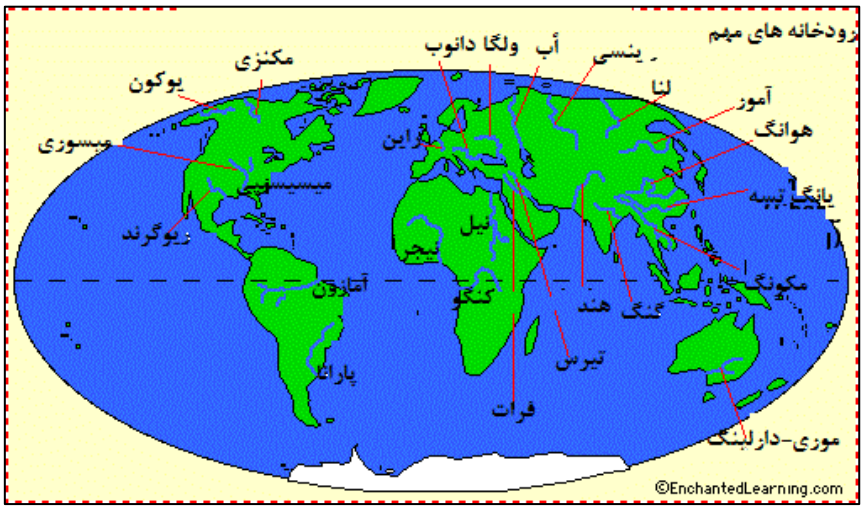
شبیه سازی‌ها با همه‌ی سناریوها نشان داده است که تا نیمه‌ی اول قرن بیست و یکم، پرمافراست همچنان به کاهش خود ادامه می‌دهد (Jiménez et al., 2014). تا سال ۲۰۵۰ در نیمکره شمالی، کاهش ۳۵-۲۰ درصدی مشاهده شده است که با توجه به RCP2.6، پرمافراست تا ۳۷ درصد نسبت به قرن بیستم کاهش خواهد یافت(Jiménez et al., 2014).

با توجه به پیش بینی‌های اندکی که در مورد پرمافراست خاک تا سال ۲۰۵۰ پیش بینی شده است نتایج تا حدی قابل تعیمم به افق ۲۱۰۰ نیز خواهد بود و نتایج نشان دهنده‌ی کاهش در وسعت پرمافراست است.

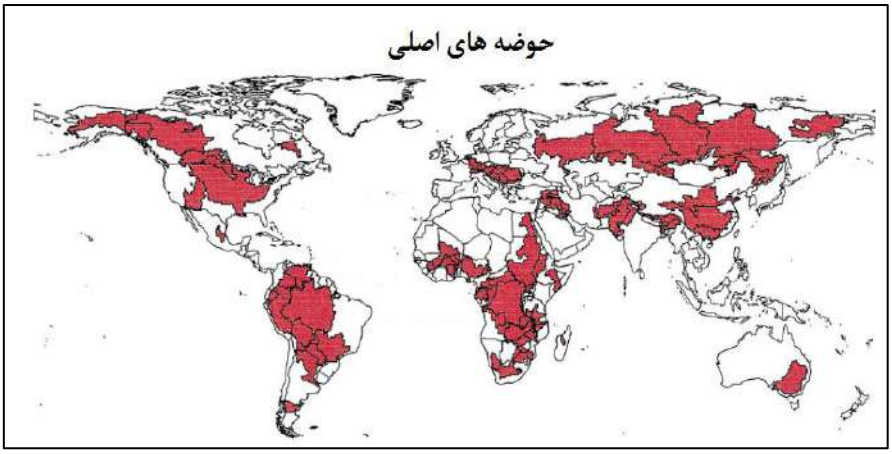
- **اثر تغییرآب و هوا بر رواناب**

از دهه‌ی ۱۹۵۰ با تغییرات بارش و یا دما، روند مشخصی در جریان آب مشاهده شده است. در اروپا طی بازه‌ی ۲۰۰۴-۱۹۶۲، جریانهای آب در جنوب و شرق کاهش و در دیگر نقاط افزایش داشته

است(Stahl et al., 2012). در آمریکای شمالی طی بازه‌ی ۲۰۰۲-۱۹۵۱، افـزایش روانـاب در حوضـه‌ی میسی سی پی و کاهش در حوضه‌ی شمال غربی اقیانوس آرام ایـالات‌متحـده و خلـیج اطلـس جنـوبی مشاهده شده است (Kalra et al., 2008). در چین نیز کاهش جریان رودخانـه در رودخانـه‌ی زرد طـی بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰-۱۹۶۰ که با کاهش ۱۲ درصدی در بارش‌های پاییزه و تابستانه همراه بوده مشاهده شده است درحالی‌که رودخانه‌ی یانگ تسه افزایش اندکی را در جریان سـالانه کـه محـرک آن افـزایش بارش‌های موسمی است نمایش می‌دهد(Piao et al., 2010). البتـه ایـن رونـدهای رودخانـه‌ای بایـد بـا احتیاط تفسیر شوند زیرا عوامل مخدوش‌کننده‌ای نظیر تغییرات کاربری اراضی، آبیاری و شهرنشینی بر روی آن تأثیر دارند. شکل ۲-۶ و ۲-۷ به ترتیب رودخانه‌ها و حوضه‌های اصلی جهان را نمایش می‌دهد. در تحلیل‌های جهانی از روند دبی رودخانه‌ها طی بازه‌ی زمانی ۲۰۰۴-۱۹۴۸، یک سوم از ۲۰۰ رودخانه از جمله کنگو، میسی سی پی، ینیسی، پارانا، گنگ، کلمبیا، اروگوئه و نیجر روند معنی داری را در دبـی نمایش دادند. در این بررسی ۴۵ رودخانه، کاهش و ۱۹ رودخانه، افزایش را نشـان داده‌انـد(Dai et al., 2009).



شکل۲-۶: رودخانه‌های اصلی جهان(URL 2-1)



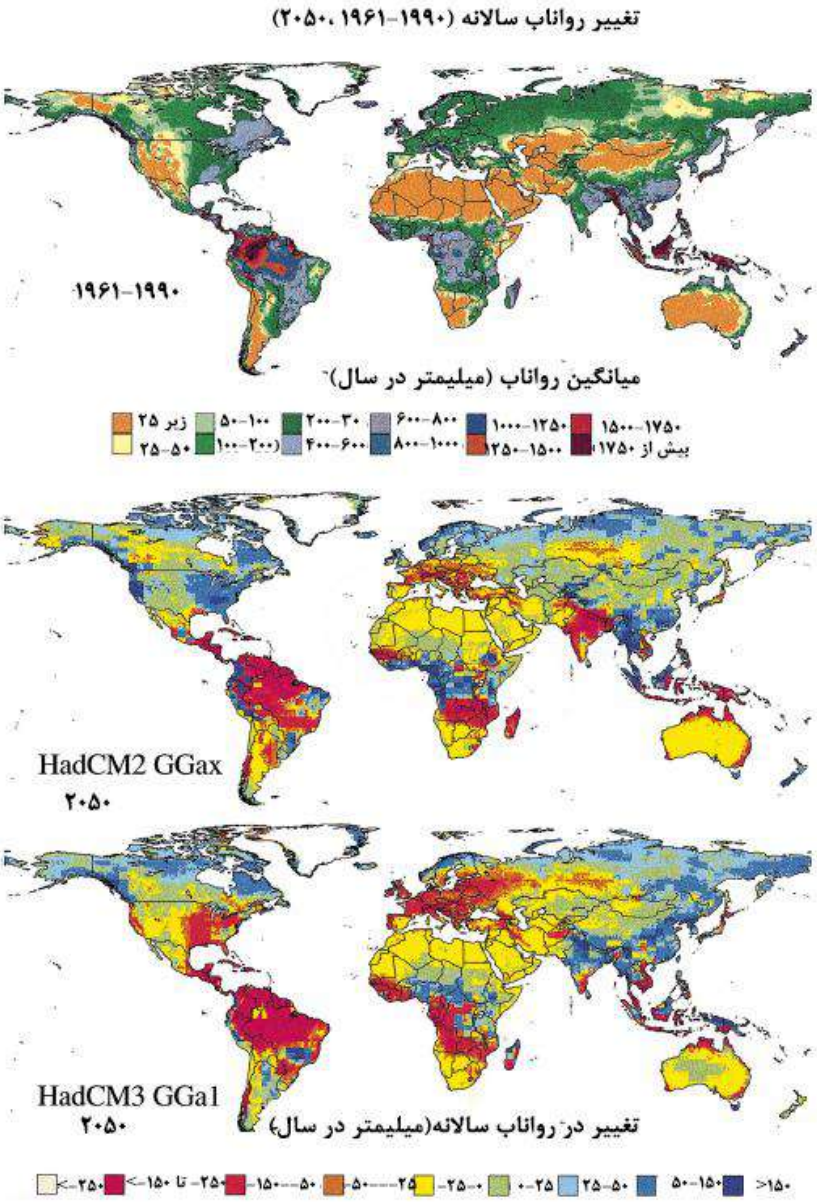
شکل۲-۷: حوضه‌های آبریز اصلی جهان(منبع:Arnell,1999)

در عرض‌های پایین و میانی، روندهای کاهشی با گرمایش و خشکی‌های اخیر در افریقا، اروپای جنوبی، آسیای شرقی و جنوبی، استرالیای شرقی، کانادای جنوبی، ایالات‌متحده و شمال امریکای جنوبی همراه بوده است. در نواحی با ذخیره‌ی فصلی برف، از دهه‌ی ۱۹۷۰، گرمایش منجر به دبی حداکثر بهاره زودهنگام شده است. همچنین شکست زودهنگام یخ‌ها در رودخانه‌های شمالگان گزارش شده است. در حالت کلی جریان رودخانه‌ای در فصل تابستان اندک بوده و کاهش ذخیره‌ی برفی، خشکی تابستان را تشدید کرده است. تغییرات جریانات رودخانه‌ای به شدت به ریزش‌های جوی ارتباط دارد (Bates et al. 2008). در کل اثرات پیش‌بینی شده در حوضه‌ها به حساسیت حوضه به تغییرات در ویژگی‌های آب و هوایی، تغییرات پیش‌بینی شده در ابعاد و توزیع فصلی بارش، دما و تبخیر و تعرق بستگی دارد. حساسیت حوضه تابعی از نسبت رواناب به بارش است به عبارت دیگر نسبت کوچک به معنی حساسیت بالاتر است. تغییرات نسبی در متوسط سالانه‌ی رواناب معمولاً بین یک تا سه بار بیشتر از تغییرات نسبی در متوسط سالانه بارش است. افق‌های زیر در این خصوص قابل تصور است:

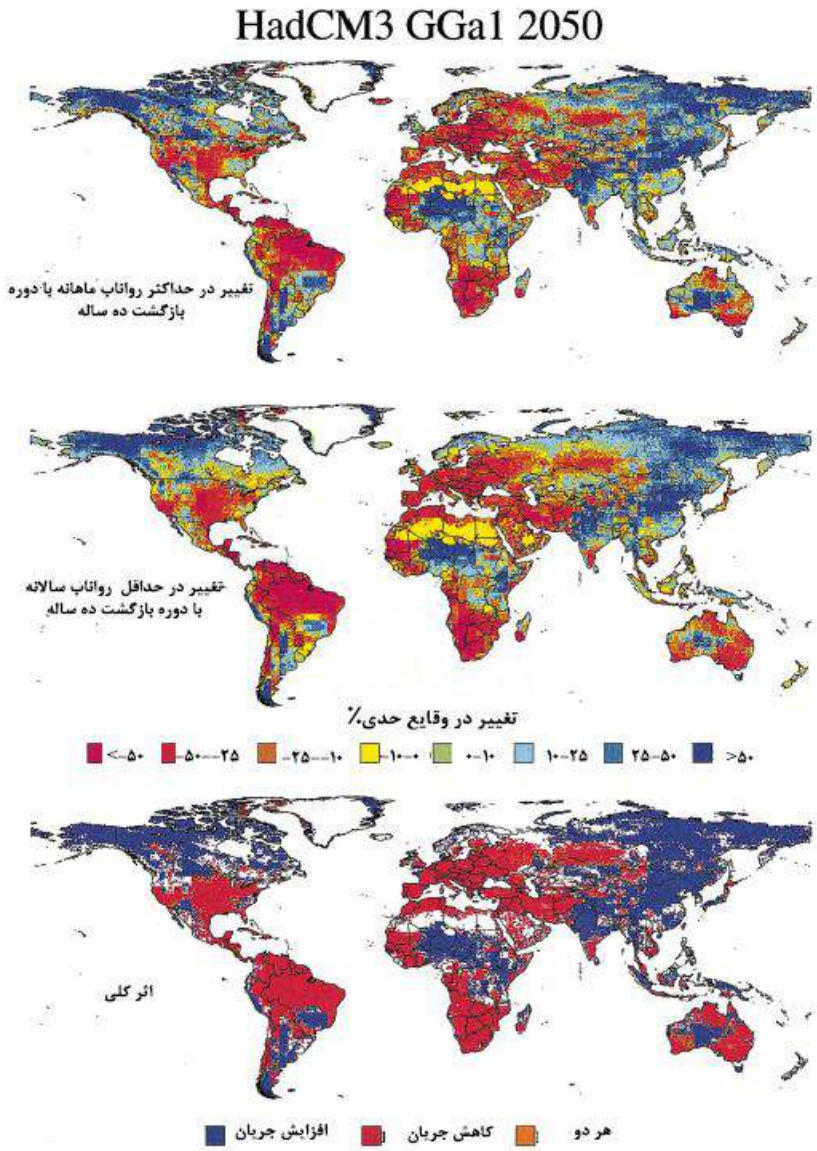
در افق ۲۰۵۰، تغییرات پیش‌بینی شده‌ی رواناب توسط سناریوها در مقیاس جهانی، عمدتاً توسط شبیه‌سازی‌های جهانی، یک سری الگوهای ثابت را آشکار نموده است(Arnell and Gosling, 2013). پیش‌بینی شده است که متوسط سالانه‌ی رواناب در عرض‌های بالا و مناطق استوایی مرطوب افزایش و در نواحی خشک کاهش یابد؛ اما در برخی نواحی مانند چین، آسیای جنوبی و قسمت‌هایی از آمریکای جنوبی، هنوز عدم قطعیت‌هایی در ابعاد و جهت تغییرات وجود دارد. افزایش ۱۵ درصدی رواناب در اروپای شمالی و کاهش ۲۳ درصدی در اروپای جنوبی تا سال ۲۰۳۰ و کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی

رواناب در جنوب شرق اروپا تا سال ۲۰۵۰ نیز مشاهده شده است. همچنین تا سال ۲۰۵۰، افزایش رواناب در آفریقای شرقی و کاهش رواناب در دیگر نواحی آفریقا حادث خواهد شد. در استرالیا کاهش ۴۵-۰ درصدی در ویکتوریا تا سال ۲۰۳۰ و ۲۵-۱۰ درصدی در جریان رودخانه موری دارلینگ تا سال ۲۰۵۰ مشاهده شده است (Bates et al., 2008)

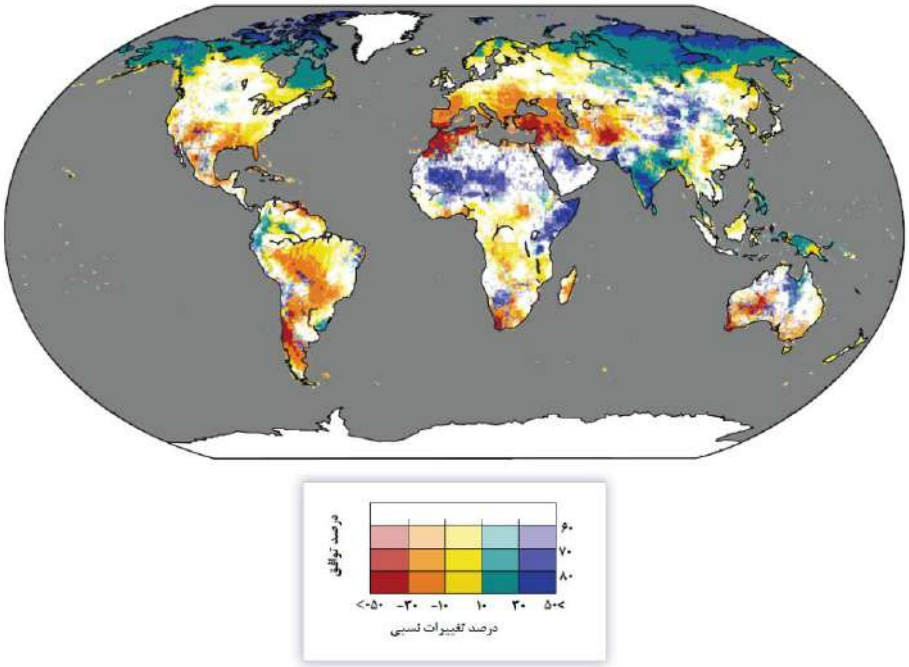
شکل ۲-۸ تغییرات رواناب را تا سال ۲۰۵۰ تحت شبیه‌سازی دو سناریو نمایش می‌دهد. سناریوی اول یعنی GGaX نشان‌دهنده میانگین مجموعه سناریوها در شبیه‌سازی مدل HADCM2 و GGa1 نشان دهنده‌ی تنها یک سناریو در شبیه‌سازی مدل HADCM3 می‌باشد. رواناب در عرض‌های بالا، نواحی استوایی و برخی نواحی جنب حاره افزایش می‌یابد که البته تفاوت‌های بین ناحیه‌ای نیز وجود دارد. تبخیر تحت مدل HADCM3 افزایش بالاتری را نمایش می‌دهد. شکل ۲-۹ تغییر در جریانها را تا سال ۲۰۵۰ نمایش می‌دهد. شکل ۲-۱۰ درصد میانگین تغییرات در متوسط سالانه‌ی رواناب را برای افزایش دمای ۲ درجه‌ی سانتیگراد نسبت به دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۸۰، نمایش می‌دهد، این میانگین‌گیری‌ها با استفاده از پنج مدل آب و هوایی پروژه‌ی CMIP5 و یازده مدل هیدرولوژیکی بوده است.



شکل۲-۸: تغییر در رواناب سالانه تا سال ۲۰۵۰(منبع:Arnell,1999).

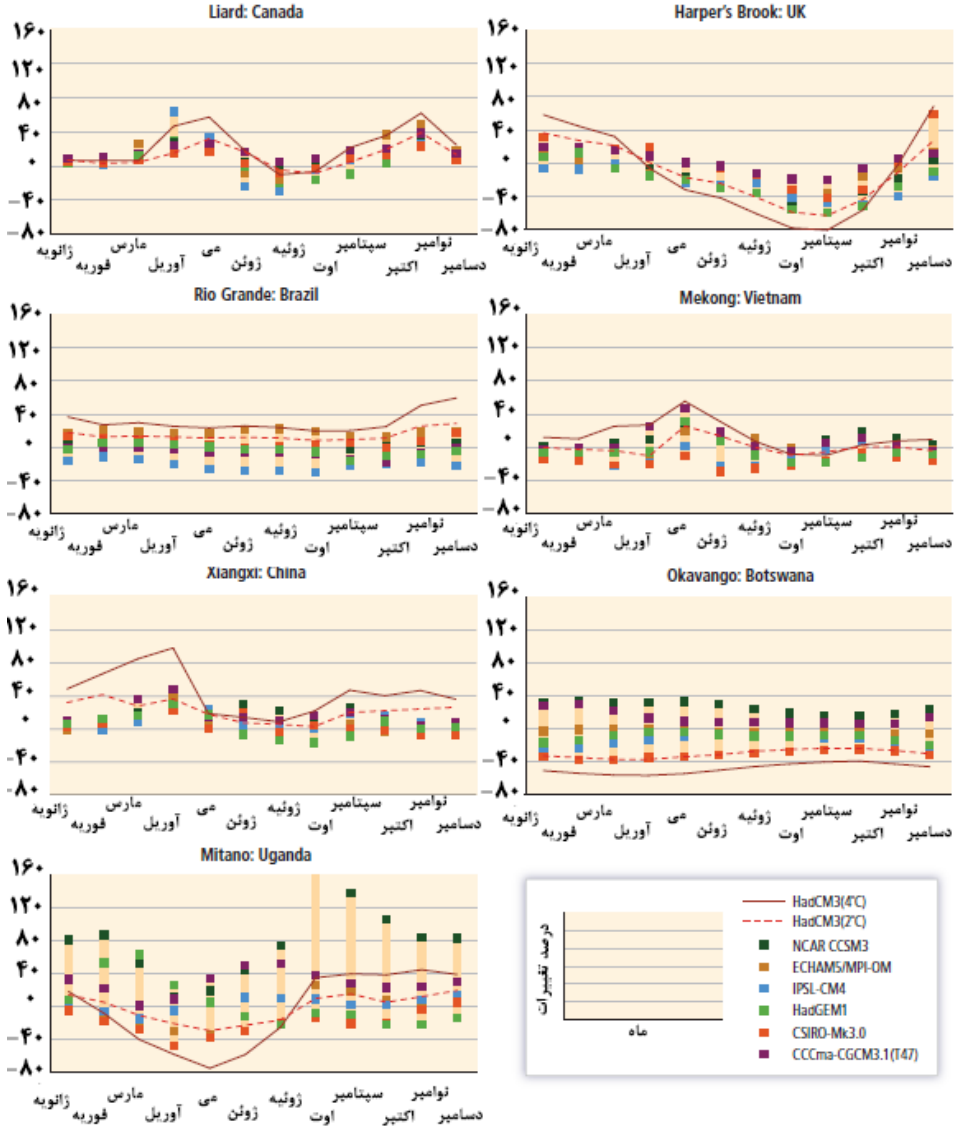


شکل۲-۹: تغییر در حداکثر رواناب ماهانه با دوره بازگشت ده ساله(الف)، تغییر در حداقل رواناب سالانه با دوره بازگشت ده ساله(ب) و اثر هر دو، افزایش خطر سیلاب (ج) (Arnell, 1999)



شکل۲-۱۰: درصد تغییرات میانگین سالانه‌ی جریانها با توجه به افزایش ۲ درجه‌ی سانتیگراد در میانگین دما نسبت به میانگین دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۸۰. رنگ‌ها شبیه‌سازی پنج مدل آب و هوایی و یازده مدل هیدرولوژیکی را نمایش می‌دهند و رنگ‌های پررنگ‌تر توافق بالای بین ۵۵ مدل آب و هوایی – هیدرولوژیکی (ترکیب ۵ مدل آب و هوایی و یازده مدل هیدرولوژیکی) را بیان می‌کنند. (Arnel, 1999)

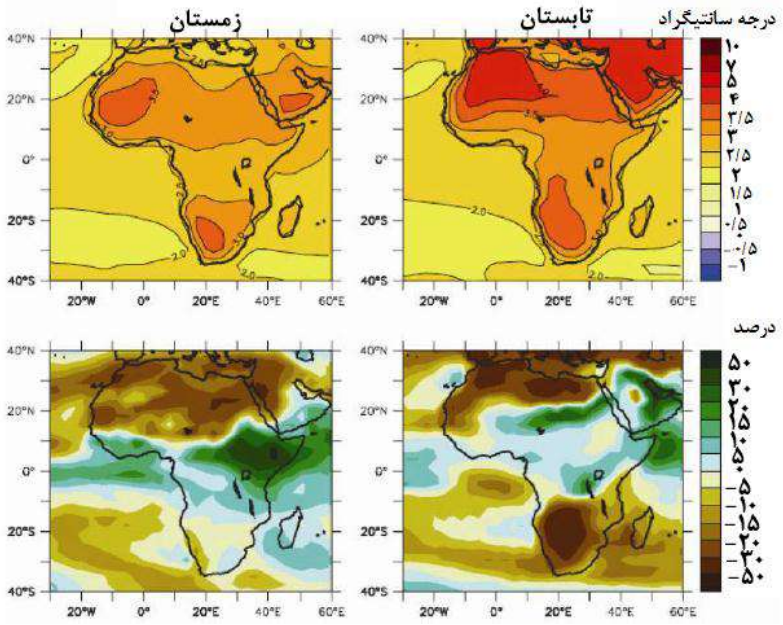
توزیع فصلی تغییرات جریانها با توزیع فصلی تغییرات بارش‌ها تغییر می‌کند و مرتبط با تغییر سناریوهاست. شکل ۲-۱۱ این تغییرات را نمایش می‌دهد. این شکل بر اساس درصد تغییرات در میانگین ماهانه‌ی رواناب در مجموعه‌ای از حوضه‌ها در نواحی مختلف با استفاده از سناریوهایی از هفت مدل آب و هوایی است و این تخمین‌ها با توجه به دمای ۲ درجه‌ی سانتیگراد بالاتر از میانگین دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ برآورد شده است. یکی از این مدل‌ها (HADCM3) افزایش دمای ۴ درجه سانتیگراد را نیز مد نظر قرار داده است.



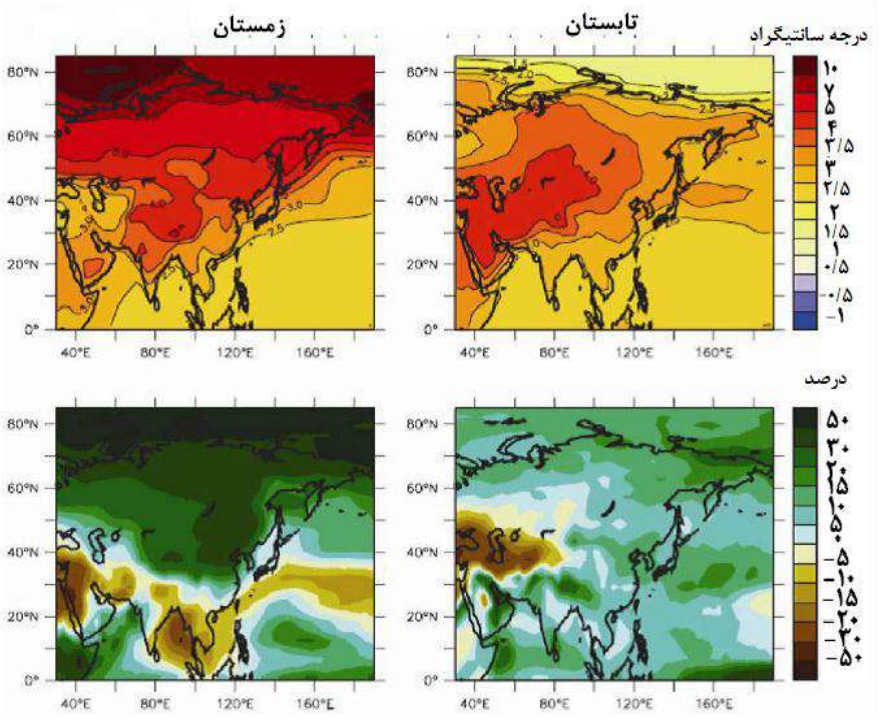
شکل۲-۱۱: درصد تغییرات میانگین سالانه‌ی رواناب با استفاده از هفت مدل آب و هوایی در هفت حوضه، با توجه به افزایش ۲ درجه‌ای دما بالاتر از دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (Jiménez et al., 2014). یکی از هفت مدل آب و هوایی (HADCM3) با استفاده از خط، به طور جداگانه نمایش داده شده که نمایش‌دهنده‌ی افزایش دو (خط نقطه چین) و چهار درجه‌ای (خط ممتد) دما است.

به‌طور ناحیه‌ای نیز نتایج فوق تائید شده است. درنتیجه‌ی تغییرپذیری‌ها، در افریقا و آسیا، پیش‌بینی تغییر آب و هوا با عدم قطعیت‌هایی همراه است به طوری که بسیار نادر است که بیش از ۴۵

درصد مدل‌های آب‌وهوایی موافق تغییرات مورد انتظار باشند (Meehl et al., 2007). در آفریقا مدل‌های آب و هوایی با استفاده از سناریوها، کاهش ۲۰ درصدی بارش در شمال افریقا و ۳۰ درصدی در جنوب آفریقا و افزایش ۷ درصدی در افریقای مرکزی و شرقی را پیش‌بینی نموده‌اند (Boko et al., 2007; Meehl et al., 2007)(شکل ۲-۱۲) اما برای ساحل غربی عدم قطعیت‌هایی موجود است به طوری که برخی مدل‌ها خشکسالی و برخی ترسالی را پیش‌بینی نموده‌اند(Boko et al. 2007). در آسیای جنوبی نیز مدل‌ها، تا سال ۲۱۰۰ تغییرپذیری درون سالانه‌ی زیادی را در بارش نشان داده‌اند بدین معنا که تا ۲۵ درصد افزایش بارش موسمی و کاهش بارش در ماه‌های سرد مشاهده شده است (Cruz et al., 2007) (شکل ۲-۱۳). تغییرات بارش در هیمالیا و عرض‌های بالا قطعیت کمتری دارد چون مدل‌های آب و هوایی در حل و فصل بارش کوهستانی ناتوان‌اند اما از طرفی نیز شناسایی بارش در این نقاط برای سیستم‌های هیدرولوژیکی نواحی پست، بحرانی و بسیار حائز اهمیت است. همچنین در آسیای جنوبی افزایش بارش‌های حدی و امواج گرما پیش‌بینی شده است.



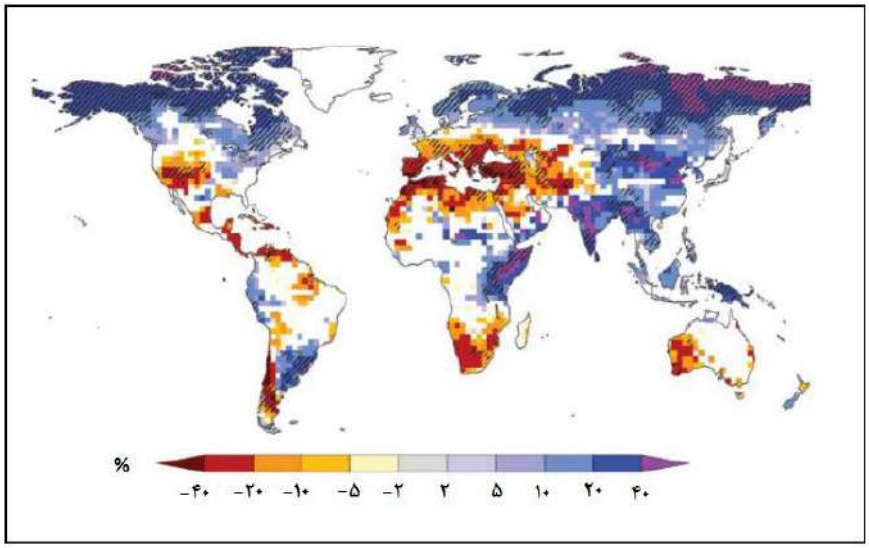
شکل۲-۱۲: تغییرات دما (بالا) و بارش (پایین) که توسط مدل‌های آب و هوایی در دو فصل تابستان (JJA) و زمستان (DJF) مدل شده است (قاره آفریقا) (Christensen et al., 2007).



شکل۲-۱۳: تغییرات دما (بالا) و بارش (پایین) که توسط مدل‌های آب و هوایی در دو فصل تابستان (JJA) و زمستان (DJF) مدل شده است (قاره آسیا) (Christensen et al., 2007).

پیش بینی شده است که به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری بخارآب به دلیل گرمایش جو میزان تبخیر و تعرق بالقوه افزایش خواهد یافت. در بین میانه قرن بیستم و انتهای قرن بیست و یکم، در دامنه وسیعی از سناریوها، ۴ تا ۶ ماه طول می‌کشد تا وسعت و فراوانی خشکسالی رطوبت خاک به دو برابر افزایش یابد و خشکسالی‌های بیش از دوازده ماه تا سه برابر متداول‌تر خواهد شد (Sheffield and Wood, 2008).

شکل ۲-۱۴ تغییرات پیش‌بینی شده در رواناب را طی بازه ۲۰۹۹-۲۰۹۰ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۹۹-۱۹۸۰ نمایش می‌دهد. مقادیر از ۱۲ مدل آب و هوایی تحت سناریوی اقلیمی به دست آمده است که به‌طور میانگین نمایش داده شده است. نواحی هاشور زده و نواحی با رنگ سفید به ترتیب توافق و عدم توافق مدل‌ها را نمایش می‌دهد. این تغییرات در بسیاری از نواحی قطعی نیست. این نقشه تنها به منظور دید کلی ارائه شده و برای تفسیر در مقیاس‌های زمانی کوچک نظیر فصل مناسب نیست.



شکل۲-۱۴: تغییرات پیش‌بینی شده در رواناب سالانه برای دوره آینده ۲۰۹۹-۲۰۹۰ در مقایسه با دوره‌ی ۱۹۹۹-۱۹۸۰ (نواحی هاشور زده و سفید به ترتیب نشان دهنده توافق و عدم توافق مدل‌های آب و هوایی است) (Kundzewicz et al., 2007)

نتایج حاکی از آن است که گرمایش منجر به تغییرات فصلی رژیم‌های رودخانه‌ای در جاهایی که بارش زمستانه به صورت برف است خواهد شد که این مورد به دلیل کاهش جریانهای بهاره با کاهش یا زودرسی ذوب برف و افزایش جریانهای زمستانه است. این موضوع در نواحی آلپ‌های اروپا، اسکاندیناوی، اطراف بالتیک، روسیه، هیمالیا و غرب، مرکز و شرق آمریکای شمالی اثبات شده است (Bates et al., 2008).

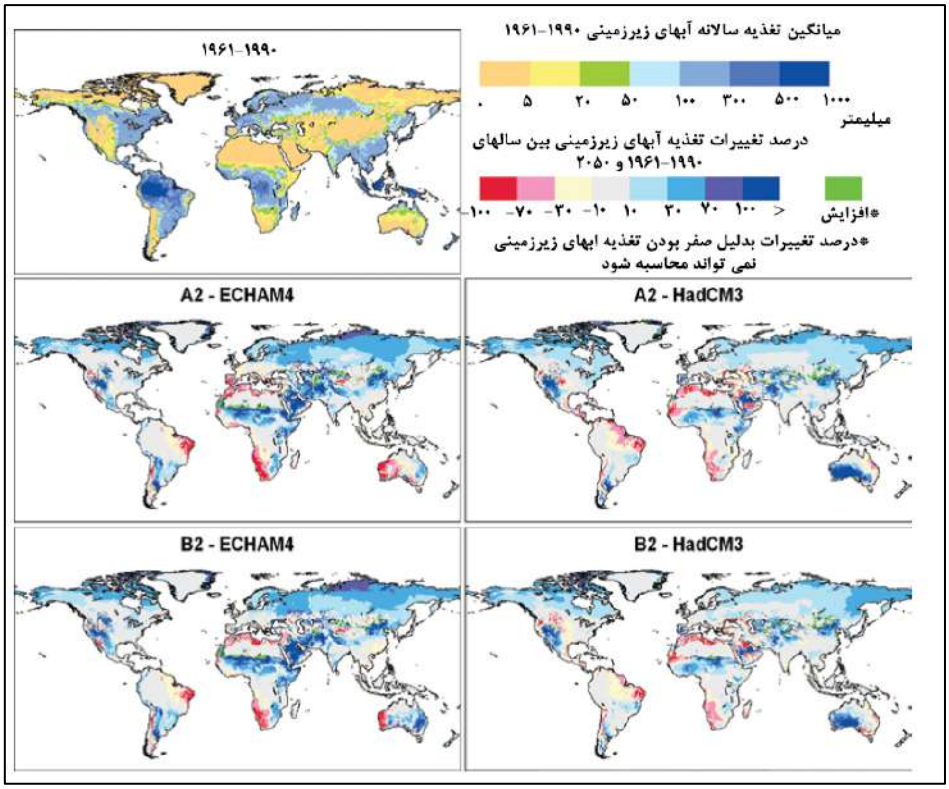
- **اثر تغییرآب و هوا بر آبهای زیرزمینی**

با توجه به تأثیرات تغییر کاربری اراضی و برداشت آبهای زیرزمینی، ارتباط دادن تغییرات مشاهده‌شده در سطح آبهای زیرزمینی، ذخیره‌سازی و یا تخلیه‌ی آنها به تغییر آب و هوایی دشوار است. گستره‌ی کاهش آبهای زیرزمینی که متأثر از تغییر آب و هوایی باشد، هنوز شناخته شده نیست. از طرفی آشکارسازی تغییرات در سیستم‌های آب زیرزمینی و از سوی دیگر، مرتبط ساختن این تغییرات به تغییر آب و هوایی به علت کمبود چاه‌های مشاهداتی مناسب و اندک بودن مطالعات، بسیار نادر است. همچنین تغییر آب و هوا بر نرخ تغذیه و عمق آبهای زیرزمینی نیز تأثیر می‌گذارد؛ اما اطلاعات در مورد تغذیه و سطوح آن در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه بسیار ضعیف است. در عرض‌های جغرافیایی بالا، ذوب پرمافراست، به دلیل افزایش همگام آن با آبهای سطحی باعث تغییرات در سطوح و کیفیت آبهای زیرزمینی می‌شود (Bates et al., 2008). در نواحی مرطوب، افزایش تغییرپذیری بارش،

تغذیه آبهای زیرزمینی را به دلیل حوادث حدی بارش، کاهش می‌دهد زیرا این حوادث مکرر، منتج به افزایش ظرفیت نفوذ خاک می‌شود؛ اما در نواحی خشک و نیمه‌خشک، حوادث حدی بارش ممکن است تغذیه را افزایش دهد زیرا قبل از اینکه تبخیری صورت گیرد و سفره‌های آب آبرفتی مجدداً تغذیه شوند، این بارش‌های حدی قادر به نفوذ در خاک‌اند (Bates et al., 2008).

با اینکه مطالعات اندکی در ارتباط بین آبهای زیرزمینی و تغییر آب و هوا تا قبل از سال ۲۰۰۷ صورت گرفته است، پس از آن تعداد مطالعات و مقالات مروری افزایش یافته است. مطالعات مدل‌های مختلفی برای این کار استفاده نموده اند. دامنه‌ی تغییرات پیش‌بینی شده بسیار بالا است. برخی نتایج کاهش و برخی افزایش معنی‌داری را نشان داده‌اند. همچنین عدم قطعیت‌های موجود در تغذیه‌ی پیش‌بینی شده‌ی آبهای زیرزمینی که از مدل‌های هیدرولوژیکی نشأت می‌گیرد تاکنون مورد بحث و بررسی واقع نشده است. تعداد کمی از مطالعات نیز تأثیر آبهای زیرزمینی را بر تغییرات پوشش گیاهی با توجه به تغییر آب و هوا و انتشار دی‌اکسید کربن مورد بحث قرار داده‌اند (Jiménez et al., 2014). تحت هر سناریوی آب و هوایی، در نواحی که پیش‌بینی شده است مجموع رواناب (مجموع رواناب سطحی و تغذیه آبهای زیرزمینی) افزایش (کاهش) می‌یابد تقریباً با نواحی تغذیه آبهای زیرزمینی متقارن است و بنابراین منابع آبهای زیرزمینی نیز افزایش (کاهش) را نمایش می‌دهند. افزایش در شدت بارش‌ها ممکن است تغذیه آبهای زیرزمینی را با توجه به تجاوز آن از ظرفیت نفوذ، کاهش دهد (به‌ویژه در نواحی مرطوب) و یا ممکن است با توجه به نفوذ سریع‌تر از طریق منطقه ریشه، تغذیه را افزایش دهد و باعث کاهش تبخیر و تعرق شود (به‌ویژه در نواحی نیمه‌خشک). حساسیت تغذیه و سطوح آبهای زیرزمینی به تغییر آب و هوا توسط پوشش گیاهی چند ساله، خاک دانه‌ریز و مرز بین سفره آبهای محصور و غیر محصور کاهش و توسط کشت سالانه، خاک‌های شنی و سفره آبهای محصور نشده افزایش می‌یابد. حساسیت تغییر تغذیه آبهای زیرزمینی به تغییرات بارش در آبهای زیرزمینی با تغذیه اندک، بالا و در مناطق با تغذیه زیاد، پایین است. در سفره‌های آبی دشت‌های نیمه‌خشک، نسبت تغییرات تغذیه به بارش در دامنه‌ای بین ۱/۵ تا ۶ بوده است (Crosbie et al., 2013). حتی اگر بارش ثابت باشد، کاهش برف ممکن است منجر به تغذیه پایین آبهای زیرزمینی شود. تغییر آب و هوا، آبهای زیرزمینی ساحلی را نه تنها از طریق تغییرات در تغذیه آبهای زیرزمینی بلکه از طریق افزایش سطح آب دریا تحت تأثیر قرار می‌دهد که همگام با نرخ پمپاژ آبهای زیرزمینی، محل رویارویی آب شور / آب شیرین را نیز تعیین می‌نماید. اگر چه انتظار می‌رود سفره‌های آب محصور تحت تأثیر افزایش سطح آب دریا نباشد، اما انتظار می‌رود سفره‌های آب محصور نشده از نفوذ آب شور رنج ببرند. اگر آب همانند افزایش سطح دریا نتواند آزادانه افزایش یابد، حجم در دسترس برای ذخیره‌سازی آب شیرین کاهش می‌یابد. این رخداد در زمین‌های پست نظیر جزایر مرجانی مصب‌ها یا دلتاها اتفاق می‌افتد. اگر اختلاف بین آبهای زیرزمینی و سطح دریا تا یک متر کاهش یابد، ضخامت لایه آب شیرین محصور نشده به

حدود ۴۰ متر کاهش می‌یابد. تغییر در تغذیه آبهای زیرزمینی، جریانها را نیز تحت تأثیر قرار مـی‌دهـد. مطابق نتایج مدل‌های هیدرولوژیکی، تغذیه آبهای زیرزمینی به مقداری کمتر از مجموع رواناب افـزایش می‌یابد (حدوداً ۲ درصد در مقایسه با ۹ درصد تا سال ۲۰۵۰ توسط مدل ECHAM4 و تحت سناریوی A2). تا سال ۲۰۵۰ بـا توجـه بـه چهـار سـناریوی آب و هـوایی تحقیـق شـده (دو مـدل آب و هـوایی ECHAM4 و HADCM2 و دو سناریوی A2 و B2) کاهش ۷۰ درصدی در آبهای زیرزمینی در شـمال شرق برزیل، افریقای جنوب غربی و حاشیه‌ی جنوبی دریای مدیترانه پیش‌بینی شـده اسـت (Bates et al., 2008) (شکل ۲-۱۵).



شکل۲-۱۵: شبیه‌سازی اثر تغییر آب و هـوا بـر تغذیـه آبهـای زیرزمینـی (دوره پایـه ۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره آینده(۲۰۷۰-۲۰۴۱) با مرکزیت دهه‌ی ۲۰۵۰ (Bates et al., 2008).

اطلاعات اندکی در مورد بررسی تغذیه آبهای زیرزمینی تا افق ۲۱۰۰ وجود دارد. البته اطلاعـات تـا سال ۲۰۵۰ بسیار بیشتر از این زمان است که دلیل آن عدم قطعیت موجـود در مـدل‌هـای شـبیه‌سـاز می‌باشد با این حال طبق بررسی انگلهارت و پرومل[1] در سـال ۲۰۱۲ در نـواحی خشـک مشـخص شـد

[1] Engelhardt and Prömmel

تغذیه سال ۱۹۸۰ متجاوز از نرخ استخراج آبهای زیرزمینی بوده است اما نرخ استخراج در سال ۲۰۵۰، ۴ برابر و در سال ۲۱۰۰، ۸ برابر بیشتر از تغذیه آبهای زیرزمینی خواهد بود.

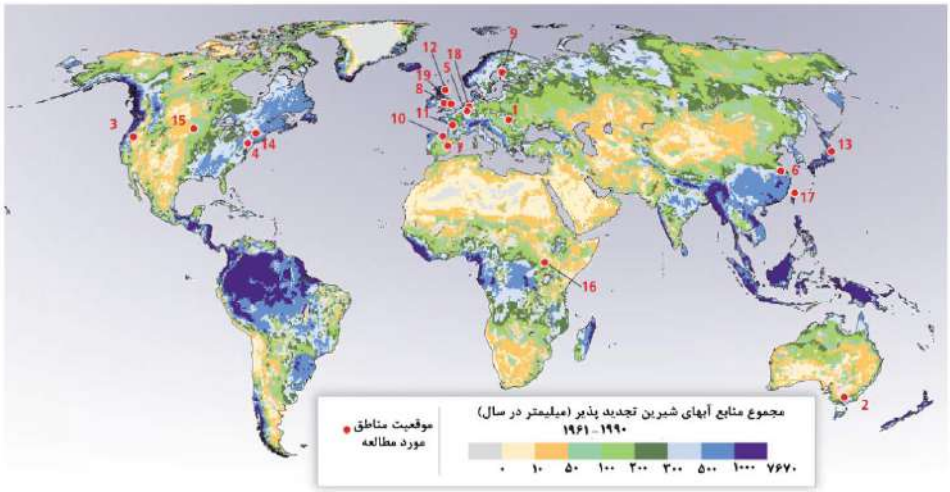
- **اثر تغییرآب و هوا بر کیفیت آب**

بیشتر تغییرات مشاهده‌شده از کیفیت آب به دلیل تغییر آب و هوا بوده است. در این زمینه مطالعات ویژه‌ای در رودخانه‌ها یا دریاچه‌های کشورهای با درآمد بالا و با تعداد اندکی از متغیرها انجام شده است (شکل ۲-۱۶) برخی از مطالعات یک دوره‌ی هشتادساله و برخی دیگر دوره کوتاه‌مدت را پوشش می‌دهند. تغییرات در دریاچه‌ها و مخازن مربوط به اتروفیکاسیون[۱] شدیدتر و جلبک در دماهای بالاتر و یا زمان نگهداری هیدرولیکی کوتاه‌تر و بارهای بیشتری از مواد مغذی که ناشی از افزایش رواناب توفان است، می‌باشد، این موضوع مورد توافق بسیاری است. این موضوعات در بسیاری از موارد به بخش سلامت مرتبط هستند به‌عنوان مثال هنگامی‌که کدورت در آب افزایش یافته باشد، بستری شدن سالمندان در بیمارستان به دلیل بیماری‌های دستگاه گوارش افزایش می‌یابد. با این حال، اثرات مثبت نیز گزارش شده است به‌عنوان مثال، هنگامی‌که در اثر توفآنها و هاریکن‌های مکرر، مواد مغذی در دریاچه‌ها افزایش یابند، خطر اتروفیکاسیون کاهش می‌یابد. اما در رودخانه‌ها، همه‌ی موارد گزارش‌شده در مورد کیفیت آبها منفی بوده است. روانآبهای بزرگ، به جای رقیق نمودن آلودگی، آلاینده‌های بیشتری را از خاک به آبراهه‌ها منتقل می‌کنند. افزایش مواد آلی در آب در کیفیت آب آشامیدنی اختلال ایجاد می‌کند. در جریانات مناطق نیمه‌خشک و خشک، تغییرات دما نسبت به تغییرات بارش، تأثیر قوی‌تری را بر روی افزایش مواد آلی، نیترات و فسفر ثبت کرده است. مطالعات اثرات روی کیفیت آبهای زیرزمینی محدود هستند و عمدتاً در طول فصل بارانی یا بعد از حوادث بارشی حدی، افزایش غلظت کلیفرم‌های مدفوعی گزارش شده است (Seidu et al., 2013).

پیش‌بینی‌ها و تفسیرها تحت سناریوهای آب و هوایی دشوار است زیرا آنها نه تنها به ترکیبی از مدل‌های آب و هوایی با مدل‌هایی که در تجزیه و تحلیل انتقال آلاینده‌ها در آب، خاک و هوا نیاز دارند بلکه به دوره پایه مناسبی نیز نیازمندند. تعداد اندکی از پیش‌بینی در ارتباط با کیفیت آب و تغییر آب و هوا صورت گرفته است و عدم قطعیت‌های آنها بالاست. خاطر نشان شده است که پیش‌بینی کیفیت آب به‌طور زیادی به شرایط محلی، فرضیات محیطی و آب‌وهوایی و حالات آلودگی دوره‌ی پایه یا مرجع بستگی دارد. با بررسی دما و شیمی آبها در اروپا و امریکای شمالی در یک بازه‌ی ۴۰ ساله افزایش دمای ۰/۱ تا ۱/۵ درجه سانتیگرادی مشاهده شده است و با افزایش فرسایش در اثر هوا در حوضه‌ها یا فرایندهای درونی در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، کیفیت آب تغییر خواهد نمود (Bates et al., 2008).

---

[۱] اتروفیکاسیون دلالت بر غنی شدن پیکره آبی به وسیله مواد آلی ورودی و یا روانآب سطحی حاوی نیترات و فسفات دارد که به طور مستقیم رشد جلبکها و دیگر گیاهان آبزی را کنترل می‌کند. فرایند اتروفیکاسیون به طور طبیعی اما آهسته و با دورهٔ بالاتر از صد سال اتفاق می‌افتد اما فعالیتهای انسان فرایند اتروفیکاسیون را تسریع می‌کند.



شکل۲-۱۶: مجموع منابع آبهای شیرین تجدیدپذیر و موقعیت مناطق مورد مطالعه در مورد کیفیت آب (Cicerone et al., 2014)

دماهای بالاتر آب، افزایش شدت بارش و مدت طولانی‌تری از جریان سبب تشدید بسیاری از اشکال آلودگی آب، از جمله رسوبات، مواد مغذی، کربن آلی محلول، حشره‌کش‌ها، نمک و آلودگی حرارتی می‌شود. افزایش دما به احتمال زیاد به کاهش کیفیت آب در دریاچه‌ها از طریق افزایش پایداری حرارتی و تغییر الگوهای اختلاط و در نتیجه کاهش غلظت اکسیژن و افزایش انتشار فسفر از این رسوبات می‌شود. از سویی نیز، افزایش دما در طول زمستان و بهار می‌تواند کیفیت آب را با توجه به شکست زودرس یخ‌ها و درنتیجه سطح بالاتری از اکسیژن بهبود ببخشد و به کاهش مرگ ومیر ماهی‌ها کمک نماید. با بررسی دمایی در افریقای شرقی، افزایش دمایی به میزان ۰/۲ تا ۰/۷ درجه سانتیگراد در دریاچه‌ها نشان داده است که البته مقادیر مشابهی نیز برای دریاچه‌های دیگر انتظار می‌رود. افزایش پیش‌بینی شده در شدت بارش منجر به عدم کیفیت آب با افزایش انتقال عوامل بیماری‌زا و دیگر آلاینده‌های محلول (به عنوان مثال، آفت کش‌ها) به آبهای سطحی و زیرزمینی می‌شود و افزایش فرسایش منجر به تجمع آلاینده‌ها نظیر فسفر و فلزات سنگین خواهد شد (Bates et al., 2008).

- **اثر تغییرآب و هوا بر فرسایش خاک و افزایش بار رسوب**

از دهه‌ی ۱۹۵۰، بارش‌های حدی در بسیاری از نواحی افزایش یافته است (Seneviratne et al., 2012). بارش‌های حدی منجر به افزایش فرسایش خاک و افزایش بارهای رسوبی جریانهای رودخانه‌ای می‌شود. آب و هوای گرم ممکن است بر رطوبت خاک، پوشش لاشبرگ و تولید زیست‌توده تأثیر بگذارد و می‌تواند باعث تغییر در بارش فصل زمستان از برف به بارانهای فرسایشی شدید شود(Kundzewicz et al., 2007) یا در مناطق نیمه‌خشک، افزایش در آتش‌سوزی با بارش‌های منتج از آن به حوادث حدی

فرسایشی منجر گردد. اثرات تغییر آب و هوایی در فرسایش خاک و رسوب غالباً توسط فعالیت‌های کشاورزی و مدیریت انسان پنهان مانده است. در رودخانه زرد که در آن فرسایش خاک عمدتاً منتج از بارش‌های سنگین است، کاهش بارش (تا ۱۰ درصد) طی دوره ۲۰۰۵-۲۰۰۰ در مقایسه با دوره ۱۹۸۰-۱۹۵۰، در کاهش حدود ۳۰ درصد از بار رسوبی جریانات رودخانه که به دریا می‌ریزد، مشارکت داشته است و ۷۰ درصد باقی مانده مربوط به دام انداختن رسوبات در مخازن و اقدامات حفاظت از خاک می‌باشد (Wang et al., 2007). دایی و همکاران (۲۰۰۸) با تجزیه و تحلیل کاهش بار رسوب رودخانه یانگ تسه طی دوره ۲۰۰۲-۱۹۵۶، نشان دادند که تغییر آب و هوایی مسئول افزایش حدود ۲ ± ۳ درصد است و بخش اعظم این کاهش به دلیل احداث سد (سه سد) و اقدامات حفاظت خاک بوده است. به‌طور خلاصه، شواهد محدود و توافقات کمی در پاسخ به این سوال که آیا تغییر آب و هوایی انسان منشأ، مشارکت قابل توجهی را در فرسایش خاک، بار رسوبات و رانش زمین دارد، وجود دارد. چشم انداز آتی برای این مورد به صورت زیر است:

مطالعات نشان می‌دهد که احتمال دارد بارش‌های سنگین در طول قرن بیست و یکم حدی‌تر و فراوان‌تر شود (Seneviratne et al. 2012) که حتی اگر مجموع بارش افزایش نیابد منجر به فرسایش خاک می‌شود. بیشترین افزایش در نواحی نیمه‌خشک انتظار می‌رود. این حوادث حدی ممکن است در نیمی از فرسایش مشارکت داشته باشد. شیوه‌های مدیریت زمین برای کاهش فرسایش خاک تحت تغییر آب و هوایی پیش‌بینی شده بسیار مهم است. در مقیاس جهانی پیش‌بینی شده است که تحت شرایط افزایش دو برابری دی‌اکسید کربن، فرسایش خاک تا ۱۴ درصد تا سال ۲۰۹۰ در مقایسه با سال ۱۹۸۰ (۹ درصد آن مرتبط با تغییر آب و هوا و ۵ درصد آن مرتبط با کاربری اراضی است) افزایش یابد.

- **اثر تغییرآب و هوا بر رخدادهای هیدرولوژیکی حدی**

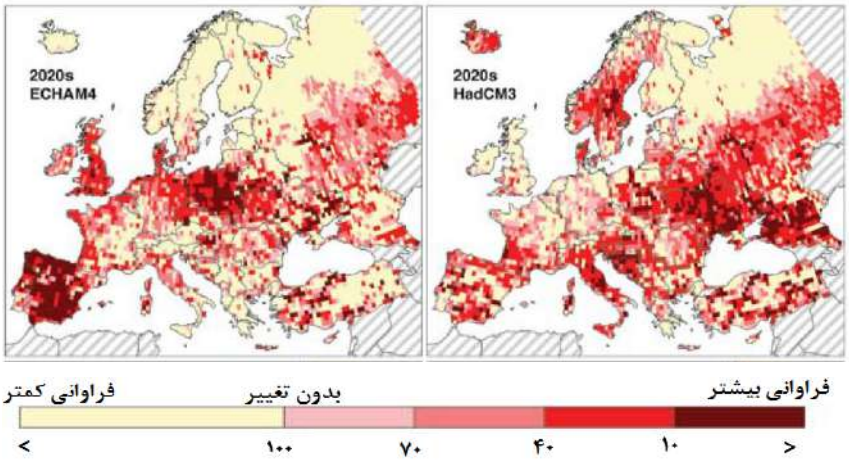
با توجه به شواهد محدود، سطح اطمینان پایینی در پاسخ به این سوال که آیا تغییر آب و هوایی انسان منشأ، فراوانی و شدت سیل در مقیاس جهانی را تحت تأثیر قرار داده است، وجود دارد (Kundzewicz et al., 2013). قدرت این شواهد به دلیل فقدان مشاهدات طولانی‌مدت از حوضه‌های مدیریت نشده، محدود است. با این حال، تشخیص‌های اخیر از روند بارش‌های حدی و دبی در برخی حوضه‌ها به معنی خطرات بیشتری از جاری شدن سیل در مقیاس منطقه‌ای است. برخی مکآنها، افزایش در بارش‌های حدی را نسبت به کاهش آن نشان داده‌اند (Seneviratne et al., 2012). هزینه‌های ناشی از خسارات سیل از دهه‌ی ۱۹۷۰ افزایش یافته است. از سویی در مقیاس‌های فضایی کوچک‌تر، افزایش در دبی حداکثر سالانه در قسمت‌هایی از اروپای شمال غربی مشاهده شده است.

گزارش از خسارات سیل حاکی از روند افزایشی در میانگین این هزینه‌ها از ۷ بیلیون دلار در سال ۱۹۸۰ تا ۲۴ بیلیون دلار در سال ۲۰۱۱ است (Kundzewicz et al., 2013). با در نظر گرفتن موارد اقتصادی، از جمله بیمه، مشخص شده است که زیانهای فاجعه‌ی سیل در کشورهای توسعه‌یافته بالاتر است، در حالی که نرخ مرگ و میر و زیانهای اقتصادی به عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی در

کشورهای در حال توسعه بالاتر است. از سال ۱۹۷۰، تعداد سالانه‌ی مرگ و میر ناشی از سیل، هـزاران نفر بوده است که بیش از ۹۵ درصد آن در کشورهای در حال توسعه می‌باشد.

ارزیابی خشکسالی به تعریفی که از خشکسالی (هواشناسی، کشاورزی و...) ارائـه شـود، بسـتگی دارد. از سال ۱۹۵۰، فراوانی خشکسالی هواشناسی (بارش) و خشکسالی کشاورزی (رطوبت خاک) در برخی نـواحی نظیر آفریقای غربی و اروپای جنوبی افزایش یافته است (Seneviratne et al., 2012) در حالی که در برخـی نواحی دیگر همانند جنوب ایالات‌متحده، تغییری در فراوانی مشـاهده نشـده اسـت (Jiménez et al.,2014). برخی مطالعات، پیوندهایی بین الگوهای بزرگ‌مقیاس پیوند از دور را با خشکسالی‌هـا نشـان داده‌انـد. بـرای نمونه طی دوره‌ی ۲۰۰۰-۱۹۶۳، در شـبیه‌سـازی خشکسـالی در مقیـاس جهـانی بـا مجموعـه مـدل‌هـای هیدرولوژیکی، همبستگی قوی بین انسو و خشکسالی‌های هیدرولوژیکی مشاهده شده است.

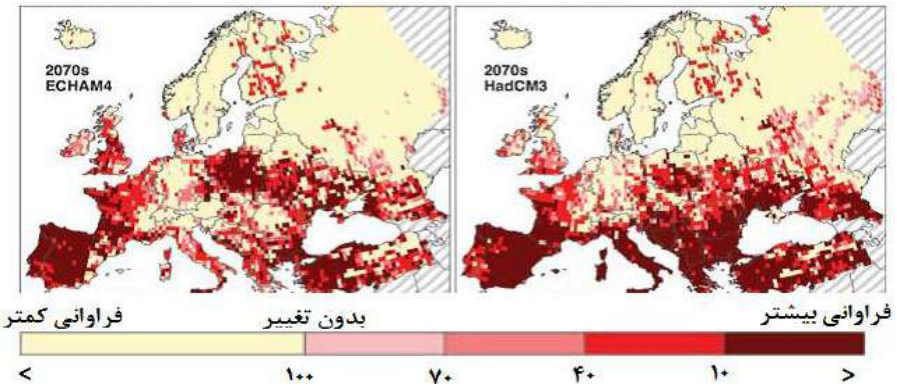
گزارش ویژه در مورد مدیریت خطر حوادث حـدی بـه منظـور توسـعه‌ی سـازگاری بـا تغییـر آب و هوایی[1] (Seneviratne et al., 2012) مشخص کرد که افزایش پیش‌بینی شده در دما و بارش سنگین به تغییرات ناحیه‌ای فراوانی و شدت سیل منجر خواهد شد اما در این مورد سطح اطمینان پایین است چرا که نتایج مرتبط با یک مدل آب و هوایی است. محتمل است فراوانی بارش‌هـای حـدی افـزایش یابنـد، افزایش در شدت بارش‌ها در استوا و عرض‌های بالا پیش‌بینی شده است که افزایش در میانگین بارش‌ها را نیز تجربه خواهند نمود. در مراکز قاره‌ها و در طول فصل تابستان، تمایل به خشـکی وجـود دارد کـه مشخص‌کننده‌ی خطر بیشتری از خشکسالی در این نواحی است. شکل ۲-۱۷ تغییرات خشکسالی را در قسمت‌هایی از اروپا نمایش می‌دهد.



شکل۲-۱۷: دوره‌ی بازگشت خشکسالی (سال) دوره‌ی آینده با مرکزیت دهه ۲۰۲۰ با اسـتفاده از دو مـدل آب و هوایی و تغییر در فراوانی آینده‌ی سیل‌های صدسـاله در پرتغـال، اسـپانیا، غـرب فرانسـه، حوضـه‌ی ویستولای لهستان و غرب ترکیه (Bates et al., 2008)

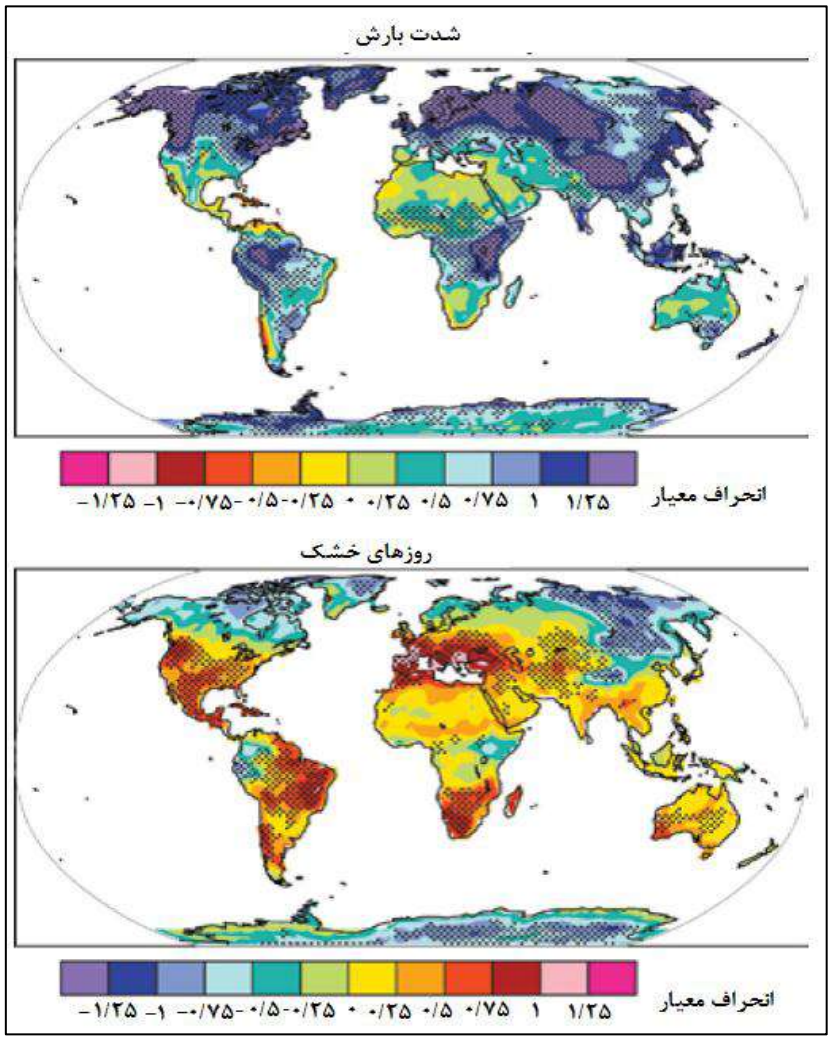
[1] Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation

در افق ۲۱۰۰، آب و هوای گرم در همه‌ی مناطق، باعث شدت بارش و افزایش حوادث حدی خواهد شد، فراوانی و شدت وقایعی مانند توفانهای گرمسیری، سیل و خشکسالی افزایش خواهد یافت. شکل ۲-۱۸ دروه بازگشت سیل‌ها را با استفاده از چندین مدل طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ نمایش می‌دهد. پیش‌بینی‌های سیل از شبیه‌سازی چندین مدل جهانی که با مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های آب و هوایی است نشان داده است که خطر سیل در نیمی از جهان با تغییرپذیری بیشتر در مقیاس حوضه افزایش می‌یابد. پیش‌بینی خطر افزایش سیل برای قسمت‌هایی از جنوب و جنوب شرق آسیا، افریقای استوایی، اوراسیای شمال شرقی و امریکای جنوبی ثابت است در حالی که روند کاهشی در قسمت‌هایی از اروپای شرقی و شمالی، آناتولی، آسیای مرکزی، مرکز امریکای شمالی و جنوب امریکای جنوبی، مشاهده می‌شود. خسارات سیلِ پیش‌بینی شده بین مدل‌ها متفاوت است و از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر تغییر می‌کند که البته بیشترین خسارات مربوط به آسیا است. در اروپا خسارات سالانه ۶/۴ بیلیون و تعداد تلفات جانی ۲۰۰۰۰۰ نفر طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ بوده است، مورد انتظار است که این رقم‌ها تا سال ۲۰۸۰ سه برابر شود (Feyen et al., 2012). چندین ارزیابی در مورد اثرات بالقوه‌ی تغییر آب و هوا بر خشکسالی‌های هواشناسی(بارش کم) و خشکسالی‌های کشاورزی (خاک خشک‌تر) وجود داشته است. ارزیابی اثرات خشکسالی در مقیاس قاره‌ای و یا کوچک‌تر دشوار است به دلیل اینکه آنها تا حد زیادی با تنظیم و شیوه‌های مدیریت آب و ابزارهای هیدرولوژیکی محلی متفاوت خواهند بود اما در مورد خشکسالی‌های هیدرولوژیکی، مطالعاتی روی رواناب رودخانه و سطح آبهای زیرزمینی انجام شده است. تعدادی از مطالعات در مقیاس حوضه، تغییرات شاخص‌های جریان پایین رودخانه را در نظر می‌گیرند (مثلاً جریانهای متجاوز از ۹۵ درصد در زمان)، اما هنگامیکه گستره فضایی و مدت‌زمان در نظر گرفته نشود، این شاخص‌ها لزوماً خشکسالی را تعریف نمی‌کند. افزایش در درصد نواحی که خشکسالی را تجربه می‌کنند مشاهده می‌گردد. به‌عنوان مثال نواحی که امروزه خشکسالی‌های حدی را تجربه می‌کنند، اگر امروزه یک درصد باشند تا سال ۲۱۰۰ این رقم به ۳۰ درصد افزایش خواهد داشت و شرایط خشکتر خاک در موجهای گرمایی شدید نیز مشارکت خواهد داشت (Bates et al., 2008)

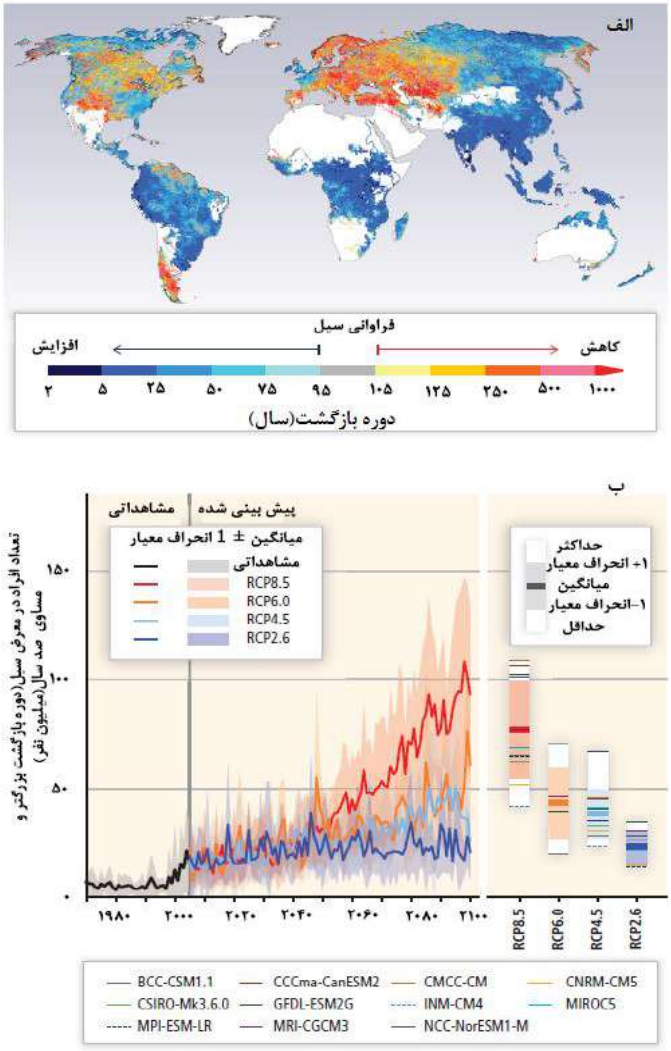


شکل۲-۱۸: دوره بازگشت خشکسالی (سال) طی دوره آینده با مرکزیت دهه ۲۰۷۰ با استفاده از دو مدل آب و هوایی و تغییر در فراوانی آینده‌ی سیل‌های صدساله در پرتغال، اسپانیا، غرب فرانسه، حوضه‌ی ویستولای لهستان و غرب ترکیه (Bates et al., 2008)

شکل ۲-۱۹ تغییرات حوادث حدی بارش و روزهای خشک را طـی دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ بـه نمـایش می‌گذارد. شکل ۲-۲۰ دوره بازگشت (سال) چندین مدل در دهه ۲۰۸۰ برای سـیل‌هـای ۱۰۰ سـاله‌ی قرن بیستم را نشان می‌دهد.



شکل۲-۱۹: تغییرات حوادث حدی مبتنی بر نتایج چندین مدل مزدوج طـی دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسـبت بـه دوره‌ی ۱۹۹۹-۱۹۸۰ تحت سناریوی A1B. تغییر در الگوی فضایی شدت بارش‌ها (بالا) و روزهـای خشـک (پایین) مشاهده می‌گردد. نقاط در شکل گویای این هستند که حداقل پنج مدل از نه مدل اسـتفاده شـده در پژوهش تائید می‌کنند که این تغییرات معنی دارند (Bates et al., 2008)



شکل۲-۲۰: الف- دوره بازگشت (سال) چندین مدل در دهه ۲۰۸۰ برای سیل‌های ۱۰۰ ساله قرن بیستم (Hirabayashi et al., 2013)، برگرفته از نتایج ۱۱ مدل تحت سناریوی RCP8.5. در هر مکان ابعاد سیل با استفاده از برازش بر اساس توزیع گامبل برای دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و دوره آینده ۲۱۰۰-۲۰۷۱ (۲۰۸۰) تخمین زده شده است، ب- مواجهه‌ی میلیون‌ها انسان در برابر سیل‌های صد ساله یا بیشتر قرن بیستم.

- **اثر تغییرآب و هوا بر افزایش سطح آب دریا**

مطالعات نشان می‌دهد که میانگین سطح آب دریاها افزایش داشته است که این نرخ افزایش از اواسط قرن نوزدهم و قرن بیستم روند افزایشی داشته است. میانگین این نرخ ۰/۵ ± ۱/۷ میلی‌متر در سال برای قرن بیستم و ۰/۵ ± ۱/۸۶ برای دوره‌ی ۲۰۰۳-۱۹۶۱ و ۰/۷ ± ۳/۱ برای دوره‌ی ۲۰۰۳-

۱۹۹۳ بوده است. هنوز هم مشخص نشده است که آیا این افـزایش در دوره‌ی آخـر بـه دلیـل تغییرپـذیری دهه‌ای است یا مربوط به روند درازمدت است. البته در این باره عدم قطعیت‌هایی نیز وجود دارد. برای دوره‌ی ۲۰۰۳-۱۹۹۳ مشارکت افزایش دما(۰/۵ $\pm$ ۱/۶ میلی‌متر در سال)، کاهش حجم یخ از یخچال‌های طبیعـی و قله‌ها (۰/۲۲ $\pm$ ۰/۷۷ میلی‌متر در سال) و کاهش حجم یخ از گرینلند(۰/۰۷ $\pm$ ۰/۲۱ میلی‌متر در سال) و جنوبگان (۰/۳۵ $\pm$ ۰/۲۱ میلی‌متر در سال) مهم بوده است (Bates et al., 2008).

اطلاعات در مورد افزایش سطح آب در آینده بسیار محدود است و پیش‌بینی‌ها عـدم قطعیـت‌هـا را نیز در کار خود وارد نکرده‌اند. بطور کلی می‌توان گفت دخالت افزایش دما و کاهش وسعت یخچال‌هـای طبیعی و یخ‌های قطب‌ها در افزایش آب سطح دریاها نقش عمده‌ای ایفا خواهند کرد.

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش‌های قبل، پیش‌بینی‌های مدل از افـزایش سـطح آب دریـا بـر اساس نتایج مدل‌های و سناریوهای آب و هوایی بین اواخر قرن بیستم(۱۹۹۹-۱۹۸۰) تـا انتهـای قـرن بیست و یکم (۲۰۹۹-۲۰۹۰) حدودا ۰/۱۸ تا ۰/۵۹ متر خواهد بود. در سناریوهای مطالعه شده، ممکـن است میانگین افزایش آب دریا در طول قرن بیست و یکم از دوره ۲۰۰۳-۱۹۶۱ (۰/۵ $\pm$ ۱/۸ میلی‌متـر در سال) تجاوز کند که افزایش دما مسئول ۷۰ تا ۷۵ درصد این پیش‌بینی‌ها است. یخچال‌های طبیعی، قله‌های یخی و صفحات یخی گرینلند نیز نقش مثبتی در افزایش آب دریا دارند؛ امـا افـزایش آب دریـا به‌طور فضایی تغییرات جغرافیایی گسترده‌ای دارد (Bates et al., 2008).

- **اثر تغییرآب و هوا و پوشش برف بر یخچالها**

ذوب ناشی از یخچالهای طبیعـی منشـا ۵۰ تـا ۹۷ درصـد از آلاینـده‌هـای ارگانیـک وارد شـده بـه دریاچه‌ها می‌باشد(URL 2-2). در بسیاری از نواحی جهان، حجم یخچال‌های طبیعی نیز کـاهش یافتـه است (Gardner et al., 2013). هیمالیا نیز بیشتر حجم یخچال‌های طبیعی خود را از دسـت داده اسـت (Bolch et al., 2012). به نظر می‌رسد ذوب یخها در قطب شمال از اواخر دهه ۱۹۹۰تسریع شده است؛ ذوب سالانه از ۱۰۰ کیلومتر مربع در سالهای ۱۹۸۹-۱۹۸۰ به ۳۲۰ کیلـومتر مربـع در سـال ۱۹۹۷ و ۵۴۰ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۸ رسیده است(URL 2-2).

همه‌ی پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد در قرن بیست و یکم حجم عظیمی از توده یخچال‌های طبیعی از دست خواهد رفت. در حوضه‌های دارای یخچال‌های طبیعی، رواناب در تابسـتان بـه حـداکثر سـالانه‌ی خود می‌رسد. وقتی که این یخچال‌ها کوچک می‌شوند، مشارکت نسبی آنها کاهش می‌یابد و اوج رواناب به فصل بهار انتقال پیدا می‌کند که این مورد در بیشتر نقـاط اثبـات شـده اسـت. بـه عنـوان مثـال در هیمالیای شرقی، مونسون و فصل ذوب بـاهم همزمـان شـده اسـت. اهمیـت نسـبی آب ناشـی از ذوب یخچال‌ها در تابستان قابل توجه است.

تا سال ۲۱۰۰ مطالعات اندکی در حجم یخچال‌های طبیعـی صـورت گرفتـه اسـت امـا نتـایج ایـن مطالعات بسیار قابل توجه می‌باشد به عنوان مثال در حوضه هیمالیا تغییـرات ایـن یخچـال‌هـا در بـازه

زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ پیش‌بینی شده است و مشخص شده که دامنه‌ای بین ۲ درصد افزایش تا ۲۹ درصد کاهش در سال‌های ۲۰۳۵ تا ۲۱۰۰ قابل مشاهده است. دامنه‌ی کاهش ۱۵ تا ۷۵ درصد تحت سناریوی RCP4.5 بوده است. این کاهش‌ها تحت سناریوی RCP4.5، حدود ۴۵ درصد و تحت سناریوی RCP8.5، ۶۸ درصد هستند. پیش‌بینی‌ها، در مقیاس حوضه تصویر جزئی را ارائه نداده‌اند (Kääb et al., 2012).

۲-۴- اثرات و بازخوردهای تغییرات هیدرولوژیکی بر تغییر آب و هوا

همبستگی‌های قوی بین دما و بارش در بسیاری از نواحی مشاهده شده است که شواهدی دال بر کنترل چرخه‌ی هیدرولوژیکی توسط آنها را فراهم می‌نماید. در این بخش سعی شده است اثرات و بازخوردهای چرخه‌ی هیدرولوژیکی روی آب وهوا مورد بررسی قرار گیرد(Bates et al., 2008).

- **اثرات سطح زمین**

توازن آب سطحی، دسترسی به آب و انرژی را منعکس می‌نماید. در نواحی که دسترسی به آب بالاست، تبخیر توسط ویژگی‌های لایه مرزی جو و پوشش سطح کنترل می‌شود. تغییر در توازن آب سطحی می‌تواند روی سیستم آب و هوایی توسط چرخه‌ی مجدد آب به لایه مرزی جو، بازخورد داشته باشد. بزرگی و نشانه‌های این اثرات بسته به ویژگی‌های محیطی بسیار متغیر است که برخی مواقع در مقیاس جهانی اثرات آن ناچیز اما در مقیاس محلی اثرهای گسترده‌ای ایجاد خواهد نمود. اثرهای جنگل‌زدایی روی آب و هوا، این پیچیدگی را نشان می‌دهد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که جنگل‌زدایی منجر به کاهش دمای روز هنگام و افزایش ابر در لایه مرزی و در نتیجه افزایش آلبدو، تعرق و کاهش گرمای نهان تبخیر خواهد شد. تعدادی از مطالعات در نواحی خشک نظیر ساحل نشان داده‌اند که حضور پوشش گیاهی می‌تواند شرایط را برای رشد گیاهان از طریق چرخه‌ی مجدد رطوبت خاک به جو با ایجاد بارش فراهم نماید. بازخوردهای بین رطوبت خاک، بارش و دما در نواحی گذار بین نواحی خشک و مرطوب بسیار مهم است اما قدرت آنها متفاوت است. تغییر پوشش برف نیز از طریق تغییر در آلبدو نمایش داده خواهد شد.

- **بازخورد تغییرات در چرخه‌های اقیانوسی**

ورود آبهای شیرین به اقیانوس‌ها، شوری و چگالش آب را تغییر خواهد داد. یک مثال خاص از این مورد، گردش نصف‌النهاری در الگوی نائو است. این گردش اثر ویژه‌ای روی دما، بارش و سطح آب دریا در نواحی اطلس شمالی و اطراف آن دارد. انتظار می‌رود که گردش ضعیف در تعدیل نرخ گرمایش در عرض‌های میانی نیمکره شمالی اهمیت داشته باشد اما در برخی مطالعات نشان داده شده که این عامل باعث افزایش گرمایش در شمالگان خواهد شد.

- **انتشار متأثر از فرایندهای هیدرولوژیکی**

تغییر در چرخه هیدرولوژیکی می‌تواند روی آب و هوا از طریق تغییر در بیلان دی‌اکسید کربن، متان و... بازخورد داشته باشد. این فرایند پیچیده است به‌عنوان مثال واکنش تنفس هتروتروف خاک - منبعی از دی‌اکسید کربن- به افزایش دما به طور زیادی به مقدار رطوبت خاک بستگی دارد. مشخص شده است بازخورد مثبتی از تغییر آب و هوا روی چرخه‌ی دی‌اکسید کربن وجود دارد.

۲-۵- واداشت‌های تغییرات منابع آب شیرین

- **واداشت‌های آب و هوایی**

بارش و تبخیر بالقوه مهمترین واداشت‌های کنترل‌کننده‌ی منابع آب‌اند. بارش با بخارآب جو مرتبط است به دلیل اینکه اشباع رطوبتِ ویژه به دما وابسته است، بدین معنی که هوای گرمتر بخار آب بیشتری را نگه می‌دارد. دما طی دهه‌های اخیر افزایش یافته در حالی که رطوبت نسبی تروپوسفری و سطحی تغییرات اندکی داشته است (Jiménez et al.,2014). از دیگر واداشت‌های آب و هوایی، دی‌اکسید کربن جو است که از تعرق گیاهان و رسوب کربن سیاه و گرد و غبار - هر دو حتی در مقادیر بسیار کوچک، افزایش ذوب برف و یخ توسط کاهش بازتاب سطح را به دنبال دارند- تأثیر می‌پذیرد.

می‌توان شبیه‌سازی مدلهای آب و هوایی از چرخه‌ی آب را در طول قرن ۲۱ به شرح زیر خلاصه نمود:

۱- دمای سطحی که بر ظرفیت بخار آب جو و نسبت برف به بارش تأثیر می‌گذارد، به‌طور نایکنواختی افزایش یافته است و این افزایش روی سطوح خشکی یک و نیم برابر بیشتر از اقیانوس‌هاست.

۲- گرمایش روی شمالگان بسیار بالاست که بر وابستگی تغییرات بیلان ذوب برف و حجم یخچال‌های طبیعی به عرض جغرافیایی دلالت دارد.

۳- بارش‌ها به ندرت به‌صورت برف هستند و وسعت برف در زمان و فضا کاهش یافته است. از سویی در نواحی سرد، افزایش بارش برف در زمستان سنگین‌تر از افزایش ذوب برف در تابستان است.

۴- فصول و نواحی مرطوب، مرطوب‌تر و فصول و نواحی خشک، خشک‌تر می‌شوند و مدل‌ها تمایل به پایین تخمین زدن بارش‌ها را نشان می‌دهند.

۵- متوسط بارش‌های جهانی در جهان گرمتر، با تغییرات اساسی افزایش می‌یابد که این تغییرات شامل موارد زیر است: برخی موارد کاهش را نشان می‌دهد که از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر

متفاوت است. بارش‌ها در عرض‌های جنب حاره به‌ویژه در مدیترانه، مکزیک، آمریکای مرکزی و قسمت‌هایی از استرالیا تمایل به کاهش دارند و در برخی مکانها مانند عرض‌های بالای نیمکره شمالی، هند و قسمت‌هایی از آسیای مرکزی افزایش قابل توجهی را نشان داده‌اند. از سویی تغییرات بارشی هنگامی معنی دار است که دما حداقل به میزان ۱/۴ درجه‌ی سانتیگراد افزایش را نشان دهد.

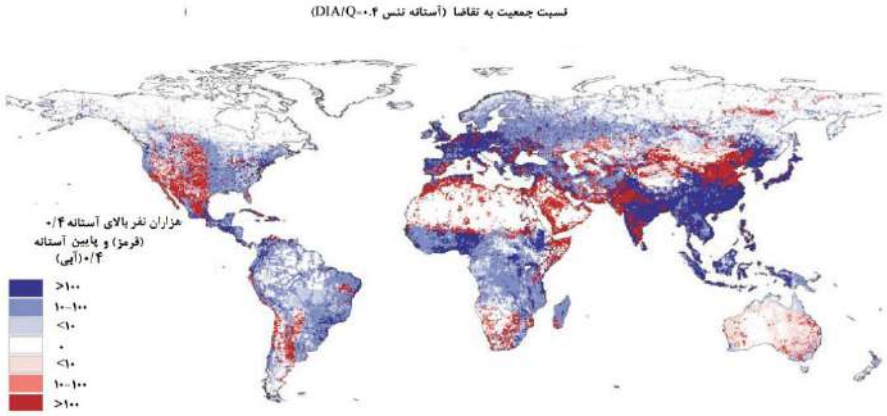
۶- تغییرات در تبخیر تعرق نیز مشابه تغییرات بارش است اما افزایش متعادل‌تری در عرض‌های بالای نیمکره‌ی شمالی مشاهده می‌گردد.

۷- همچنین سناریوها، کاهش رطوبت خاک را نیز به ویژه در اروپای جنوبی و مرکزی، جنوب غرب آمریکای شمالی، آمازون و افریقای جنوبی نشان داده‌اند.

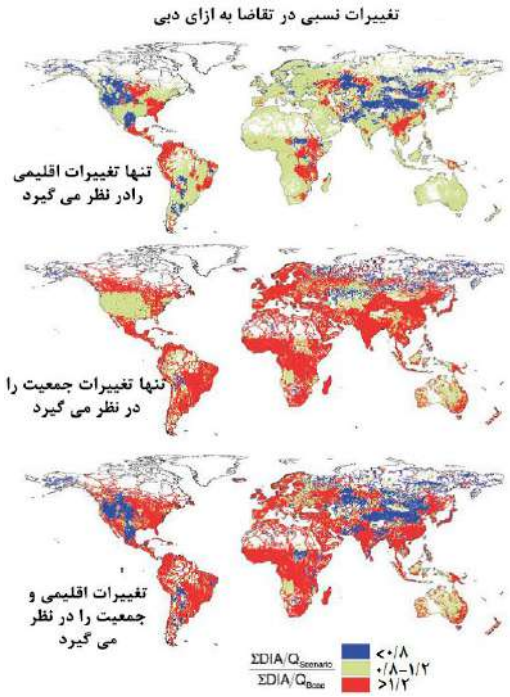
- **واداشت‌های غیر آب و هوایی**

علاوه بر تغییر آب و هوایی، آینده‌ی سیستم‌های منابع آب شیرین به‌طور زیادی از جمعیت، موارد اقتصادی- اجتماعی و تغییرات فناوری شامل تغییرات نحوه زندگی تأثیر می‌پذیرد. مسائل آینده‌ی اقتصادی-اجتماعی می‌تواند تغییر آب و هوایی مشابهی را ایجاد نماید بدین معنی که تغییرات هیدرولوژیکی پیش‌بینی‌شده‌ی معینی می‌تواند تحت تأثیر جمعیت، اقتصاد و شرایط اکولوژیکی ایجاد شود. تغییر کاربری اراضی در آینده به‌طور زیادی سیستم‌های آب شیرین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش شهرنشینی، خطر سیلاب را افزایش داده و منجر به کاهش تغذیه‌ی آبهای زیرزمینی خواهد شد. از مهمترین موارد برای سیستم‌های آب شیرین، کاربری اراضی کشاورزی در آینده است، به‌ویژه آبیاری که ۹۰ درصد مصرف آب جهان را به خود اختصاص داده است و روی دسترسی انسان و اکوسیستم‌ها به آب شیرین اثر می‌گذارد. رشد جمعیت و اقتصاد در آینده، آبیاری را نیز به‌طور ویژه‌ای افزایش خواهد داد. شکل ۲-۲۱ توزیع نسبی جمعیت را در ارتباط با تقاضای نسبی آب نمایش می‌دهد که تقاضای نسبی آب نسبت بین برداشت یا استفاده از آب به دبی تعریف می‌شود که این نقشه برداشت از بخش‌های داخلی و صنعتی[1] (DI/Q)، آبیاری کشاورزی[2] (A/Q) و ترکیب آنها (DIA^{3}/Q) در مقیاس متوسط سالانه را نمایش می‌دهد (Vörösmarty et al.,2000) . شکل ۲-۲۲ افزایش یا کاهش در $\Sigma DIA / Q$ برای هر سناریو را در ارتباط با شرایط سال ۱۹۸۵ به منظور توسعه‌ی یک نقشه‌ی جغرافیایی تغییرات تقاضای نسبی آب، نشان می‌دهد.

[1] domestic and industrial sectors
[2] irrigated agriculture
[3] domestic water demand



شکل۲-۲۱: توزیع جمعیت در سال ۱۹۸۰ در ارتباط با آستانه تنش نسبی آب DIA/Q= ۰/۴ که مشخص‌کننده کمبود آب شدید است (منبع Vörösmarty et al., 2000). این نقشه انعکاس‌دهنده متوسط رواناب جهانی (۴۰۰۰۰ کیلومتر مکعب در سال)، و مجموع برداشت (۳۱۰۰ کیلومتر مکعب در سال) است.



شکل۲-۲۲: تغییر در شاخص استفاده‌ی مجدد از آب(water reuse index (ΣDIA/Q)) که توسط مدل آب و هوایی CGCM1/WBM تحت سناریوی Sc1 (تنها با در نظر گرفتن تغییر آب و هوایی)، Sc2 (تنها با در نظر گرفتن جمعیت) و Sc3 (تأثیر هر دو مورد) پیش بینی شده است. آستانه‌ی ۲۰% ± برای نمایش نواحی با تغییرات عمده استفاده شده است(Vörösmarty et al., 2000).

۲-۶- پیش‌بینی پیامدهای جهانی تغییرات آب و هوا بر منابع آب

به‌طورکلی پیش‌بینی اثرات و آسیب‌پذیریها در مقایسه با شرایط تاریخی امکان‌پذیر است. چنین پیش‌بینی‌هایی برای درک تأثیر بشر روی طبیعت و حمایت از سازگاری با تغییر آب و هوا مفید است. از سویی به‌منظور حمایت از تصمیم‌گیری‌ها به‌منظور کاهش تغییرات، مقایسه‌ی تغییرات هیدرولوژیکی مختلف به دست آمده از سناریوهای انتشار مختلف یا مقادیر مختلف تغییرات دما بسیار مفید خواهد بود. یکی از اهداف این پیش‌بینی‌ها کمیت یابی آنچه است که ممکن است تحت شیوه‌های مدیریت منابع دروه‌ی حاضر رخ دهد و دیگری مشخص نمودن اعمالی است که نیاز است از نتایج نامطلوب آنها جلوگیری نمود. جدول ۲-۲ منافع کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را برای سیستم‌های آب شیرین نمایش می‌دهد. تا سال ۲۰۵۰ سناریوهای انتشار، مشابه هستند؛ بنابراین اثرات و منافع کاهش گازهای گلخانه‌ای به‌طور زیادی تا آخر قرن ۲۱، قابل توجه‌تر خواهد بود.

جدول۲-۲: اثرات سناریوهای مختلف انتشار بر تغییرات هیدرولوژیکی و اثرات تغییر آب و هوایی مرتبط با آب شیرین روی بشر و اکوسیستم(Jiménez et al., 2014).

نوع تغییر یا اثرات هیدرولوژیکی	توصیف شاخص	تغییر یا اثرات هیدرولوژیکی در سناریوهای مختلف در درجات مختلفی از گرمایش جهانی (GW[1]) به درجه سانتیگراد	منبع
کاهش منابع آب تجدید پذیر در مقیاس جهانی	درصد جمعیتی که از کاهش بیش از ۲۰ درصدی منابع آب در مقایسه با سال ۱۹۹۰ تأثیر پذیرفته‌اند(میانگین پنج GCM و ۱۱ مدل هیدرولوژیکی، با سناریوی جمعیت SSP2)	۲ درجه سانتیگراد بالاتر از ۱۹۹۰ (GW=۲/۷)، هر درجه از گرمایش جهانی اثر ۷ درصدی دارد	شو و همکاران(۲۰۱۳)
کاهش منابع آب زیرزمینی تجدید پذیر در مقیاس جهانی	درصد جمعیتی که از کاهش بیش از ۱۰ درصدی منابع آب زیرزمینی تا سال ۲۰۸۰ در مقایسه با سال ۱۹۸۰ تأثیر پذیرفته‌اند(میانگین پنج GCM و سناریوی جمعیت SSP2)	•RCP۲/۶: ۲۴% (۱۱-۳۹%) • RCP۴/۵: ۲۶% (۲۳-۳۲%) • RCP۶: ۳۲% (۱۸-۴۵%) • RCP۸/۵: ۳۸% (۲۷-۵۰%)	پورتمن و همکاران(۲۰۱۳)
مواجهه با سیل در مقیاس جهانی	درصد جمعیتی که به‌طور سالانه در دهه ۲۰۸۰ نسبت به سیلی با دبی سیل صد ساله در دهه ۱۹۸۰ با سیل مواجه هستند (میانگین پنج تا یازده GCM و یازده مدل هیدرولوژیکی، با جمعیتی معادل سال ۲۰۰۵)	• RCP۲/۶: ۰/۴% (۰/۲-۰/۵%) • RCP۴/۵: ۰/۶% (۰/۴-۱%) • RCP۶: ۰/۷% (۰/۳-۱/۱%) • RCP۸/۵: ۱/۲% (۰/۶-۱/۷%) • GW ۲°C: ۰/۵% (۰/۳-۰/۶%) • GW ۴°C: ۱/۲% (۰/۸-۲/۲%) • ۱۹۸۰: ۰/۱% (۰/۰۴-۰/۱۶%)	هیرابایاشی و همکاران(۲۰۱۳)

[1] Glibal Warming

نوع تغییر یا اثرات هیدرولوژیکی	توصیف شاخص	تغییر یا اثرات هیدرولوژیکی در سناریوهای مختلف در درجات مختلفی از گرمایش جهانی (GW[1]) به درجه سانتیگراد	منبع
تغییر در تقاضای آب برای آبیاری در مقیاس جهانی	تغییر در تقاضای آب برای آبیاری در دهه ۲۰۸۰ نسبت به دهه ۱۹۸۰ (سه GCM)	•RCP۲/۶: -۰/۲-۱/۶% •RCP۴/۵: ۱/۹-۲/۸% •RCP۸/۵: ۶/۷-۱۰%	هاناساکی و همکاران(۲۰۱۳)
تغییر رژیم رودخانه‌ها از حالت همیشگی به متناوب در مقیاس جهانی	درصد نواحی زمینی که در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۵۰ از تغییر رژیم تأثیر پذیرفته‌اند (دو GCM)	• SRES B2: ۵/۴-۶/۷% • SRES A2: ۶/۳-۷%	دل و مولر شمید(۲۰۱۲)
کمبود آب	درصدی از جمعیت که در سال ۲۰۸۰ در کشورهایی با منابع آبی کمتر یا مقدار برابر با ۱۲۰۰ مترمکعب در سال به ازای سرانه زندگی می‌کنند(میانگین ۱۷ GCM و جمعیتی معادل سال ۲۰۰۰)	تفاوت معنی داری بین سناریوی A2 و B1 وجود نداشت	گرتن و همکاران(۲۰۱۱)
کمبود آب شیرین	درصدی از جمعت که در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ در حوضه‌های رودخانه‌ای با کمبود آب شیرین زندگی خواهند نمود (کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب آب به ازای سرانه)(میانگین نوزده GCM و جمعیت معادل سال ۲۰۰۰)	•GW ۲°C: ۸% •GW ۳/۵°C: ۱۱% •GW ۵°C: ۱۳%	گرتن و همکاران(۲۰۱۳)
مواجهه با کمبود آب	درصدی از جمعیت در حوضه‌های تحت تنش آب(کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب آب به ازای سرانه) در مواجهه با افزایش تنش(یک GCM)	برای سناریوهای انتشار با ۲ درجه سانتیگراد، در مقایسه با سناریوی A1: الف: کاهش اثرات به میزان ۵ تا ۸ درصد در ۲۰۵۰ ب: کاهش اثرات به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد در ۲۱۰۰	آرنل و همکاران(۲۰۱۳)
تغییر در تغذیه آبهای زیرزمینی در کل استرالیا	احتمال کاهش تغذیه آبهای زیرزمینی تا ۵۰ درصد تا سال ۲۰۵۰ نسبت به دهه ۱۹۹۰(شانزده GCM)	• GW ۱/۴°C: در همه جا نزدیک به صفر است • GW ۲/۸°C: در غرب استرالیا ۰/۲ تا ۰/۶ و در مرکز استرالیا ۰/۲ تا ۰/۳ و در بقیه نقاط نزدیک به یک است.	کراسبی و همکاران(۲۰۱۳)

نوع تغییر یا اثرات هیدرولوژیکی	توصیف شاخص	تغییر یا اثرات هیدرولوژیکی در سناریوهای مختلف در درجات مختلفی از گرمایش جهانی (GW[1]) به درجه سانتیگراد	منبع
تغییر در تغذیه آبهای زیرزمینی در آنگلیای شرقی در بریتانیا	درصد تغییرات بین دوره پایه و آینده تا سال ۲۰۵۰(یک GCM)	• SRES B1: -۲۲% • SRES A1f: -۲۶%	هولمن و همکاران(۲۰۰۹)
تغییر در تغذیه آب رودخانه‌ها و آبهای زیرزمینی در دو ناحیه از دانمارک	تغییر بین دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۸۰ (یک GCM)	تفاوت بین سناریوی A2 و B2 بسیار کم بود	ون رسمالن و همکاران(۲۰۰۷)
تغییر رژیم جریانهای رودخانه‌ای در اوگاندا	تغییر از حالت دو مدی به تک مدی(یکGCM)	این رخداد در گرمایش جهانی بیش از ۴/۳ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد.	کینگستون و تیلور (۲۰۱۰)
خشکسالی کشاورزی در فرانسه	میانگین مدت، نواحی دربرگیرنده و شدت رخداد خشکسالیهای کوتاه مدت و بلندمدت تا میانه‌ی قرن ۲۱(یک GCM)	افزایش اندکی تحت سناریوی B1	ویدال و همکاران(۲۰۱۲)
شور شدن آبهای شیرین دریاچه‌ها به دلیل نفوذ آب دریا	الف- احتمال روزانه‌ی تجاوز از حداکثر غلظت مجاز[1] (MAC) کلراید (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) ب-تجاوز از مدت زمان حداکثر غلظت مجاز کلراید تا سال ۲۰۵۰ (یک مدل گردش عمومی جو)	-دوره پایه(۲۰۰۷-۱۹۹۷) با GW برابر با ۰/۸ درجه سانتیگراد: الف:۲/۵ درصد، ب:۱۰۳ روز - GW برابر با ۱/۸ درجه سانتیگراد: تغییری در گردش جو ایجاد نشد، الف:۳/۱ درصد، ب:۱۲۴ روز -GW برابر با ۲/۸ درجه سانتیگراد: تغییر در گردش جو ایجاد شد، الف: ۱۴/۳درصد، ب:۱۷۸ روز	بونته و رولسمن(۲۰۱۰)
کاهش تولید نیروگاه‌ها در دریاچه ناصر، مصر	کاهش میانگین سالانه‌ی تولید برق‌آبی تا دهه ۲۰۸۰ در مقایسه با تولید برق‌آبی در دوره‌ی ۱۹۹۹-۱۹۵۰ (یازده GCM)	• SRES B1: ۸% • SRES A2: ۷%	بینه و همکاران(۲۰۱۰)

[1] maximum allowable concentration

نوع تغییر یا اثرات هیدرولوژیکی	توصیف شاخص	تغییر یا اثرات هیدرولوژیکی در سناریوهای مختلف در درجات مختلفی از گرمایش جهانی (GW[1]) به درجه سانتیگراد	منبع
کاهش ظرفیت قابل‌استفاده از نیروگاه‌های حرارتی در اروپا و ایالات‌متحده به علت کم بودن جریان رودخانه و دمای بیش از حد آب	تعداد روز در سال با کاهش ظرفیت بیش از ۵۰ درصد (برای نیروگاه‌های موجود) (۲۰۶۰-۲۰۳۰، سه GCM)	•بدون تغییر آب و هوایی :۱۶ روز • SRES B1: ۲۲ • SRES A2: ۲۴	ون ولت و همکاران(۲۰۱۲)
خسارات سیل در اروپا	الف-جمعیت سالانه‌ی در معرض این رخداد تا سال ۲۰۸۰(دو GCM) ب-خسارات سالانه در سال ۲۰۰۶	• SRES B2: الف:۴۴۰۰۰۰ تا ۴۷۰۰۰۰ نفر ب: ۱۴ تا ۱۵ بیلیون یورو در سال • SRES A2 الف- الف: ۵۱۰۰۰۰ تا ۵۹۰۰۰۰ نفر ب::۱۸ تا ۲۱ میلیون یورو **•دوره پایه:** الف: ۲۰۰۰۰۰ نفر ب- ۶/۴ بیلیون یورو در سال	فین و همکاران(۲۰۱۲)

- **دسترسی به منابع آب**

حدود ۸۰ درصد جمعیت جهان از تهدید جدی منابع آب رنج می‌برند که این مورد توسط شاخص‌هایی نظیر دسترسی به آب، تقاضای آب و آلودگی اندازه‌گیری شده است(Vörösmarty et al., 2010). تغییر آب و هوا در حقیقت هشداری به دسترسی به منابع آب و تهدیدی برای امنیت آب است که توسط یونسکو در سال ۲۰۱۱ تعریف شده است. تاکنون تحلیل‌های جهانی تنها با قابلیت دسترسی به منابع آب صورت گرفته است درصورتیکه باید از شاخص‌های چند بعدی (Vörösmarty et al., 2010) استفاده گردد. همه شبیه‌سازی‌های آینده از جریانهای رودخانه‌ای و آبهای زیرزمینی با استفاده از مدل‌های جهانی هیدرولوژیکی صورت گرفته است. برخی قابلیت دسترسی آینده را بر اساس رواناب به ازای سرانه بررسی نموده‌اند. در حالی که برخی دیگر برداشت آینده بشر را پیش‌بینی نموده‌اند و مشخص کرده‌اند دسترسی توسط نسبت برداشت به دسترسی از رواناب یا دبی تعریف می‌شود. یک شاخص آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی تولید شد که کاهش آینده‌ی منابع تجدید پذیر آبهای زیرزمینی را با کمبود آبهای زیرزمینی و شاخص توسعه انسانی ترکیب می‌کند، (Döll,2009) (شکل ۲-۲۳) و همچنین تنش آب در ارتباط با کل منابع آب در شکل‌های ۲-۲۴ نمایش داده شده است. چند نتیجه‌گیری کلی از این مجموعه مطالعات وجود دارد:

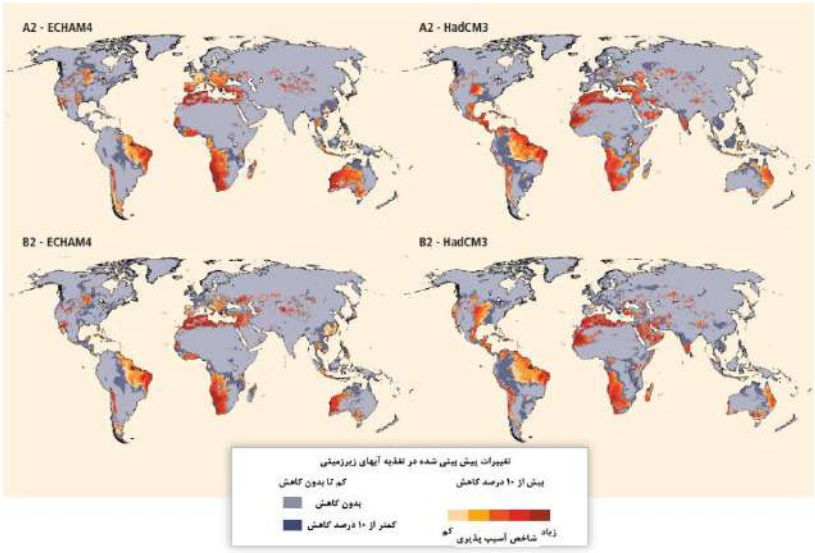
۱- بین مدل‌ها از لحاظ نمایش توزیع فضایی اثرات تغییر آب و هوا بر قابلیت دسترسی منابع و با الگوی تغییرات بارشی پیش‌بینی شده، تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. از لحاظ کاهش دسترسی در اطراف مدیترانه و قسمت‌هایی از آفریقای جنوبی و همچنین تغییرات بیشتر برای آسیای شرقی و جنوبی، بین مدل‌ها ثبات وجود دارد.

۲- نواحی با تنش‌های آبی، افزایش رواناب را در آینده تجربه خواهند نمود و در معرض کمتری از تنش‌های منابع آب قرار خواهند گرفت.

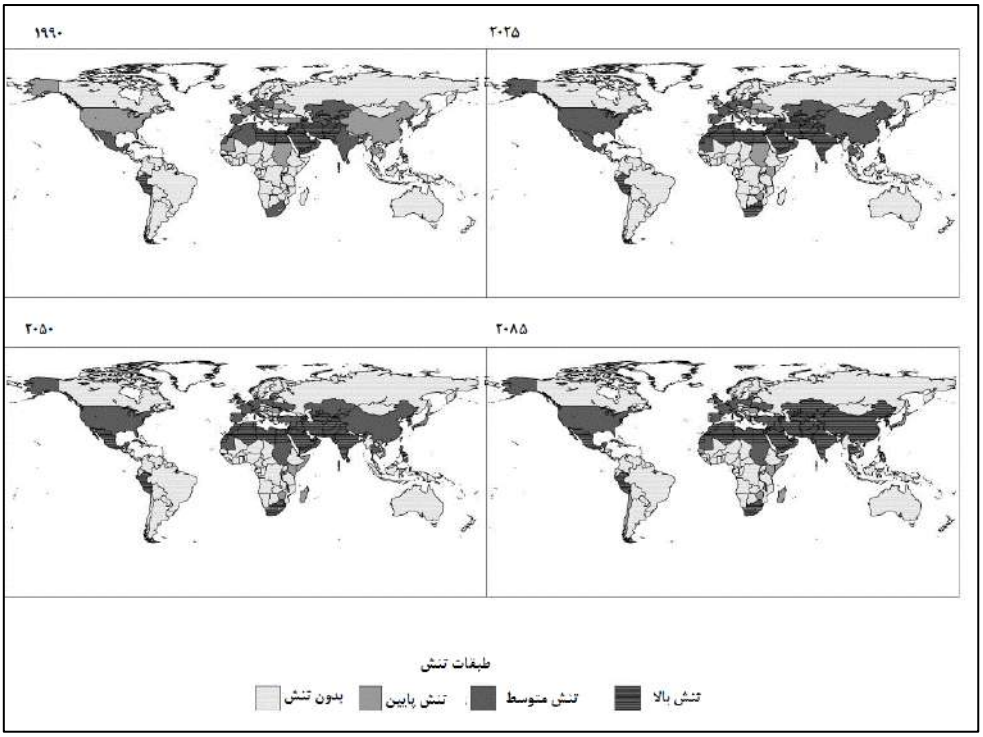
۳- در طول چند دهه‌ی آینده و برای افزایش دمای میانگین جهانی کمتر از حدود ۲ درجه سانتیگراد بالاتر از دوره ماقبل صنعتی، به‌طور کلی تغییرات جمعیت اثر بیشتری بر تغییرات دسترسی منابع آب نسبت به تغییر آب و هوا می‌گذارد.

۴- برآورد دسترسی آب در آینده نه تنها به آب و هوا، پیش‌بینی جمعیت و مفروضات جمعیت حساس است، بلکه همچنین به انتخاب مدل هیدرولوژیکی و اندازه‌گیری‌های تنش و کمبود آب نیز حساس است.

تحت تغییر آب و هوا، عرضه‌ی آب به دلیل افزایش تغییرپذیری جریانهای رودخانه‌ای کاهش می‌یابد که این مورد به دلیل افزایش تغییرات بارش و کاهش برف و ذخیره‌سازی یخ می‌باشد. تحت این شرایط ممکن است استفاده از ظرفیت ذخیره‌سازی از آبهای زیرزمینی و افزایش برداشت آبهای زیرزمینی مفید باشد.



شکل۲-۲۳: آسیب‌پذیری انسان به تغییر آب و هوا استنتاج شده از کاهش منابع آبهای زیرزمینی تا سال ۲۰۵۰. انتشارهای پایین (سناریوی B2) و انتشارهای بالا(سناریوی A2) توسط دو مدل آب وهوایی تفسیر شده است. این شاخص بر اساس نواحی تعریف شده است که پیش‌بینی شده در این نواحی، آبهای زیرزمینی نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ حداقل ۱۰ درصد کاهش یابد (Döll, 2009).



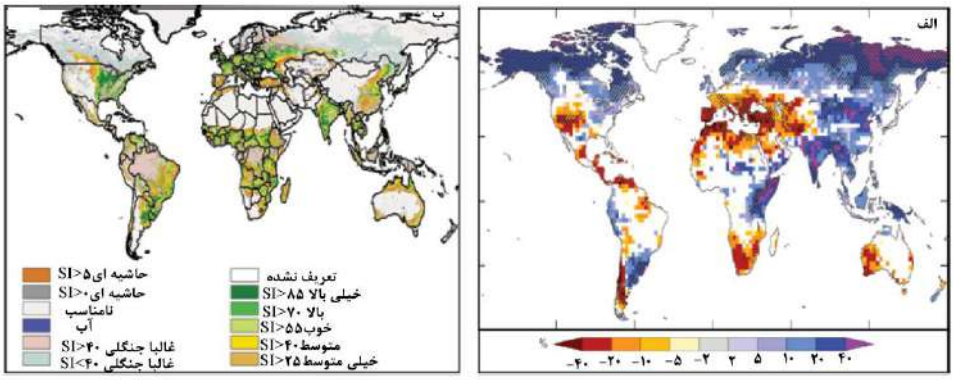
شکل۲-۲۴: توزیع کشورها را در ۴ طبقه بر اساس تنش منابع آب طی سال‌های مختلف. کشورهای تنش دار عمدتاً در آسیای جنوبی، آفریقای شمالی و جنوبی، اطراف مدیترانه و خاورمیانه واقع شده‌اند (Arnell, 1999).

- **استفاده از آب**

  - **کشاورزی**

تقاضای آب و استفاده برای خوراک و تولید خوراک دام نه تنها توسط مدیریت زراعت و بازدهی آن اداره می‌شود، بلکه به وسیله‌ی تعادل بین کمبود رطوبت هوا و عرضه‌ی آب خاک نیز مدیریت می‌شود؛ بنابراین، تغییر در آب و هوا (بارش، دما و تابش) بر تقاضای آب زراعی در هر دو سیستم آبی و دیم تأثیر خواهد گذاشت. با استفاده از شبیه‌سازی از مدل و سناریوی آب و هوایی، تغییر آب و هوا تا سال ۲۰۸۰، هشدار جدی برای تقاضای آب جهانی آبیاری محصولات عمده در نواحی که در حال حاضر به آبیاری مجهزند، محسوب می‌شود. از سویی تقاضای آبیاری در بسیاری از نواحی افزایش خواهد یافت (تا حدود ۴۰ درصد در اروپا، ایالات‌متحده و قسمت‌هایی از آسیا)؛ اما برخی از نواحی همانند هند، پاکستان و جنوب شرق چین به دلیل بارش بیشتر و آن هم تحت تعدادی از سناریوها ممکن است کاهش اندکی در تقاضای آب را تجربه کنند. بر اساس پیش‌بینی‌های دو مدل آب و هوایی و دو سناریوی انتشار، کاهش جهانی اندکی در کمبود آب زراعی هم در نواحی دیمی و هم آبی تا سال

۲۰۸۰ مشاهده شده است (Zhang and Cai, 2013). در شرایط مطلوب نیز تحت همه‌ی سناریوها افزایش تقاضای آب تا بیش از ۲۰ درصد مشاهده شده است. کشاورزی دیمی به شدت به افزایش تغییرات بارش آسیب‌پذیر خواهد شد. ممکن است با تغییر آب و هوا و تغییرپذیری آن، تفاوت در محصولات و تغییرپذیری آنها بین کشت دیمی و آبی افزایش یابد. شکل ۲-۲۵ درصد تغییرات پیش بینی شده متوسط رواناب و مکانهای مناسب کشت دیم را نشان می‌دهد.



شکل۲-۲۵: الف- درصد تغییرات پیش بینی شده متوسط سالانه رواناب بین دوره پایه ۱۹۹۹-۱۹۸۰ و دوره آینده ۲۰۹۹-۲۰۹۰، ب-مکانهای مناسب کشت دیم با استفاده از شاخص تناسب[1] (Bates et al., 2008)

- **تولید انرژی**

نیروگاه‌های برق‌آبی و حرارتی و آبیاری محصولات انرژی زیستی، به مقدار زیادی آب نیاز دارد. تغییر آب و هوا، تولید برق‌آبی را از طریق تغییر در میانگین سالانه‌ی جریانها، تغییر جریان فصلی و افزایش تغییرپذیری جریانهای رودخانه‌ای (شامل سیل‌ها و خشکسالی‌ها) و همچنین با افزایش تبخیر از مخازن و تغییرات در شار رسوبات، تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین، تأثیر تغییر آب و هوایی در نیروگاه‌های آبی به تغییر محلی این ویژگی‌های هیدرولوژیکی بستگی دارد و همچنین به نوع نیروگاه آبی و تقاضای انرژی(فصلی) نیز وابسته است که به خودی خود می‌تواند تحت تأثیر تغییر آب و هوا قرار گیرد. نیروگاه‌های واقع در رودخانه، مستعد تغییرپذیری بیشتری از جریانات نسبت به نیروگاه‌های واقع در سدها هستند. پیش‌بینی تولید نیروی برق آینده، یکی از موضوعات عدم قطعیت‌های پیش‌بینی جریانها و بارش است. در حوضه‌های تحت سلطه‌ی برف، افزایش دبی در فصل زمستان، سیل‌های زودرس و کوچک بهاره و کاهش دبی در تابستان، مشاهده شده است. در مناطق با تقاضای بالای برق برای گرمایش، شباهت هیدروگراف سالانه به تغییرات فصلی تقاضای برق سبب کاهش ظرفیت مورد نیاز مخزن و فراهم کردن فرصت برای سد سازی و نیروگاه‌های برق به نفع اکوسیستم رودخانه می‌شود.

[1] suitability index

از سویی، در مناطق با تقاضای بالای برق برای سرمایش در تابستان، این تغییر فصلی جریان، مشکلات زیادی به بار می‌آورد. به طور کلی، تغییر آب و هوایی مستلزم انطباق با قوانین عملی است که ممکن است توسط ظرفیت مخازن محدود شود.

- **خدمات شهری**

تحت تغییر آب و هوا، بهره‌برداری از آب با موارد زیر مواجه می‌شود: (Bates et al., 2008)

۱-دمای بالای محیط، باعث کاهش برف و حجم یخ و افزایش نرخ تبخیر از دریاچه‌ها، مخازن و سفره‌های آب می‌شود. این تغییرات ذخیره‌سازی طبیعی آب را کاهش می‌دهد و از این رو، تنها با افزایش بارش، آب در دسترس خواهد بود. علاوه بر این، دمای بالای محیط تقاضای آب را افزایش می‌دهد و همراه آن رقابت برای منابع بیشتر می‌شود.

۲-تغییر در زمان بندی جریان رودخانه و خشکسالی‌های مکرر یا حدی که نیاز به ذخیره‌سازی آب مصنوعی را افزایش می‌دهد.

۳-درجه حرارت بالاتر آب، جلبک‌ها را افزایش می‌دهد و افزایش خطرات ناشی از cyanotoxins و مواد آلی طبیعی در منابع آب را افزایش می‌دهد که نیاز به بهبود آب آشامیدنی را بالا می‌برد، از جهت مثبت، زمانی که آب گرمتر است، آب بیولوژیکی و پساب، کارآمدتر است.

۴-تحت شرایط خشک‌تر، غلظت آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. حتی زمانی که آلودگی طبیعی در کشورهایی همانند هند و بنگلادش، شمالی و امریکای لاتین و آفریقا وجود دارد، این مورد به‌ویژه برای منابع آبهای زیرزمینی که در حال حاضر از کیفیت پایین برخوردارند، از نگرانی‌های اصلی می‌باشد و تحت این شرایط موادی مانند آرسنیک، آهن، منگنز و فلوراید، مشکل بزرگی محسوب می‌شوند.

۵-افزایش رواناب توفان، رسوباتی از عوامل بیماری‌زا، مواد غذایی و رسوب معلق را افزایش می‌دهد.

۶-افزایش سطح آب دریا، باعث افزایش شوری آبخوان ساحلی به‌ویژه در نواحی که انتظار می‌رود دبی آبهای زیرزمینی کاهش یابد می‌شود.

تغییر آب و هوا به‌طور غیرمستقیم بر کیفیت آب نیز تأثیر می‌گذارد. برای مثال، بسیاری از شهرها در حال حاضر، به آب حاصل از حوضه‌های جنگلی تکیه دارند که نیاز به بهبود این آبها بسیار اندک است. فراوانی آتش‌سوزی‌های حدی جنگل می‌تواند به طور جدی کیفیت آب را کاهش دهد.

فناوری‌های بهداشت در انعطاف‌پذیری به اثرات تغییر آب و هوا تفاوت‌هایی دارند. سه شرایط آب و هوایی برای فاضلاب شهری مورد توجه بوده است:

۱-جو مرطوب: بارانهای حدی‌تر به معنای افزایش مقدار آب و فاضلاب در سیستم‌های ترکیبی برای دوره‌های کوتاه‌مدت است، طرح‌های کنونی بر اساس توفان طراحی می‌شوند که با استفاده از داده‌های تاریخی بارش تحلیل می‌شوند؛ اما باید راهبردهای جدیدی برای سازگاری و کاهش سیلآبهای شهری

توسعه داده شوند که نه تنها بر تغییر آب و هوا تکیه داشته باشد بلکه طراحی شهری، کاربری اراضی، اثر جزیره حرارتی شهر و توپوگرافی را نیز در نظر بگیرد.

۲-جو خشک: هنگامی‌که خاک خشک است کوچک شده و ترک می‌خورد که باعث ترک خوردن شاهراه‌ها و فاضلآبها شده و آنها را در برابر نفوذ و خروج آب آسیب‌پذیر می‌نماید. اثر ترکیبی دماهای بالا، افزایش غلظت آلاینده‌ها، زمان طولانی‌ترِ نگهداری آب در آبراهه‌ها و رسوب خاک منجر به افزایش خوردگی فاضلاب، طول عمر کوتاه‌تر فاضلاب، آلودگی آب آشامیدنی و هزینه‌های بالای نگهداری می‌شود.

۳-افزایش آب دریا: نفوذ آب شور به فاضلاب مستلزم فرآیندهایی است که بتواند به فاضلاب شورتر رسیدگی کند.

- **اکوسیستم آبهای شیرین**

اکوسیستم‌های آب شیرین از موجودات زنده (حیوانات، گیاهان و موجودات زنده) و دیگر محیط‌های غیرزنده در آبهای سطحی با جریان آهسته و روان مانند دریاچه‌ها، مخازنی که بشر ساخته و یا تالابها؛ و آبهای سطحی با جریان سریع مانند رودخانه‌ها و نهرها؛ و آبهای زیرزمینی تشکیل شده است. همه‌ی آنها به شدت بیشتر از فعالیت‌های انسانی نسبت به اکوسیستم‌های دریایی و زمینی، آسیب دیده‌اند. بین سال‌های ۱۹۷۰ و ۲۰۰۰، جمعیت گونه‌های آب شیرین موجود به‌طور متوسط با توجه به شاخص سیاره‌ی زنده[1] تا ۵۰ درصد کاهش یافت که این در مقایسه با مقدار ۳۰ درصد برای نواحی دریایی و همچنین برای گونه‌های زمینی (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) بسیار زیاد است. تغییر آب و هوا به‌عنوان یک عامل تنش‌زا برای اکوسیستم‌های آب شیرین، نه تنها از طریق افزایش درجه حرارت آب، مهم است بلکه با تغییر رژیم رودخانه، سطوح آب رودخانه و توسعه و مدت زمان طغیان رود نیز تغییراتی را ایجاد نموده است (Box CC-RF به نقل از Jiménez et al., 2014). تالآبها در محیط‌های خشک، نقاط داغ تنوع زیستی و بهره‌وری هستند و اگر رواناب کاهش یابد و تالاب خشک شود، موجودات آنها در معرض خطر نابودی هستند.

۲-۷- روش سازگاری برای کاهش اثرهای تغییرات آب و هوا بر منابع آب

در رویارویی با تغییرات هیدرولوژیکی و اثرات آن، آسیب‌پذیری و خطرات تغییر آب و هوا، نیاز به سازگاری افزایش می‌یابد. مدیریت جامع منابع آب همچنان به صورت یک ابزار امیدوارکننده برای سازگاری با تغییر آب و هوا استفاده می‌شود. بخشی از روش‌های سازگاری در جدول ۲-۳ ارائه شده است. برخی از اقدامات سازگاری مهم که در نقاط دنیا مطرح شده است نیز در جدول ۲-۴ مشاهده می‌شود. در اتخاذ شرایط سازگاری یکی از بحث‌های مهم محاسبه هزینه سازگاری است. محاسبه‌ی

[1] Living Planet Index

هزینه‌های سازگاری در بخش منابع آب دشوار و با عدم قطعیت همراه است. به‌طور جهانی، تا سال ۲۰۳۰ و در بیش از ۲۰۰ کشور، برای محافظت از سرویس‌های آب، هزینه‌های سازگاری برای زیرساخت‌ها ۵۳۱ میلیارد دلار تخمین زده شده است(Kirshen, 2007).

جدول۲-۳: طبقات گزینه‌های سازگاری با تغییر آب و هوا به منظور مدیریت منابع آب شیرین (Jiménez et al., 2014)

طبقه	گزینه
سازمانی	مدیریت یکپارچه منابع آب، از جمله مدیریت یکپارچه زمین با توجه به تأثیرات منفی و مثبت تغییر آب و هوایی
	بهبود همکاری در صرفه‌جویی مصرف آب و انرژی و استفاده‌ی کارا
	شناسایی «سیاست‌های موفق» و ایجاد مجموعه‌ای از راه‌حل‌های مناسب برای سازگاری
	افزایش انعطاف‌پذیری با شکل‌گیری کارگروه در زمینه شبکه بهره‌برداری از آب
	ظرفیت‌سازی
	بهبود و به اشتراک‌گذاری اطلاعات
	سازگاری با چارچوب قانونی و ابزارسازی آن برای شناسایی تأثیرات تغییر آب و هوایی
	توسعه‌ی ابزارهای مالی(اعتبار، یارانه و...)
طراحی و اجرا	طراحی و اعمال ابزارهای تصمیم‌گیری که عدم اطمینان را در نظر می‌گیرد و اهداف متعدد را برآورده می‌کند
	معیارهای طراحی زیرساخت‌های آب برای بهینه‌سازی انعطاف‌پذیری، افزونگی و استحکام مورد بررسی قرار گیرد
	اطمینان حاصل کردن از اینکه برنامه‌ها و خدمات نیرومند، سازگار و مدل شده، قابل ارزش، قابل نگهداری و دارای مزایای بلندمدت، به‌ویژه برای کشورهای کم‌درآمد هستند یا خیر
	بهره‌برداری از زیرساخت‌های آب به منظور افزایش مقاومت در برابر تغییر آب و هوایی برای همه‌ی کاربران و بخش‌ها
	چه وقت و در کجا منابع آب افزایش می‌یابد، ارتقای کارکرد سدها به منظور اینکه اکوسیستم‌های آب شیرین بتوانند از آن بهره‌مند شوند
	استفاده از اقدامات سازگاری سخت و نرم
	انجام برنامه‌ها برای حفاظت از کمیت و کیفیت منابع آب
	افزایش قابلیت انعطاف‌پذیری در برابر تغییر آب و هوایی با تنوع منابع آب و بهبود مدیریت منابع
	کاهش تقاضا با کنترل نشت، اجرای برنامه‌های ذخیره‌سازی آب، استفاده مجدد از آب
	بهبود طراحی و بهره‌برداری فاضلاب، بهداشت و زیرساخت‌های تصفیه فاضلاب برای مقابله با تغییرات کمیت و کیفیت آب
	بهداشت عمومی را با فنّاوری محلی سازگار نموده و ملزومات دفع مناسب و استفاده مجدد از آب را فراهم کنید

طبقه	گزینه
کاهش اثرات و فجایع طبیعی	پیاده‌سازی پایش و سیستم‌های هشدار اولیه
	برنامه‌های بررسی احتمال وقوع را توسعه دهید
	بهبود دفاع و انتخاب مکان مناسب برای زیرساخت‌های کلیدی که در معرض خطر قرار دارند
	سکونتگاههای شهری و روستایی که بتوانند در برابر خطر انعطاف‌پذیر باشند، توسعه داده شود
	از منابع فضایی برای کاهش اثرات خشکسالی و آسیب‌پذیری قابلیت دسترسی آب بهره گرفته شود
	کاهش تقاضای آب و استفاده بهینه از آب توسط همه کاربران را ارتقاء دهید
	تغییر در محصولات مناسب‌تر (مقاوم در برابر خشکسالی، مقاوم به نمک، با تقاضای کم آب)
آبیاری در کشاورزی	بهبود کارایی آبیاری و کاهش تقاضا برای آب آبیاری
	استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات و استفاده از خاک برای تجزیه کربن
استفاده صنعتی	هنگام انتخاب منابع جایگزین انرژی، نیاز به آب را ارزیابی کنید
	انتقال صنایع و محصولات آب بَر به مناطق غنی از آب
	پیاده‌سازی گواهینامه‌های بهره‌وری آب صنعتی

جدول۲-۴: برخی از مثال‌های سازگاری در عمل (Bates et al.,2008).

منطقه	سنجش سازگاری
آفریقا	• پیش‌بینی‌های فصلی، تولیدات آنها، توزیع، ادراک و ادغام سیستم‌های حمایتیِ تصمیم سازی مدل مبنا • افزایش انعطاف‌پذیری دوره‌های آتی نسبت به تنش خشکسالی به‌وسیله بهبود در سیستم‌های دیم کنونی از طریق بهبود در زیرساخت‌ها شامل: سیستم‌های جمع‌آوری آب باران؛ ساخت سد؛ عملیات کشاورزی و حفاظتی آب، آبیاری قطره‌ای؛ توسعه ارقام زودرس و مقاوم به خشکسالی، محصولات جایگزین و ارقام دورگه[1]
آسیا	• بهبود زیرساخت کشاورزی شامل: • تأمین آبی مراتع • سیستم‌های آبیاری و کارایی آنها • استفاده/ذخیره آب باران و برف • سیستم‌های تبادل اطلاعاتی در زمینه‌ی فنّاوری‌های نوین در سطح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی • دسترسی گله‌داران، ماهیگیران و کشاورزان به پیش‌بینی‌های هواشناسی زمان بندی شده (بارش و دما) • بازیافت و استفاده مجدد از آبهای زائد مانند سنگاپور • کاهش اتلاف آب و استفاده از رویکردهای جهت‌دار بازار به منظور استفاده از آب پر اتلاف[2]

[1] Hybrid
[2] wasteful

منطقه	سنجش سازگاری
استرالیا و نیوزیلند	• national water initiative (ابتکار ملی آب) • به کارگیری گیاه برای تأمین آب بازیافتی • کاهش نشت کانال و اقدامات محافظتی • سیستم لوله‌کشی به جای کانال‌های آبیاری باز • بهبود کارآمدی و کیفیت استفاده از آب • آمادگی در برابر خشکسالی، قیمت‌گذاری جدید آب • نصب تانکرهای آب باران • نمک‌زدایی آب دریا
اروپا	• راهبرد تقاضامحور مانند حفاظت آب خانگی، صنعتی و کشاورزی، تعمیر تأسیسات دارای نشت و مخازن آب آبیاری در مناطق مرتفع و آب‌بند در زمین‌های پست • توسعه‌ی دشت‌های سیلابی، مخازن سیل غیرمنتظره، مناطق محافظت‌شده برای آب سیل و سیستم‌های هشدار سیل خصوصاً در سیل‌های ناگهانی • اقدامات تأمین‌کننده مانند محدود کردن رودخانه‌ها به‌منظور تشکیل مخزن حوضه، استفاده مجدد از آب تلف شده و سیستم‌های نمک‌زدایی و قیمت‌گذاری آب • ادغام راهبردهای سطوح منطقه‌ای و سطوح حوضه‌ای برای انطباق با تغییر آب و هوایی در برنامه‌های مدیریت یکپارچه آب
آمریکای لاتین	• سیستم‌های مخازن آب باران و ذخیره‌سازی • برنامه‌های «خودسازمانی» برای بهبود سیستم‌های تأمین آب در جوامع خیلی فقیر • روش‌های حفاظتی آب، استفاده مجدد از آب، بازیافت آب به‌وسیله اصلاح فرآیندهای صنعتی و بهینه‌سازی استفاده از آب
آمریکای شمالی	• حفاظت بهبودیافته آب و خاک‌ورزی حفاظتی • سرمایه‌گذاری روی سیستم‌های حفاظت آب و تأمین آب جدید و امکانات توزیعی • تغییر سیاست بیمه ملی سیل ایالات‌متحده به منظور کاهش خطر ادعاهای متعدد در خصوص سیل • خانوارهای با دو مورد ادعای مربوط به سیل باید سطح سیلاب ۱۰۰ ساله را به اندازه ۲/۵ سانتی‌متر افزایش داده و اینکه به مکان دیگری نقل مکان کنند • تخلیه سیستم‌های زهکشی و جایگزینی سیستم‌های فاضلاب اصلی برای رویارویی با ۵ سال شرایط سیلاب • هدایت رواناب سقف به چمن به منظور افزایش نفوذ و افزایش ذخیره چالاب و نگهداشت خیابانی

منطقه	سنجش سازگاری
مناطق قطبی	• یک راهبرد تطبیقی موفق که اخیراً برای مقابله با اثرات خشک شدن حوضچه‌های دلتا استفاده شده شامل مدیریت خروج آب از مخازن به منظور افزایش احتمال شکل‌گیری یخبندان و سیلآبهای مرتبط می‌باشد • تنظیم جریان برای تولید برق‌آبی، راهبردهای برداشت و روش‌های دسترسی به آب آشامیدنی • راهبردهای مقابله با خطرات افزایش/کاهش آب شیرین (ساختارهای حفاظتی به منظور کاهش خطر سیل یا افزایش سیل برای سیستم‌های آبی)
جزایر کوچک	• گیاهان نمک زدا • مخازن ذخیره‌سازی بزرگ و برداشت بهبودیافته‌ی آب • حفاظت از آب زیرزمینی، افزایش برداشت آب باران و ظرفیت ذخیره‌سازی، استفاده از تقطیر خورشیدی، مدیریت آب توفان و تخصیص نواحی تغذیه آبهای زیرزمینی در جزایر

۲-۸- روش‌های کاهش اثر تغییر آب و هوا بر منابع آب

برخی از تصمیم‌گیری‌های مدیریت آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مدیریت تقاضای آب، تأثیر قابل توجهی در مصرف انرژی دارد به دلیل اینکه به انرژی مورد نیاز برای پمپ و بهبود آب فاضلاب نیاز است. به عنوان مثال، در ژاپن در سال ۲۰۰۸، عرضه و تصفیه‌ی آب حدود ۱/۴ درصد از کل برق را مصرف کرده است (MLIT, 2011). در ایالات‌متحده آمریکا، کل مصرف انرژی مربوط به آب در سال ۲۰۰۵ معادل ۱۳ درصد از کل تولید برق بود که ۷۰ درصد برای گرمایش آب، ۱۴ درصد برای بهبود فاضلاب و تنها ۵ درصد برای پمپ آب استفاده شده است (Griffiths-Sattenspiel and Wilson, 2009). در چین که در آن کشاورزی مسئول برداشت ۶۲ درصد از آب است، در سال ۲۰۰۶، پمپاژ آبهای زیرزمینی برای آبیاری، ۰/۶ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است(Wang et al., 2012). کاهش تغییر آب و هوا از طریق حفاظت از تالآبها، برای کیفیت آب و تنوع زیستی مفید خواهد بود. آبیاری می‌تواند ذخیره‌سازی CO_2 را در خاک با کاهش تنش آب و افزایش تولید زیست‌توده افزایش دهد. مدیریت آب در شالیزارها می‌تواند انتشار متان (CH_4) را کاهش دهد. اگر شالیزارهای برنج حداقل یک بار در طول فصل رشد، زهکشی شوند می‌تواند متان را به مقدار ۴/۱ Tg[1] در سال کاهش دهد و انتشار دی‌اکسید نیتروژن افزایش قابل ملاحظه‌ای نخواهد داشت (Yan et al., 2009).

[1] Teragram= 10^{12} =1 Tg=1 million tons

۲-۹- اثر تغییر آب و هوا بر ویژگی‌های دما و بارش‌های کشور

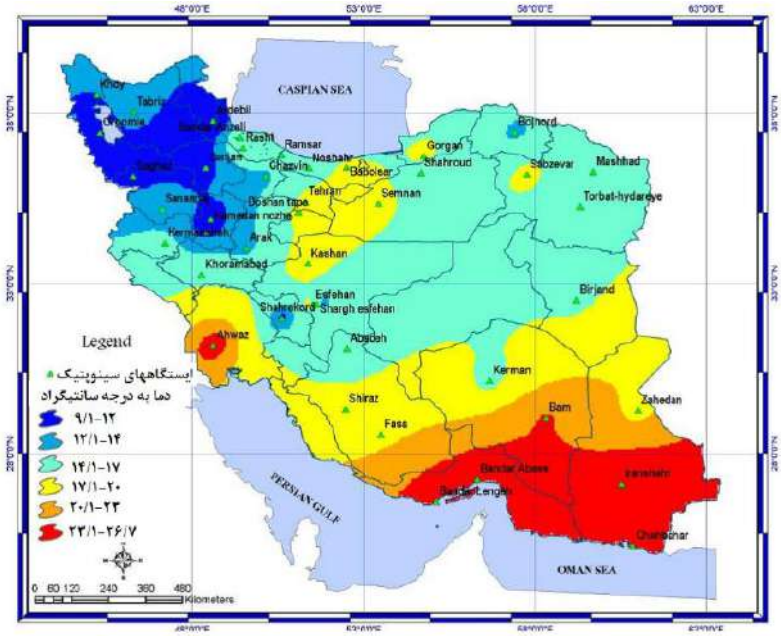
آب و هوای ایران تحت تأثیر عوامل محلی آب و هوایی مانند ناهمواری، عرض جغرافیایی و دوری نزدیکی به دریا قرار دارد و در عین حال عوامل بیرونی مانند منطقه یا سامانه پرفشار سیبری و اقیانوس هند و گردش عمومی هوا نیز در تغییرات عناصر آب هوایی تأثیرگذارند (علیجانی،۱۳۷۴، مسعودیان، ۱۳۹۱). تأثیر این عوامل در مواردی موجب ظهور مخاطرات آب و هوایی مختلف مانند امواج گرما، امواج سرما، بارش‌های سنگین و سیلابهای مخرب می‌گردد (فرج زاده،۱۳۹۲). تأثیر عوامل آب و هوایی محلی و بیرونی در طول سال به طور یکسان نبوده بلکه هر یک از آنها در ایام خاصی از سال، آب و هوای ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با توجه به گستردگی جغرافیایی کشور مناطق مختلفی از کشور می‌تواند اثرهای متفاوتی از عوامل مذکور را تجربه کنند و با توجه به این موضوع عناصر آب هوایی کشور در یک سال و در مناطق مختلف از شرایط متفاوتی برخوردار می‌باشد؛ در حالیکه در فصل تابستان گرمای شدید هوا در نواحی ساحلی جنوب شرایط آزاردهنده‌ای را ایجاد می‌کند، شمال غرب کشور هوای دلپذیری را در اختیار قرار می‌دهد و اختلاف مقادیر بارش بین نواحی شمالی کشور به عنوان نواحی پرباران و نواحی کم بارش کشور در مرکز کشور به بیش از ۱۵۰۰ میلیمتر می‌رسد.

بر مبنای شرایط مذکور تمامی عناصر آب هوایی کشور شامل عناصر فشار، باد، دما و بارش از تغییرات شگرفی برخوردار هستند و در نتیجه نواحی آب وهوایی متفاوتی در کشور حکم‌فرما است. از این‌رو تغییرات مکانی و زمانی عناصر آب و هوایی از ویژگی‌های اصلی آب هوای ایران محسوب می‌شود.

از نظر شرایط دمایی، توزیع جغرافیایی دما انطباق کاملی را با شرایط ناهمواری کشور نشان می‌دهد (شکل ۲-۲۶) و مناطق دارای دمای کمتر در نواحی کوهستانی البرز و زاگرس و سایر نواحی کوهستانی شمال غرب و شمال شرق کشور ملاحظه می‌شود. در کل گرمای هوا از مناطق شمالی به جنوبی و از غرب به شرق کشور افزایش می‌یابد. به طور کلی میانگین درجه حرارت سالانه در ایران ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد است. این دما در ارتفاعات بالای البرز صفر تا ۵ درجه، در نواحی کوهستانی کشور کمتر از ۱۵ درجه، در چاله‌های مرکزی و سواحل دریای خزر ۱۵ تا ۲۰ درجه و در سواحل جنوبی بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد است (علیجانی، ۱۳۷۴).

نوسان سالانه دما به عنوان یکی از ویژگی‌های اصلی دما در کشور ضمن آنکه از ارزش زیادی حدود ۷ الی ۲۰ درجه سانتیگراد برخوردار است در چهار گوشه کشور تنوع زیادی دارد و به همین جهت تقریباً در همه کشور تغییرات فصلی بسیار قابل توجه بوده و دارای نوسانهای زیادی است؛ در حالیکه در بیشتر قسمت‌های ایران در فصل تابستان گرمای طاقت‌فرسای بیش از ۳۵ درجه سانتیگراد دارد بخش‌هایی دیگر از کشور از دمای متعادل حدود ۲۰ درجه سانتیگراد برخوردار است. در زمستان بخش‌هایی از نواحی کوهستانی کشور دمای منفی ۲۰ درجه سانتیگراد را تجربه می‌کنند؛ در حالیکه سواحل جنوب کشور دارای دمای بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد هستند یعنی اختلاف دما در زمستان به حدود ۴۰ درجه سانتیگراد می‌رسد.

بر مبنای تغییرات شرایط دما می‌توان ۴ ناحیه آب و هوایی در کشور شامل نواحی کوهستانی با دمای سالانه کمتر از ۱۰ درجه، ناحیه کوهپایه‌ای با دمای ۱۰ تا ۱۵ درجه، ناحیه پست با دمای ۱۵ تا ۲۰ درجه و ناحیه ساحلی با بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد را از همدیگر تفکیک نمود.



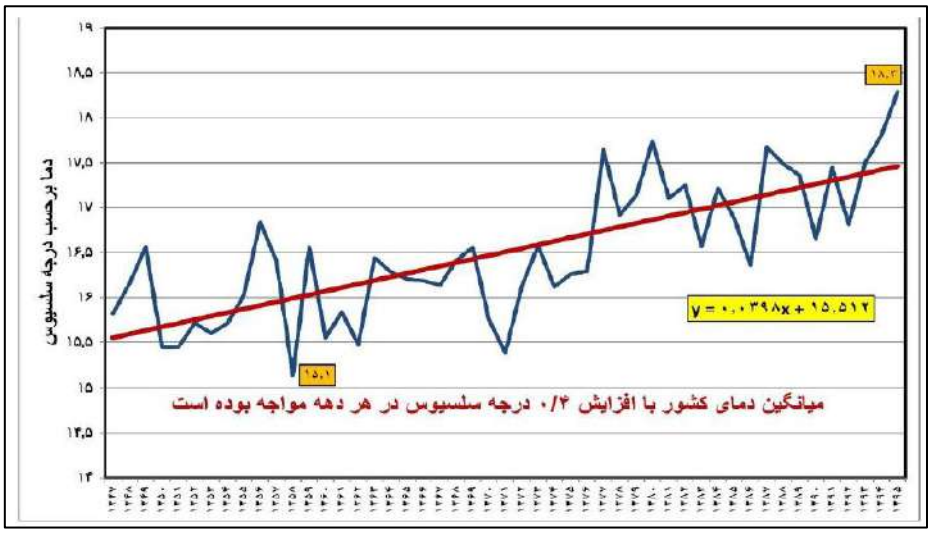
شکل۲-۲۶: نقشه توزیع میانگین دمای سالانه کشور (۲۰۰۶-۱۹۷۶)؛ (دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا ایران، ۱۳۹۴)

متغیر دما از زیر مجموعه‌های مختلفی می‌تواند تشکیل گردد که دمای میانگین، میانگین دمای حداکثر، میانگین دمای حداقل، حداکثر دمای مطلق و حداقل دمای مطلق پنج متغیر اصلی هستند که در مطالعه دما مورد توجه قرار می‌گیرند و بررسی اعداد و ارقام برآورد شده دما در مناطق جغرافیایی مختلف کره زمین نشان‌دهنده این موضوع است که هر چند در برخی نقاط تغییرات معنی‌داری در برخی از متغیرهای دمایی مانند میانگین دما رخ نداده است ولی در متغیرهای کرانه‌ای مانند حداکثر دمای مطلق ثبت شده تغییرات فاحشی نسبت به گذشته ملاحظه می‌شود که بیانگر رخداد تغییر آب و هوا است. این نوع تغییرات معمولاً به صورت تغییرات روند مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد که سه حالت افزایش، کاهش و بدون تغییر برای آن قابل تصور است.

مطالعات انجام شده در کشور (دارند، ۱۳۹۴؛ فرج زاده، ۱۳۹۲؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۱؛ دفترطرح ملی تغییرآب و هوا ایران، ۱۳۹۴) از نظر تحلیل روند داده‌های دما و مطالعات فرج زاده (۱۳۹۲) نشان می‌دهد که ایستگاه‌های اصلی سینوپتیک کشور در طی سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ میلادی از روند یکسانی برخوردار نبوده‌اند، درحالی‌که ایستگاه‌هایی مانند آبادان، اصفهان، بابلسر، بندرلنگه، بوشهر، تبریز، تهران از روند مثبتی یا اصطلاحاً افزایشی برخوردار هستند؛ ایستگاههایی نیز

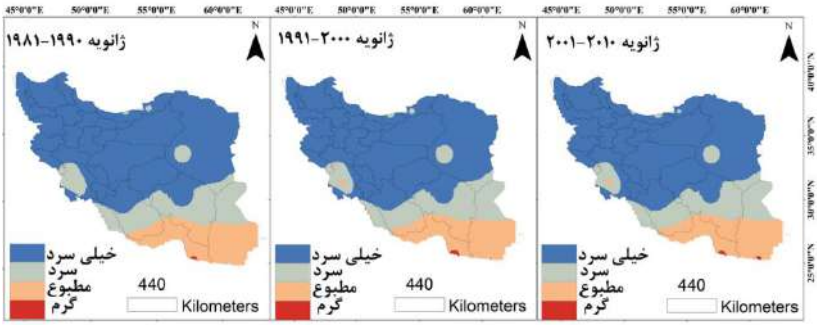
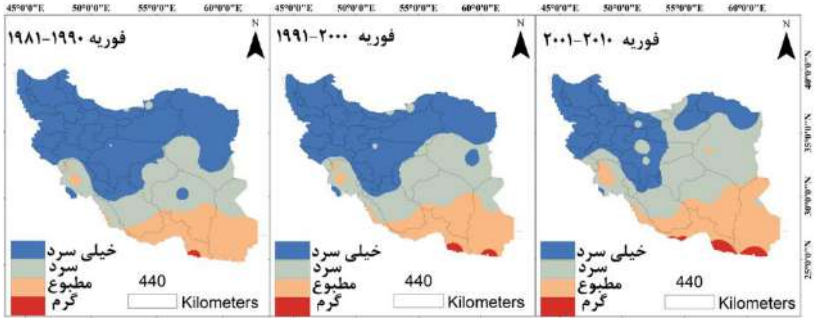
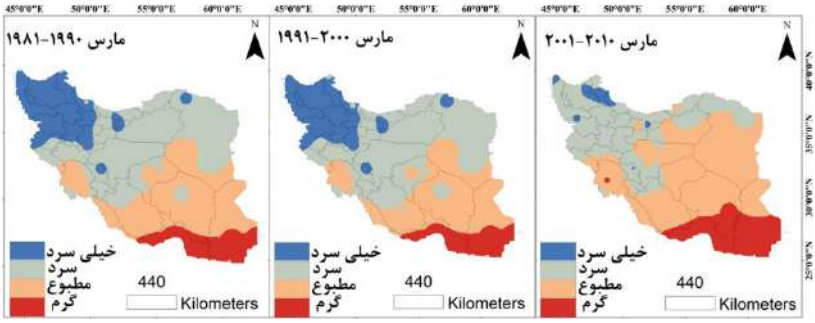
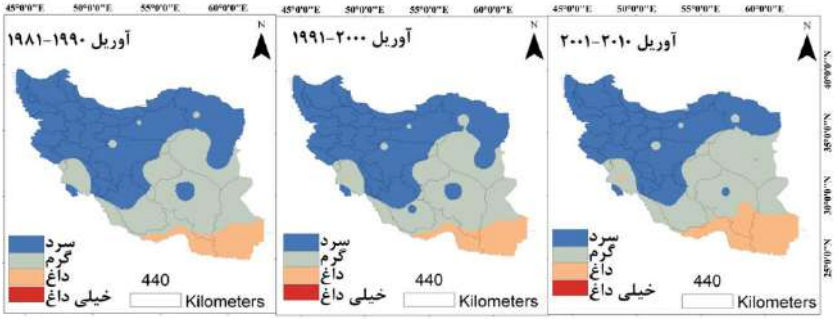
وجود دارند که در آنها روندی مشاهده نمی‌گردد و یا حتی از روند کاهشی نیز برخوردار هستند. برای نمونه می‌توان زابل و گرگان را ذکر نمود که روند منفی یا کاهشی داشته و ایستگاههای مانند شاهرود و دزفول هیچگونه روندی را نشان نمی‌دهند.

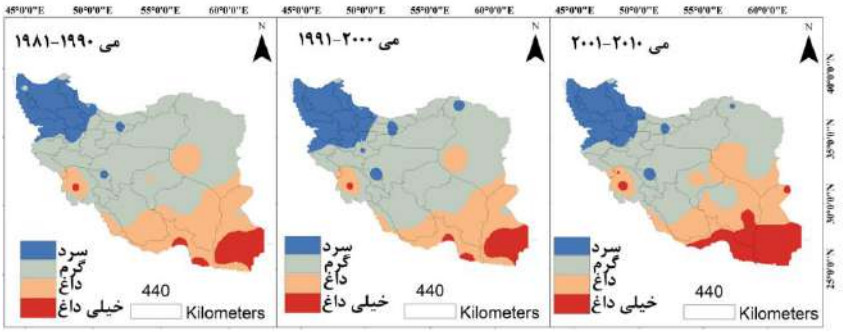
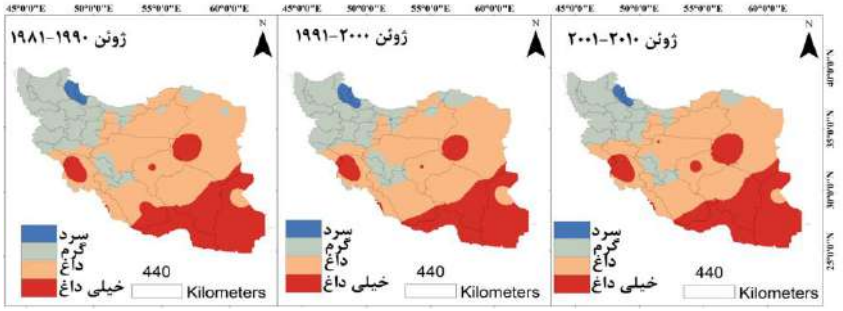
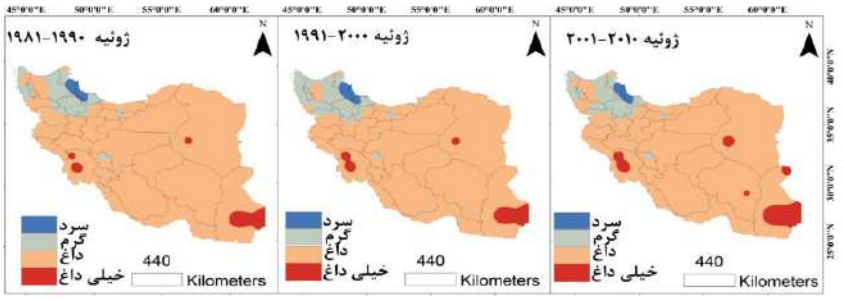
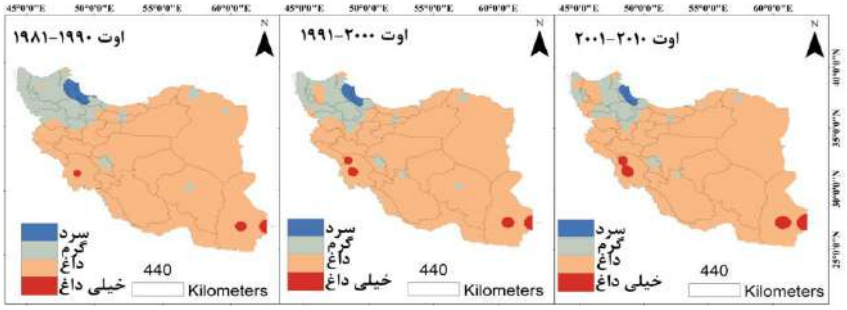
در مجموع بر مبنای محاسبه روند کلی بر اساس ایستگاههای آب و هوایی کشور که در شکل ۲-۲۷ نشان داده شده است دمای کشور از روند افزایشی کلی برخوردار بوده است. این افزایش ۰/۴ درجه سانتیگراد به ازای هر دهه بوده است.

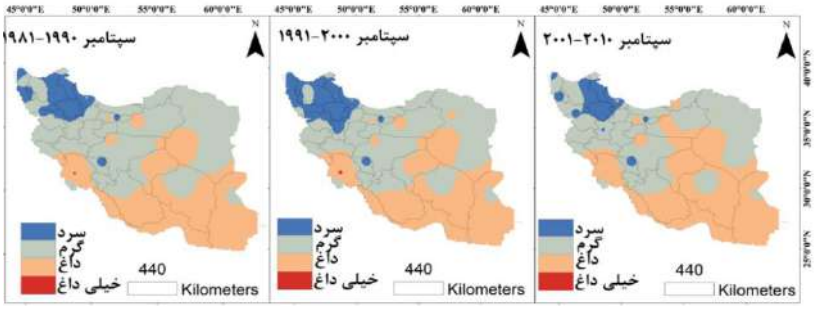
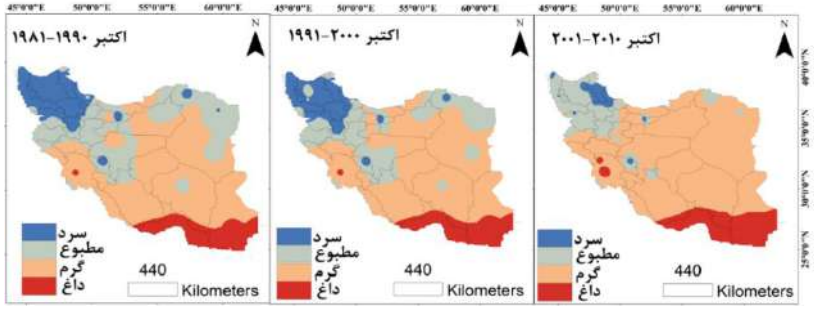
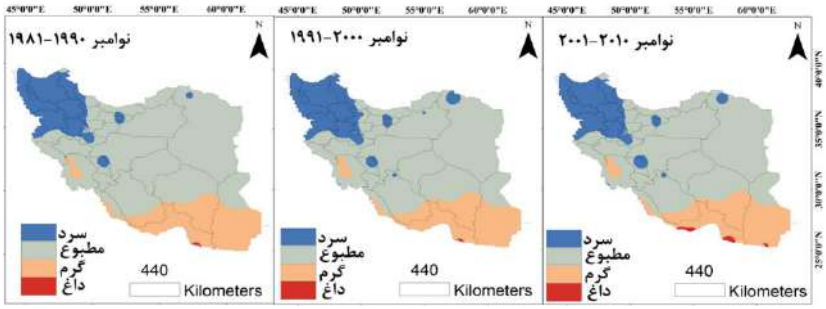
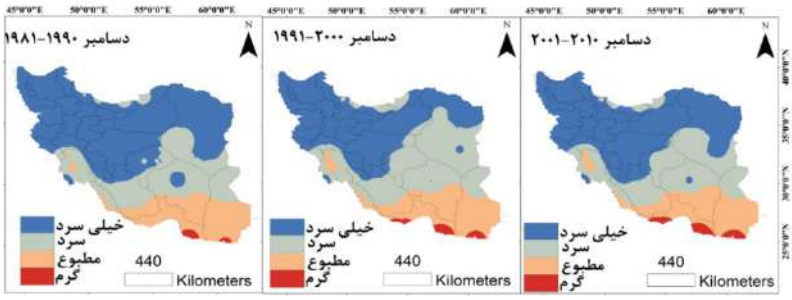


شکل۲-۲۷: روند افزایش میانگین دمای سالانه کشور در دوره ۱۳۹۵-۱۳۴۷ (مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران، ۱۳۹۵)

به منظور بررسی دمای مشاهداتی، میانگین دمای ۵۵ ایستگاه طی بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ مورد پردازش ماهانه قرار گرفت (شکل۲-۲۸). جدول۲-۵ نشان دهنده طبقات و دامنه دمایی بر اساس فصول مختلف می‌باشد. نتایج بررسی گستره فضایی دامنه‌های دمایی به جز در ماه اوت، روند معنی داری را نشان نداد اما مشخص شد که در ماههای دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس، گستره‌های فضایی نواحی خیلی سرد دارای یک روند کاهشی بوده است درصورتیکه نواحی سرد، مطبوع و گرم روند افزایشی را نشان می‌دهند. در ماه مارس، نواحی سرد نیز روند کاهشی را نشان می‌دهد. در ماه آوریل، نواحی سرد در حال کاهش و نواحی گرم و داغ در حال افزایش می‌باشند. در ماه می، نواحی سرد و خیلی داغ افزایش و نواحی داغ و گرم کاهش را نشان می‌دهند. در ژوئن، ژوئیه و اوت به جز نواحی خیلی داغ دیگر نواحی دارای روند کاهشی می‌باشد. در اوت، روند معنی دار کاهش نواحی سرد و افزایش نواحی خیلی داغ به چشم می‌خورد. در ماه اکتبر و نوامبر نیز نواحی داغ در حال افزایش می‌باشند. به طور کلی نواحی خیلی سرد در ماههای مورد بررسی کاهش و نواحی خیلی داغ در ماههایی که جزء طبقه آنها بوده، افزایش را نشان داده است.

ژانویه	
فوریه	
مارس	
آوریل	

می	
ژوئن	
ژوئیه	
اوت	

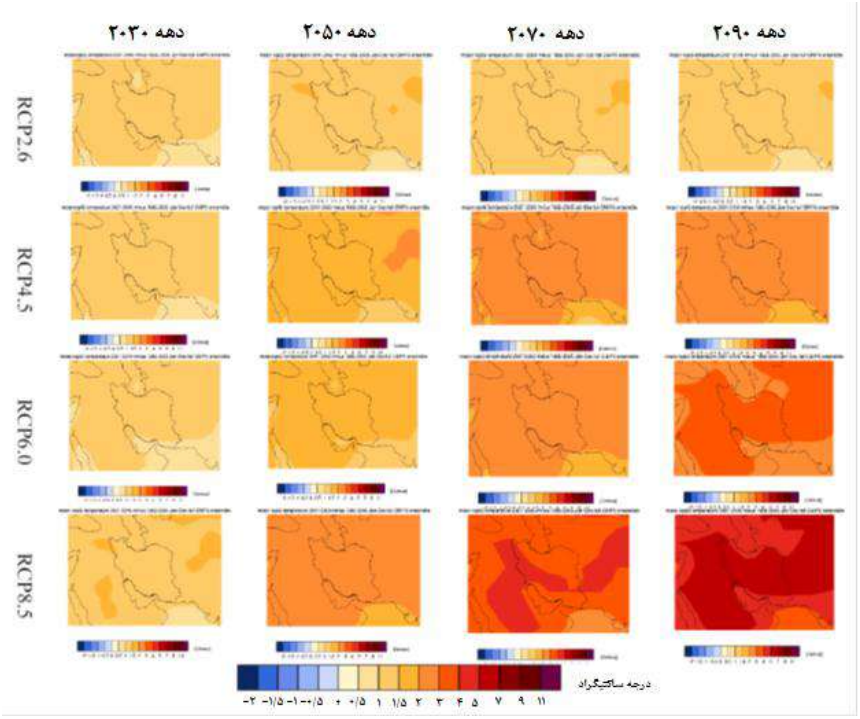
سپتامبر	
اکتبر	
نوامبر	
دسامبر	

شکل۲-۲۸: طبقه بندی دمایی بصورت ماهانه طـی سـه دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۱، و ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در ایران(منبع: نگارندگان).

جدول۲-۵: طبقه‌بندی و دامنه دمایی در فصول مختلف بکار گرفته شده در طبقه بندی دمایی ایران (منبع: نگارندگان)

فصل	دامنه دمایی	طبقه بندی
زمستان (دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس)	<۷	خیلی سرد
	۷-۱۲	سرد
	۱۲-۲۰	مطبوع
	>۲۰	گرم
بهار (آوریل، می و ژوئن)	<۱۸	سرد
	۱۸-۲۵	گرم
	۲۵-۳۰	داغ
	>۳۰	خیلی داغ
تابستان (ژوئیه، اوت و سپتامبر)	<۲۰	سرد
	۲۰-۲۵	گرم
	۲۵-۳۵	داغ
	>۳۵	خیلی داغ
پاییز (نوامبر و دسامبر)	<۱۴	سرد
	۱۴-۱۷	مطبوع
	۱۷-۲۶	گرم
	>۲۶	داغ

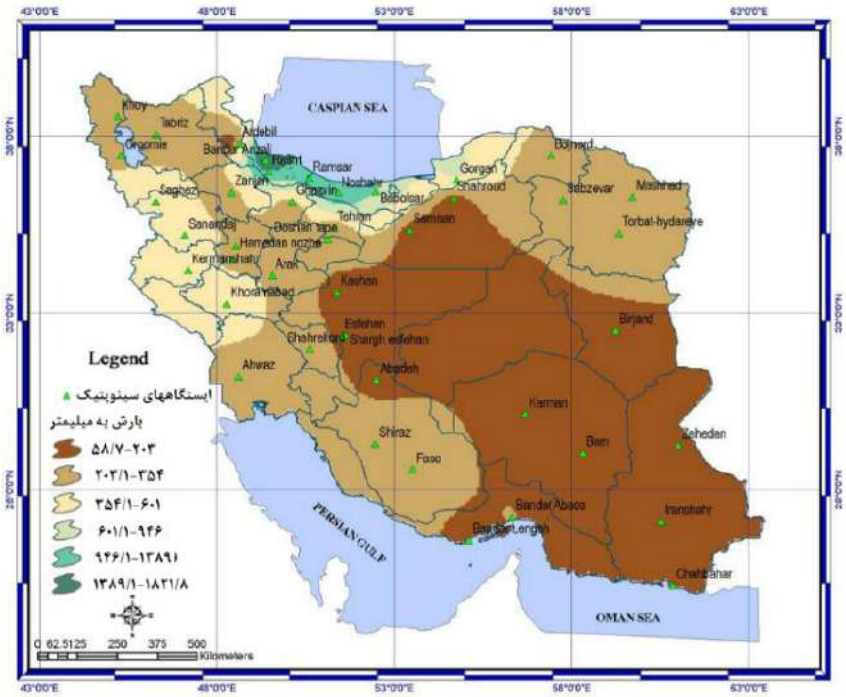
بر اساس شکل ۲-۲۹ و بر مبنای نتایج مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار از نظر دماهای آتی بیانگر این است که بر مبنای میانگین سناریوهای انتشار انتظار می‌رود دمای کشور در دهه ۲۰۳۰، از یک تا دو درجه بر مبنای سناریوهای چهار گانه افزایش یابد. در دهه ۲۰۵۰، این افزایش در سناریوی حداکثری به ۳ درجه افزایش خواهد یافت. در دهه ۲۰۷۰ این افزایش در همین سناریوی حداکثری به حدود ۵ درجه سانتیگراد و در دهه ۲۰۹۰ حتی به ۷ درجه نیز صعود خواهد نمود. در عین حال در سناریوهای حداقلی این افزایش دما با دیدگاه متعادل که به حدود ۳ درجه سانتیگراد رسیده مدنظر است و می‌تواند در جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی تأثیر گذار باشد.



شکل۲-۲۹: میانگین دمای سالانه کشور در دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۹۰(سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶)

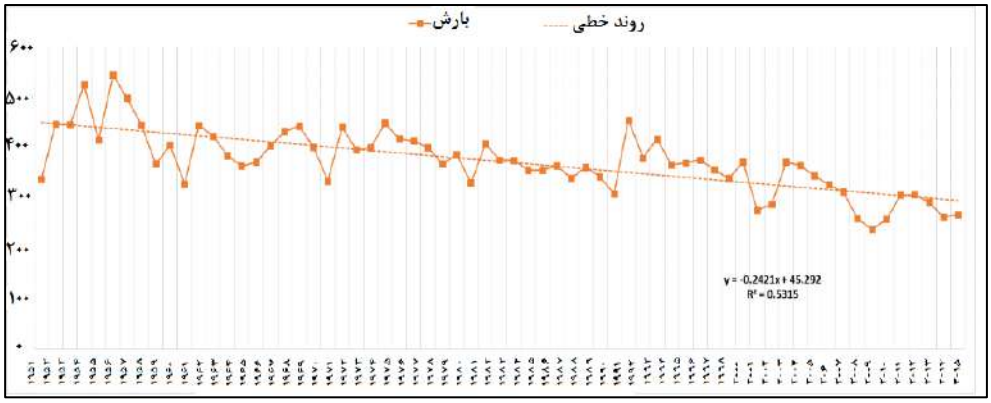
از نظر بارش مانند دما تغییرات مکانی و زمانی زیادی در چهار گوشه کشور قابل ملاحظه است (شکل ۲-۳۰). برای مثال در نواحی ساحلی غرب خزر میانگین بارش در ایستگاه بندر انزلی حدود ۱۸۰۰ میلیمتر، در ایستگاه‌هایی مانند یزد و کرمان در مناطق مرکزی کشور کمترین بارش سالانه با حدود ۶۰ میلیمتر مشاهده می‌گردد که حاکی از اختلاف بیش از ۳۰ برابری بارش‌های سالانه‌ی آنها است. در کل میانگین بارش کشور را ارقامی بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلیمتر متر بیان نموده‌اند که دارای تغییرات سالانه بسیار زیادی است و در مجموع مقدار بارش کشور از غرب به شرق و شمال به جنوب کاهش می‌یابد. از نظر توزیع فصلی، بیشترین بارش در زمستان با ۴۱ درصد و سپس پاییز ۳۱ درصد، بهار ۲۰ درصد و تابستان ۸ درصد محاسبه شده است، هرچند که از نظر مکانی و زمانی تغییرات زیادی در ایستگاه‌های کشور قابل مشاهده است. پرباران‌ترین منطقه کشور از نظر بارش، منطقه خزری یا سواحل جنوبی دریای خزر است که در غرب آن حدود ۱۸۰۰ میلیمتر در بندر انزلی بوده و در شرق آن در گمیشان به حدود ۴۱۰ میلیمتر کاهش پیدا می‌کند. دومین منطقه بارش در غرب کشور است که از آن تحت عنوان منطقه کردستان یاد می‌شود که دارای بارش میانگین سالانه ۵۵۰ میلیمتری است که عمده بارش‌های خود را در فصل زمستان دریافت می‌دارد. منطقه بعدی شامل مناطق آذربایجان و خراسان می‌گردد که حدود ۳۰۰ میلیمتر بارش سالانه را دریافت می‌کنند و همانند منطقه کردستان

بارندگی عمده در فصل زمستان است و آخرین منطقه کشور که از نظر وسعت بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است منطقه داخلی ایران است که سالانه حدود ۱۵۰ میلیمتر بارش در آن می‌بارد. این منطقه را می‌توان خشک‌ترین منطقه کشور محسوب نمود که فعالیت‌های زیستی انسان را با خدشه روبرو ساخته و انسآنهای ساکن در این مناطق از دیرباز روش‌هایی را برای انطباق خود با شرایط کم‌آبی ابداع و به‌کار گرفته‌اند.



شکل۲-۳۰: نقشه توزیع میانگین بارش سالانه کشور (۲۰۰۶-۱۹۷۶) (دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا ایران، ۱۳۹۴)

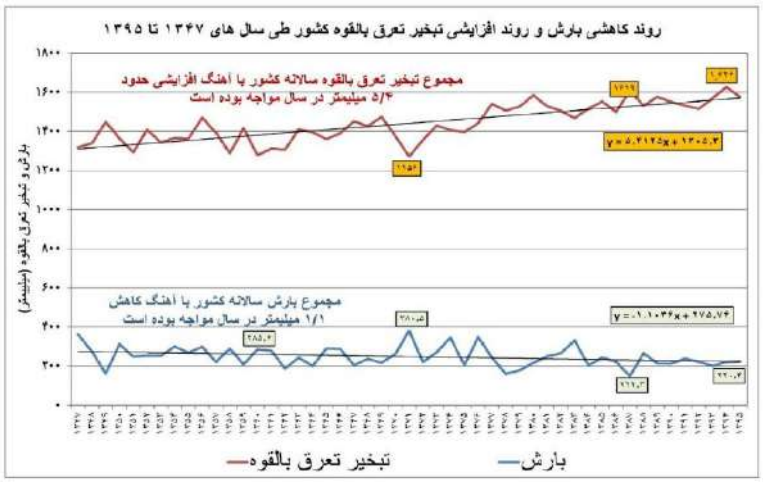
بررسی مقادیر بارش‌های میانگین سالانه در طی سال‌های اخیر (شکل ۲-۳۱) بیانگر وجود نوسانهای نسبتاً شدید در مقادیر بارش‌های دریافتی کشور است. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد در سال ۱۹۵۷ مقدار بارش کشور ارزشی حدود ۴۰۰ میلیمتر را داشته در حالی که در برخی سال‌ها مانند سال ۲۰۰۹ به حدود ۲۰۰ میلیمتر می‌رسد. در مجموع اگر رقم ۲۵۰ میلیمتر را به عنوان متوسط بارش‌های سالانه کشور پذیرفته شود نوسانهای زیادی پیرامون این رقم مشاهده می‌گردد. در عین حال بررسی روند تغییرات بیانگر وجود یک شیب کاهشی در مقادیر بارش‌های دریافتی به‌ویژه در طی سال‌های اخیر است.



شکل۲-۳۱: بارش سالانه به میلیمتر طی سالهای ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۵ برای چهل و پنج ایستگاه (منبع: نگارندگان)

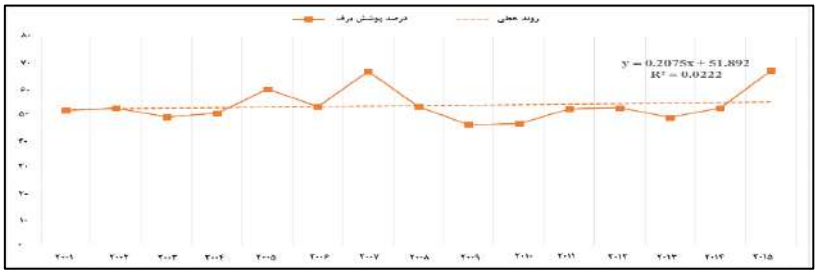
در کل از نظر روند بارش در کشور مطالعات صورت گرفته بیانگر وضعیت کلی کاهشی است (شکل ۲-۳۲). میانگین بارش‌های کشور را حدود ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر برآورد می‌کنند که دارای نوسانی بین ۱۳۰ تا ۴۰۰ میلیمتر در سال‌های مختلف است. با فرض مقدار متوسط بارش ۲۵۰ میلیمتری، حجم آب حاصل از بارندگی در کشور ۴۰۰ میلیارد مترمکعلب خواهد بود که با کسر مقدار تبخیر و تعرق ۷۱ درصدی می‌توان گفت مقدار حجم آب قابل برنامه‌ریزی کشور ۱۰۵ میلیارد مترمکعب است.

شکل ۲-۳۲ بیانگر روند کلی بارش و تبخیر در کشور می‌باشد که بر مبنای آن مشخص است که میزان تبخیر و تعرق با روند افزایشی به میزان ۵/۴ میلیمتر در هر سال روبرو بوده است اما از نظر بارش سالانه روند کاهشی به میزان ۱/۱ میلیمتر در سال را داشته است.

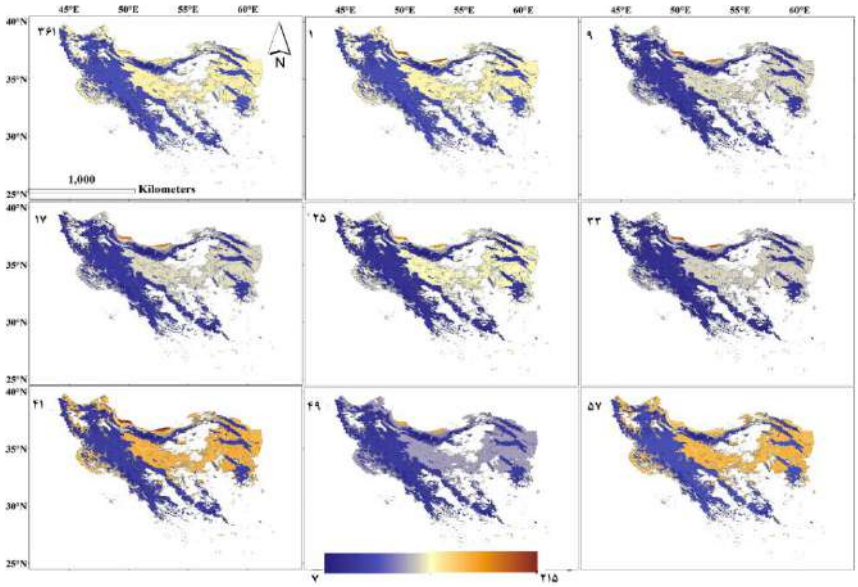


شکل۲-۳۲: روند کاهشی بارش و افزایش تبخیر و تعرق بالقوه در کشور در دوره ۱۳۹۵-۱۳۴۷ (مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران، ۱۳۹۵).

نکته دیگری که در ویژگی‌های بارش کشور قابل ملاحظه است تغییر نوع بارش‌ها است. بدین معنی که زمانی بارش‌های کشور به‌ویژه در مناطق کوهستانی و سردسیر کشور از نوع برف بود امروزه به بارش باران تغییریافته است و دیگر از بارش‌های برف با ضخامت‌های زیاد خبری نیست. شکل ۲-۳۳ بیانگر تغییرات پوشش برفی کشور بر مبنای داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای است. بر مبنای این شکل می‌توان دریافت که پوشش‌های برفی کشور از سال ۲۰۰۷ میلادی روند کاهشی یافته هرچند که در سال۲۰۱۵ میلادی از روند افزایشی قابل توجهی برخوردار گردیده است. درصد ضریب تغییرات برف نیز در شکل قابل مشاهده است که بیشترین و کمترین ضریب تغییرات طی دو ماه مورد بررسی (ژانویه و فوریه) به ترتیب در نواحی شمالی و نوار کوهستانی کشور به دست آمده است(شکل ۲-۳۴).



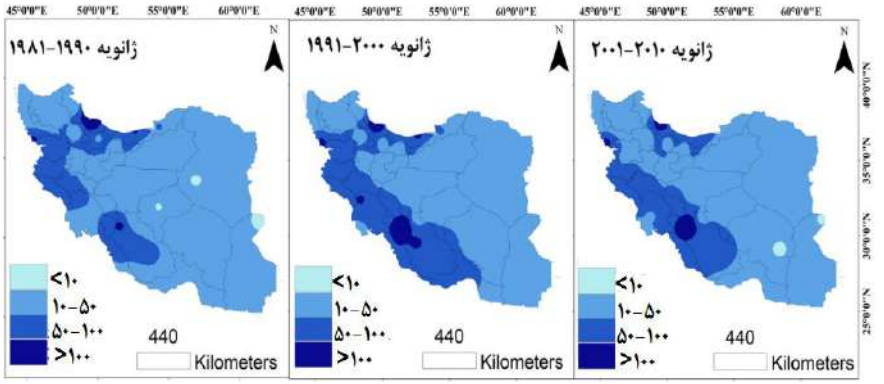
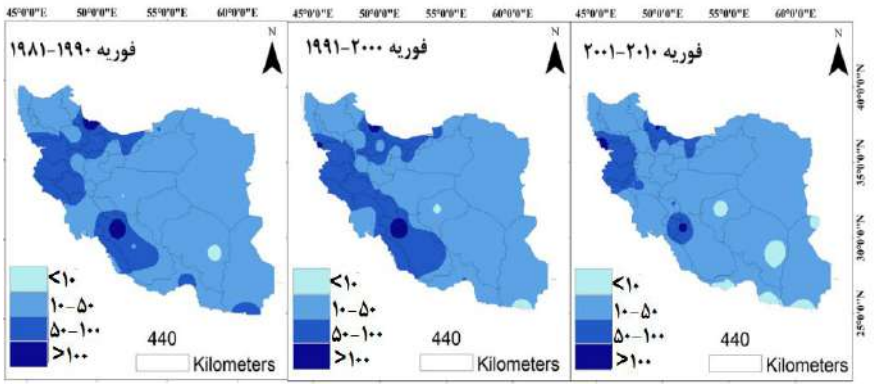
شکل۲-۳۳: درصد پوشش سالانه‌ی برف طی سالهای۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ (منبع: داده‌های سنجنده مادیس[1]).

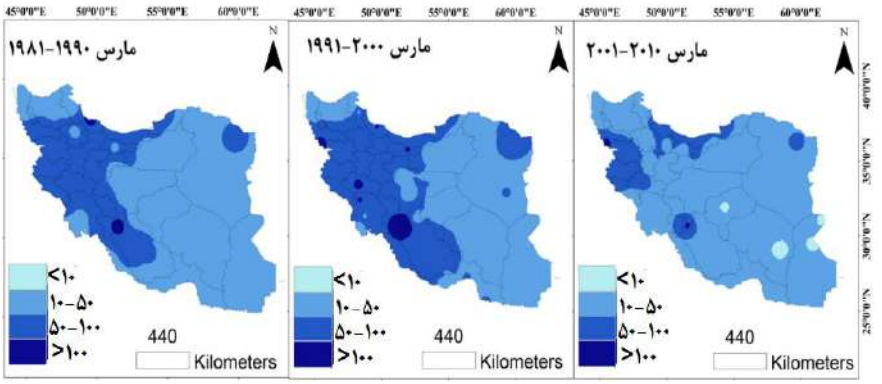
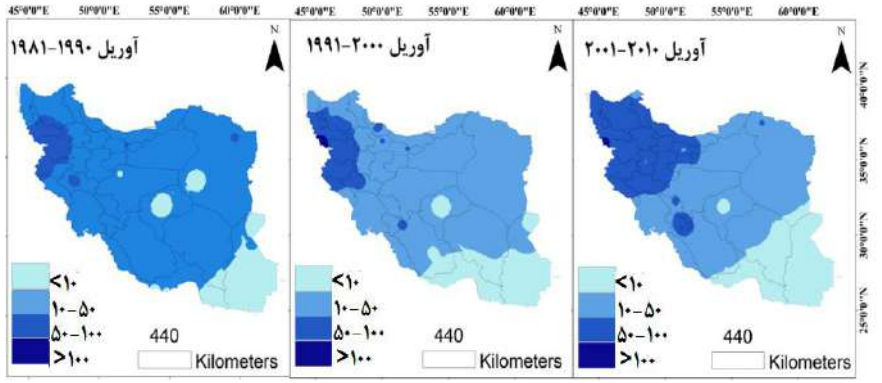
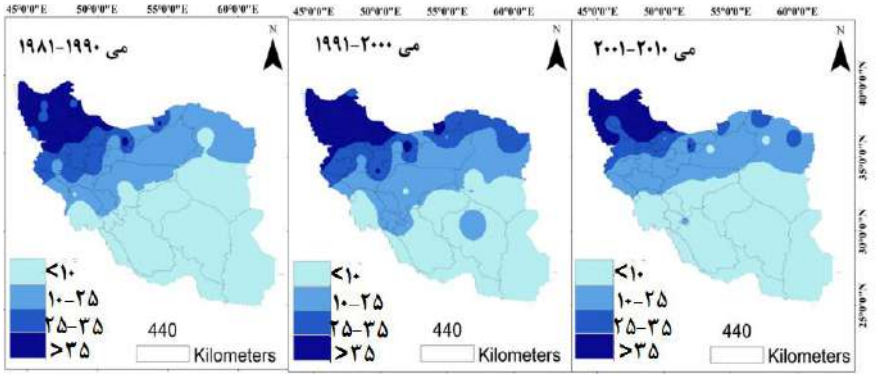


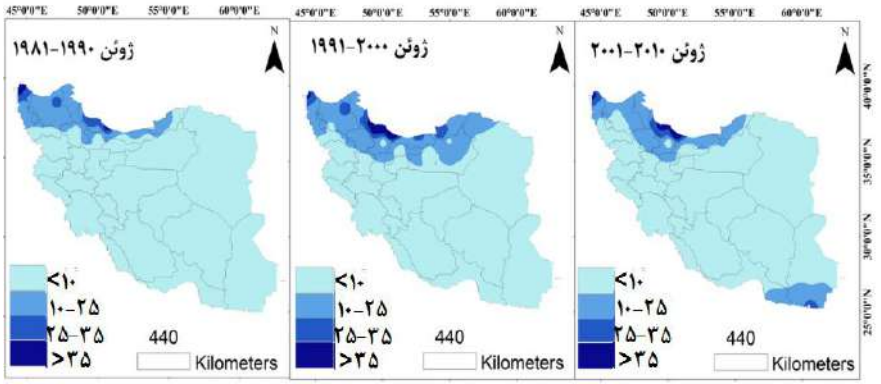
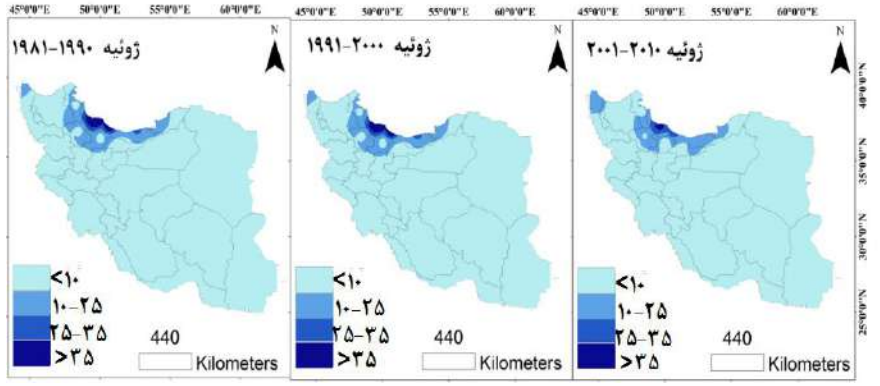
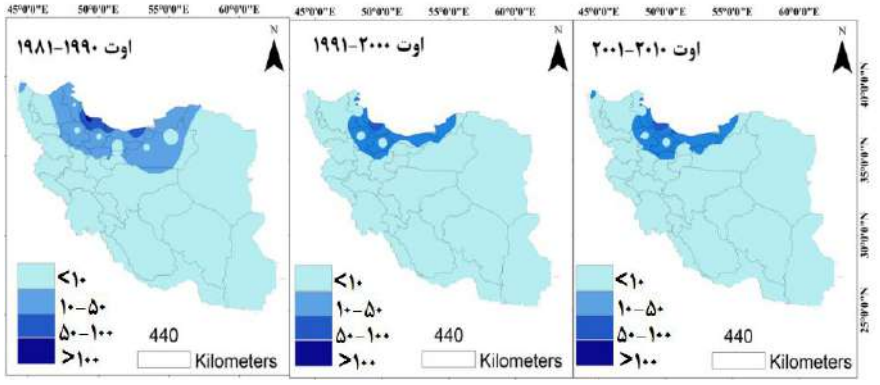
شکل۲-۳۴: ضریب تغییرات (٪) برف در دو ماه ژانویه و فوریه طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ بر اساس منطقه‌ی برف خیز کشور در سال ۲۰۰۸ و در دوره‌های هشت روزه مختلف (Ghasemifar et al., 2018)

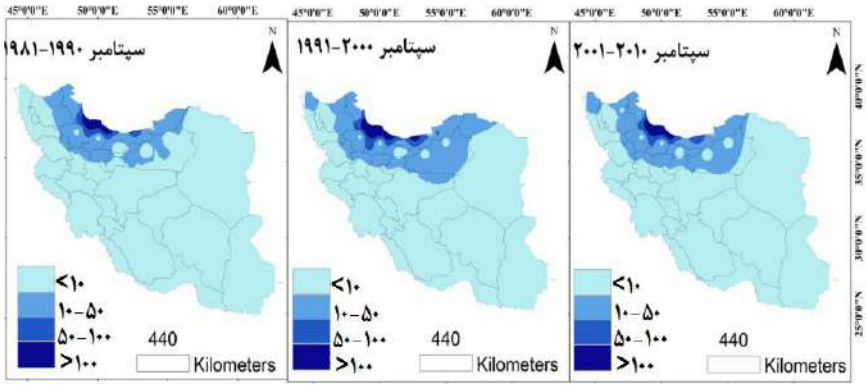
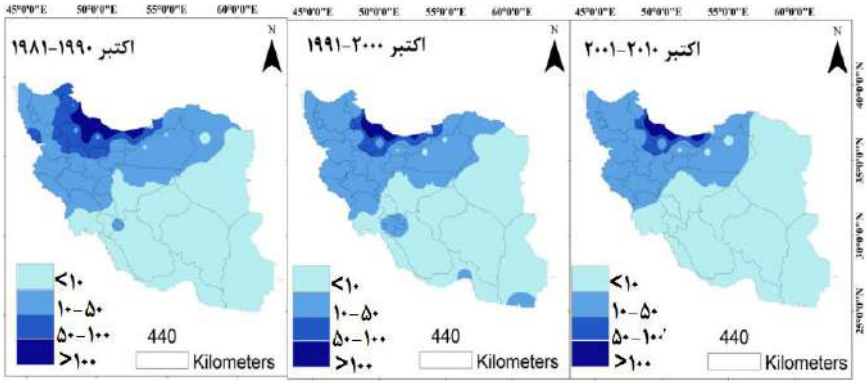
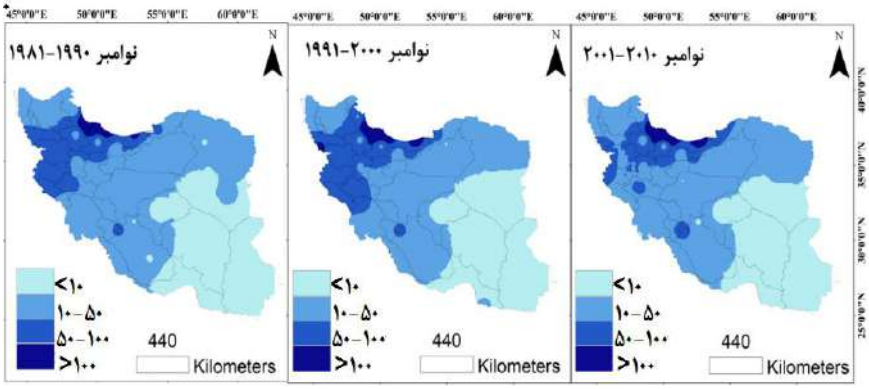
[1] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS)

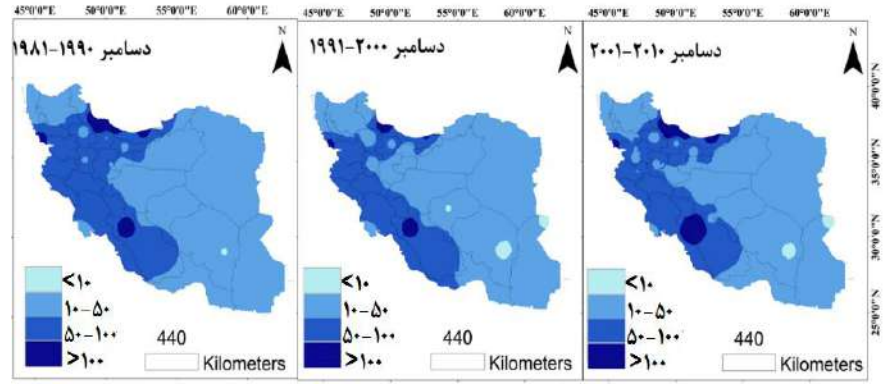
به منظور بررسی بارش، از مجموع بارش ماهانه برای ۵۵ ایستگاه سینوپتیک کشور طی بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ استفاده شده است (شکل۲-۳۵). در مورد بارش نیز معنی داری نتایج در هیچکدام از ماهها جز ماه می و در ناحیه بارش کمتر از ۱۰ میلیمتر ثابت نشد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد در ژانویه و مارس نواحی با بارش کمتر از ۱۰ میلیمتر و بین ۲۵-۱۰ میلیمتر دارای روند کاهشی و نواحی با بارش‌های بیش از ۵۰ میلیمتر دارای روند افزایشی می‌باشند. در صورتی که در فوریه عکس این ادعا دیده می‌شود و نواحی با بارش‌های بیش از ۵۰ میلیمتر دارای روند کاهشی است. در آوریل نواحی با بارش کمتر از ۱۰ میلیمتر کاهش و نواحی با بارش بیش از ۵۰ میلیمتر در حال افزایش می‌باشند. در می، روند افزایشی نواحی بارش‌های کمتر از ۱۰ میلیمتر و روند کاهشی در نواحی با بارش بیش از ۳۵ میلیمتر دیده می‌شود. در ژوئن، نواحی با بارش‌های بیش از ۳۵ میلیمتر افزایش و در ژوئیه کاهش را نشان می‌دهند. در اوت نواحی با بارش‌های بیش از ده میلیمتر کاهش را نشان می‌دهند. در نقطه مقابل اوت، ماه سپتامبر روند افزایشی را در این بارشها نشان می‌دهند. اکتبر نیز روند کاهشی در نواحی با بارشهای بیش از ۱۰۰ میلیمتر نشان می‌دهد. ماههای نوامبر و دسامبر، روند افزایشی در بارشهای بیش از ۱۰۰ میلیمتر نشان می‌دهند.

ژانویه	
فوریه	

مارس	
آوریل	
می	

ژوئن	
ژوئیه	
اوت	

سپتامبر	
اکتبر	
نوامبر	

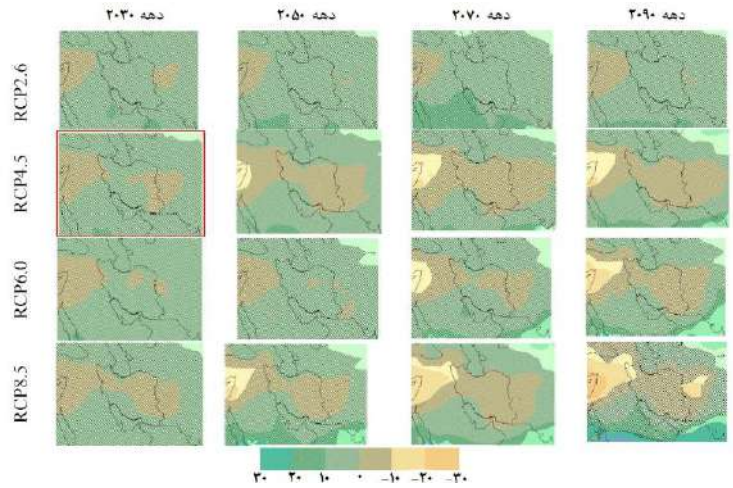


شکل۲-۳۵: طبقه بندی بارش بصورت ماهانه طی سه دوره ۱۹۹۰-۱۹۸۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۱، و ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در ایران (منبع: نگارندگان).

مطالعات صورت گرفته شرایط آتی بارش‌های کشور را به صورت زیر مطرح می‌سازد:

در افق ۲۰۵۰، همانند تغییرات دما، مقادیر بارش نیز در کشور از توزیع فضایی متفاوتی برخوردار است و بخش‌های مختلف جغرافیایی کشور مقادیر بارش و نوسآنهای متفاوتی را تجربه می‌کنند. نتایج مدل سازی صورت گرفته برای کشور بر مبنای مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار فوق‌الذکر بیانگر این است که در دهه ۲۰۳۰، ۰/۹- درصد و در سال ۲۰۵۰، ۱/۳- از مقدار بارش کاهش خواهد یافت.

در دهه ۲۰۷۰، کاهش بارش به میزان ۱/۴-، و در دهه ۲۰۹۰، ۲/۵- درصد خواهد بود (شکل ۲-۳۶). این نتایج از سویی می‌تواند عدم اطمینان به مدل‌های مورد استفاده را به لحاظ وجود عدم قطعیت‌های مختلف نشان دهد. این نکته را باید خاطر نشان نمود که برخی از مدل‌ها کاهش تا حدود ۲۰ درصد را برای بارش‌های کشور نسبت به دوره پایه پیش بینی نموده‌اند ولی بازهم با توجه به اینکه به‌طور معمول شرایط بارش نرمال برای کشور با بیست درصد کاهش یا افزایش نسبت به میانگین درازمدت در نظر گرفته می‌شود باید گفت ارقام کاهشی پیش بینی شده بارش برای حدود صد سال آینده در کشور چندان ایجاد مشکل نمی‌نماید، چراکه نوسانات سالیانه زیادی در بارش‌های کشور اتفاق می‌افتد که تغییرات اندک در آن شاید در خور توجه نبوده و قابل اغماض به نظر می‌رسد. با این حال سازگاری تمامی فعالیت‌ها با مقادیر حداقلی بارش‌ها و نوسانات زیاد آن موضوعی است که باید در مطالعات بهره برداری از زمین مورد توجه قرار گیرد و باید سیستم‌های مختلف بهره‌برداری از اراضی با توجه به این موضوع از انعطاف‌پذیری لازم برخوردار باشند.



شکل۲-۳۶: میانگین بارش سالانه کشور در دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۹۰ (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶)

۲-۱۰- اثر تغییر آب و هوا بر کمیت و کیفیت جریانهای سطحی کشور

پهنه ایران زمین دارای شش حوضه آبریز اصلی است. حوضه آبریز دریای خزر اولین حوضه کشور در تقسیمات وزارت نیرو است که حدود ۱۱ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. حوضه دوم حوضه خلیج فارس و دریای عمان است که حدود ۲۶ درصد از مساحت کشور را دارد. حوضه سوم حوضه دریاچه ارومیه است که دارای ۳ درصد از مساحت کشور می‌باشد. حوضه فلات مرکزی چهارمین و بزرگترین حوضه آبریز کشور است که حدود ۵۰ درصد کشور را شامل می‌شود. حوضه شرقی یا حوضه هامون که پنجمین حوضه محسوب می‌شود ۶ درصد از مساحت کشور را دارد. کوچکترین حوضه کشور نیز حوضه قره قوم است که حدود ۲/۵ درصد از مساحت ایران را دارد. رودهای متعددی در این حوضه‌های شش‌گانه جریان دارند که امکان فعالیت و زیست انسانها را فراخور آب در اختیار قرار داده‌اند.

مهمترین و شاید تنهاترین آب ورودی به حوضه‌های آبریز شش‌گانه را بارش‌های جوی تشکیل می‌دهد که مقدار متوسط آن حدود ۲۵۰ میلیمتر است که بر مبنای مطالعه صورت گرفته این مقدار در طی سالهای اخیر کاهش یافته است. حوضه‌های شش‌گانه فوق‌الذکر به نسبت مساوی از این مقدار بارش بهره‌مند نمی‌گردند بلکه در رابطه با موقعیت جغرافیایی مقادیر دریافتی در آنها بسیار متفاوت می‌باشد. جدول ۲-۶ نشان دهنده مقادیر بارش‌های دریافتی در هریک از این حوضه‌ها می‌باشد. بر اساس آن مشخص است که حوضه آبریز خزر با ۴۳۷ میلیمتر بارش بیشترین مقدار بارش را در بین حوضه‌های آبریز کشور دریافت می‌دارد و کمترین مقدار را نیز حوضه مرزی شرقی (مقدار بارش ۱۰۹ میلیمتر) ثبت نموده است. بر مبنای حجم بارندگی با توجه به وسعت نسبی زیاد، حوضه‌های آبریز خلیج فارس و دریای عمان و حوضه فلات مرکزی به ترتیب با دارا بودن ۱۵۶ و ۱۳۰ میلیارد مترمکعب وسعت، نقش اصلی را از تأمین بارش ۴۰۰ میلیارد متر مکعبی کل کشور دارند.

حجم جریان سطحی حاصل از بارش‌های رخ داده بر مبنای ارقام جدول با توجه به ارتباط نزدیک این عامل به وسعت حوضه‌ها، بیانگر اینست که میزان جریان سطحی حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان با حدود ۵۰ میلیارد مترمکعب بیش از نیمی از کل جریان سطحی کشور را در خود دارد. در این میان حوضه آبریز دریای خزر به عنوان دومین حوضه با ۱۷ میلیارد مترمکعب قرار دارد. از نظر ضریب رواناب یا جریان سطحی که در ارتباط مستقیم با نوع پوشش حوضه و میزان نفوذپذیری و عوامل دیگر است؛ حوضه آبریز خلیج فارس با حدود ۳۲ درصد در رتبه اول و حوضه آبریز دریاچه ارومیه با ۳۰ درصد در رتبه دوم قرار می‌گیرد.

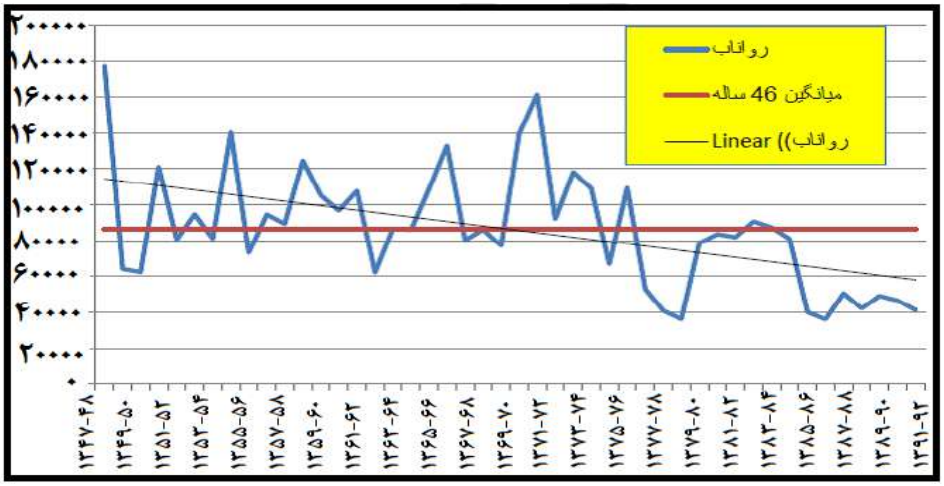
بر مبنای تعداد جمعیت ساکن در هریک از حوضه‌های شش‌گانه می‌توان سرانه آب را محاسبه نمود. بر مبنای ارقام جدول مشخص است که حوضه آبریز خلیج فارس با حدود ۴۰۰۰ مترمکعب به ازای هر فرد دارای مقام اول می‌باشد و با در نظر گرفتن استاندارد ۱۷۰۰ متر مکعب برای هر نفر دارای ارزش بالایی بوده و بر این اساس در این حوضه نمی‌تواند کمبود آبی وجود داشته باشد. حوضه آبریز دریای خزر با ۲۵۰۰ مترمکعب نیز از وضعیت مناسب برخوردار است. در سایر حوضه‌ها سرانه آب از وضعیت مناسبی برخوردار نیست. بر مبنای ارقام جدول، میانگین سرانه آب در اختیار برای کل کشور ۱۷۰۰ متر مکعب برای سالهای گذشته است که این رقم در حال کاهش بوده و به نظر می‌رسد تا ۱۲۰۰ مترمکعب در طی سالهای آتی نیز کاهش خواهد یافت.

جدول۲-۶: مشخصات بارش در هریک از حوضه‌های درجه یک کشور (موحد دانش، ۱۳۷۳؛ وزارت نیرو، ۱۳۹۶)

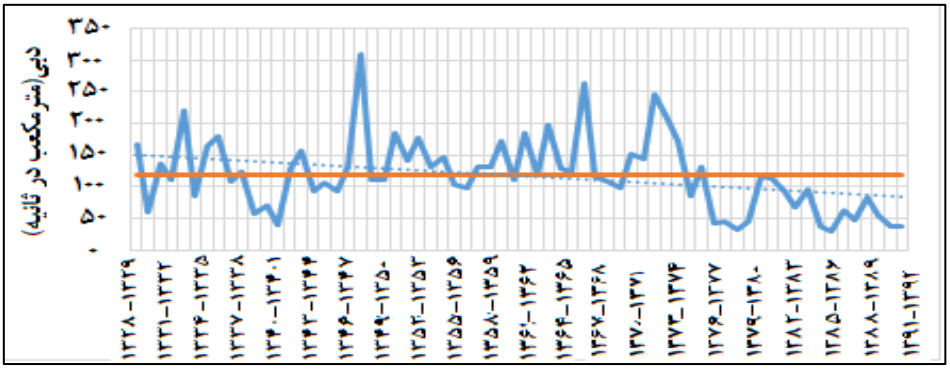
نام حوضه	مساحت (هزار کیلومتر مربع)	مساحت به درصد از کل کشور	بارش متوسط درازمدت به میلیمتر	حجم بارندگی (میلیارد مترمکعب)	حجم جریان سطحی (میلیون متر مکعب)	ضریب جریان سطحی (درصد)	جمعیت میلیون نفر	سرانه آب به متر مکعب
دریای خزر	۱۷۴/۶	۱۱	۴۲۱/۱	۷۳/۵	۱۷۰۰۰	۲۳/۱	۱۲۱۹۰	۲۵۶۷
خلیج فارس و دریای عمان	۴۲۴/۵	۲۶	۳۶۱/۸	۱۵۶/۴	۴۹۳۸۸	۳۱/۶	۱۷۴۶۲	۴۱۰۴
دریاچه ارومیه	۵۱/۸	۳	۳۳۷/۱	۱۷/۶	۵۳۳۱	۳۰/۲	۵۵۶۱	۱۳۳۷
فلات مرکزی	۸۲۴/۴	۵۱	۱۶۱	۱۳۵	۱۳۵۹۳	۱۰/۱	۳۴۳۱۲	۷۹۱
مرزی شرق	۱۰۳/۲	۶	۱۰۳/۷	۱۰/۸	۱۵۶۸	۱۴/۴	۱۶۸۳	۱۰۶۹
قره‌قوم	۴۴/۲	۳	۲۴۴/۷	۹/۷	۳۰۷۲	۳۱/۷	۴۲۰۰	۵۰۲
کل کشور	۱۶۲۲/۶	۱۰۰	۲۲۴/۵	۴۰۳/۲	۸۹۹۵۲	۲۲/۳	۷۵۶۴۱	۱۷۲۸/۳

تغییرات جریانهای سطحی برخی از رودخانه‌های اصلی حوضه‌های آبریز در شکل ۲-۳۷ ارائه شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهد جریانهای سطحی کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند. بر اساس گزارش دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا (فهمی، ۱۳۹۳) که بر مبنای میانگین جریانهای سطحی کشور انجام شده است (شکل ۲-۳۷) بیانگر این است که در طی سالهای اخیر جریانهای سطحی افت نسبتاً شدیدی را نشان می‌دهند.

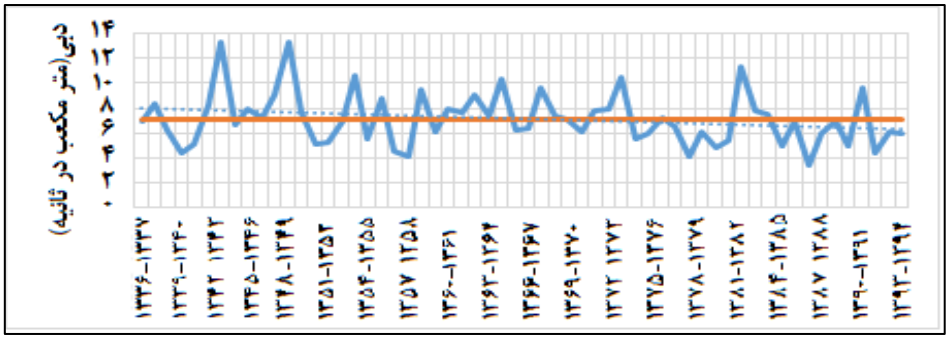
علاوه بر این گزارش، شکل ۲-۳۸ (الف تا ج) نیز روند دبی برخی رودخانه‌های کشور را نشان می‌دهد اگرچه نمودارها قابل تعمیم به همه رودخانه‌های کشور نیست و ممکن است در برخی از رودخانه برخلاف سایر رودخانه‌ها، جریان به صورت افزایشی باشد ولی درکل می‌توان روند کاهشی را برای رودخانه‌های کشور مطرح نمود که نشان دهنده کاهش آب قابل دسترس می‌باشد.



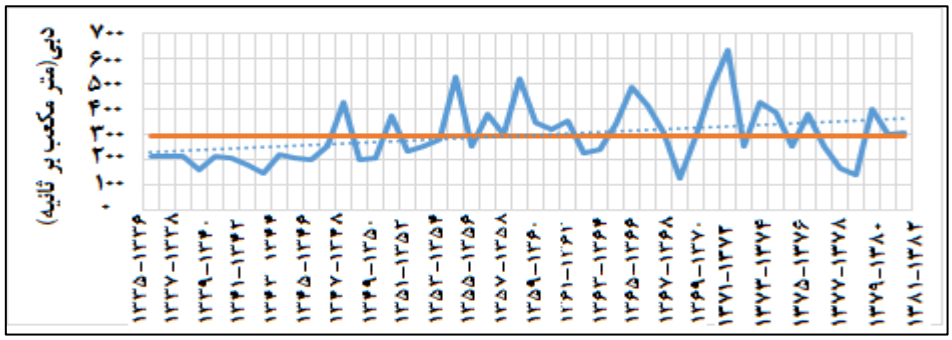
شکل۲-۳۷: تغییرات جریانهای سطحی ایران طی سالهای آبی ۱۳۴۸-۱۳۴۷ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۱ (فهمی،۱۳۹۳)



الف – دبی رودخانه سفید رود در ایستگاه دبی سنجی بین راه رودبار



ب- دبی رودخانه گرگانرود در ایستگاه دبی سنجی ماشین خانه

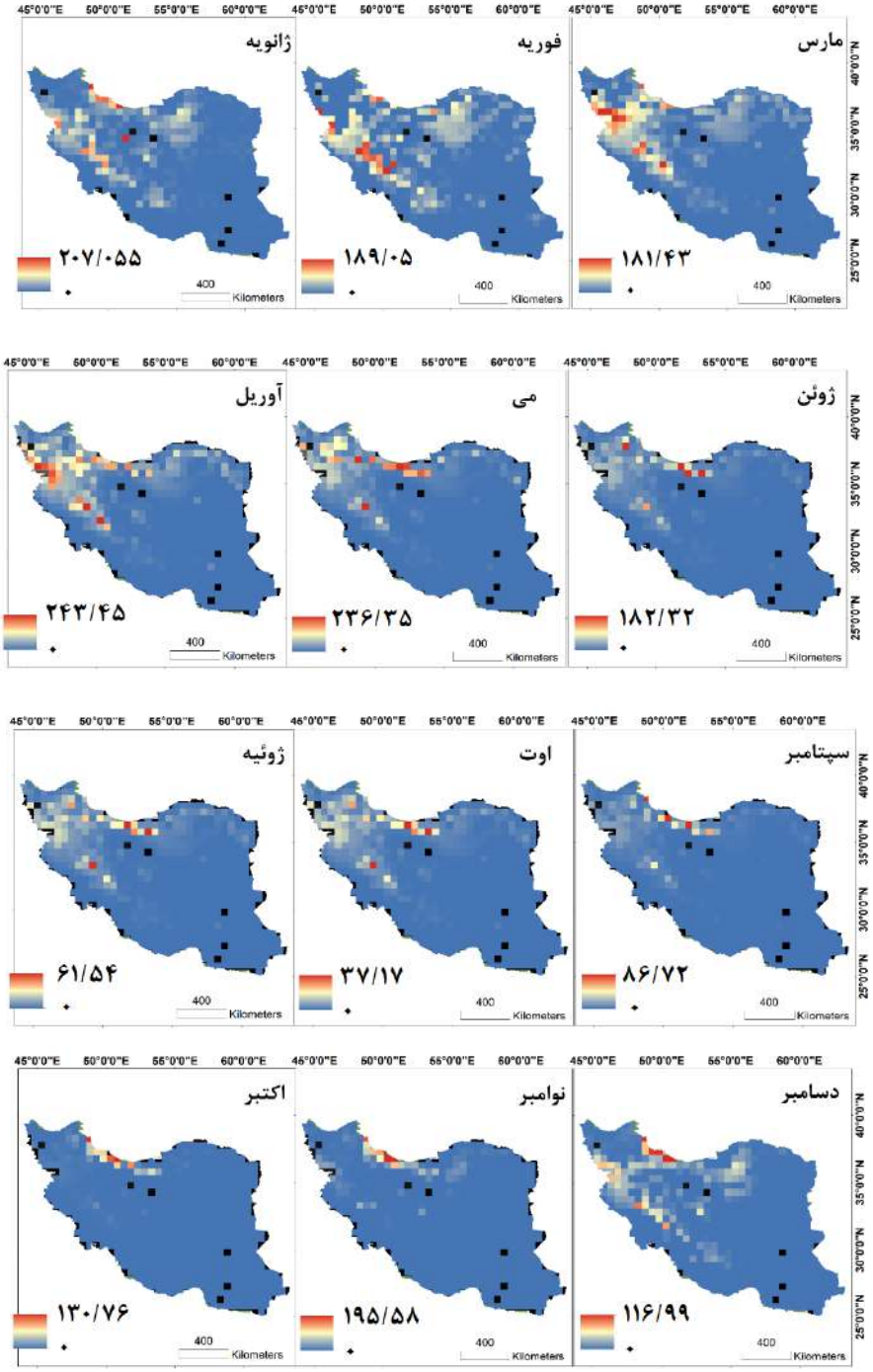


ج- دبی رودخانه کارون در ایستگاه پل شالو

شکل۲-۳۸: دبی رودخانه‌های اصلی در حوضه‌های آبریز (منبع: نگارندگان)

تغییرات ماهانه رواناب با استفاده از داده‌های GRDC[1] -مرکز داده‌ای جهانی رواناب- ترسیم شده است و در شکل ۲-۳۹ نمایش داده شده است. می، آوریل و ژانویه به ترتیب با دارا بودن روانابی به مقدار ۲۳۶، ۲۴۳ و ۲۰۷ میلیمتر در سال ماه‌هایی با بالاترین رواناب محسوب می‌شوند. اما ماه اوت با روانابی به مقدار ۳۷ میلیمتر در سال کمترین میزان رواناب را ثبت نموده است.

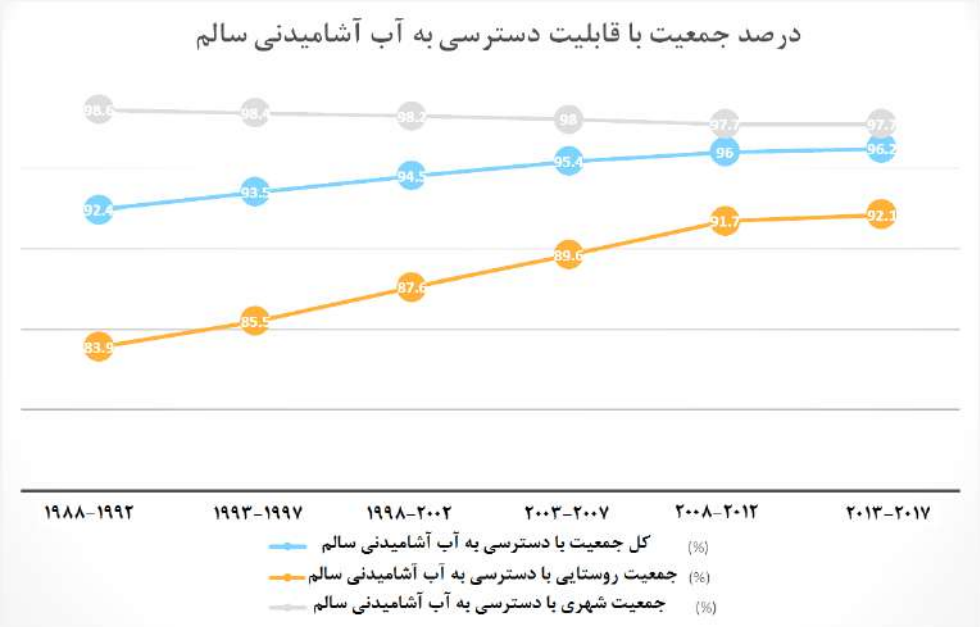
[1] Global runoff data center



شکل۲-۳۹: حجم رواناب ماهانه طی دراز مدت (منبع: نگارندگان)

در کنار کاهش جریانهای سطحی به دلیل کمبود بارش‌های جوی با توجه بـه افـزایش دمـا میـزان تبخیر افزایش زیادی پیدا کرده و می‌تواند به تشدید شرایط کم آبـی در جریانهـای سـطحی و بـه‌ویـژه تبخیر از سطح دریاچه‌های پشت سدها تأثیر زیادی بگذارد و مقدار کاهش ۷۱ درصـدی توسـط تبخیـر کشور را به مقادیر بالاتری سوق دهد.

از موضوعات مهم در بررسی آبهای سطحی توجه به کیفیت آنها می‌باشد. کیفیت آبهای سطحی بـر اساس استانداردهایی برای مصرف سه گانه شرب، کشاورزی و صنعتی مورد توجه است. هر قدر کیفیـت آبهای سطحی از استاندارد پایین‌تری برخوردار باشد هزینه‌های تصفیه بیشتری را مـی‌طلبـد. مطالعـات بیانگر این است که در نتیجه کاهش جریانهای سطحی، کیفیت آنها نیز کاهش مـی‌یابـد. شـکل ۲-۴۰ تغییرات درصد جمعیت با قابلیت دسترسی بـه آب آشـامیدنی سـالم طـی بـازه ۱۹۸۸ تـا ۲۰۱۷ (کـل جمعیت با خط آبی، جمعیت روستایی با خط قرمز و جمعیـت شـهری بـا خـط خاکسـتری) را نمـایش می‌دهد همانطور که این شکل نشان می‌دهد در نواحی شهری درصد جمعیتی که به آب سالم دسترسی دارند از سال ۲۰۰۷ به بعد با کاهش مواجه شده است در صورتیکه در روسـتاها ایـن جمعیـت افـزایش داشته است.



شکل۲-۴۰: تغییرات درصد جمعیت با قابلیت دسترسی به آب آشـامیدنی سـالم طـی بـازه ۱۹۸۸ تـا ۲۰۱۷ (کـل جمعیت با خط آبی، جمعیت روستایی با خط قرمز و جمعیت شهری با خط خاکستری مشخص است (URL 2-3)

در کل ویژگی جریان‌های سطحی در افق‌های آتی به صورت زیر خواهد بود:

در افق ۲۰۵۰، از موضوعات مهمی که وجود دارد تغییرات منابع آب ایران طی دوره‌های آینده است که برای این موضوع از مدل‌های آب و هوایی متفاوت و سناریوهای گوناگون استفاده می‌شود که نمونه‌ای از نتایج این مدل‌ها در جدول ۲-۷ ارائه شده است. این جدول تغییرات رواناب را در حوضه‌های مختلف سی گانه کشور نشان می‌دهد که افزایش یا کاهش دما و بارش نیز در کنار آن مشاهده می‌گردد، به طور نسبی بیشترین درصد کاهش رواناب به ترتیب مربوط به حوضه‌های بندرعباس-سدیج، کرخه و کارون به ترتیب به میزان ۶۵/۵- ، ۶۰/۵- و ۵۵- می‌باشد. در مقیاس محلی نیز مطالعاتی روی رواناب صورت گرفته شده به‌عنوان مثال در حوضه بازفت، روند افزایشی رواناب طی دوره‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ مشاهده می‌گردد (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵).

در رابطه با تغییرات منابع آب در ایران در افق ۲۱۰۰ ایران مطالعات اندکی در این راستا صورت گفته و بیشتر به‌صورت محلی بوده است. برای دوره آینده با مرکزیت ۲۰۵۰، ۲۰۷۰ و۲۱۰۰ مطالعه‌ی عباسی و اثمری (۱۳۹۰) برای بارش و دما قابل توجه است. دو مدل در این پژوه تحت ۱۸ سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شده است، نکته مهم در این شبیه سازیها این است که دو مدل مورد بررسی در این پژوهش نتایج متفاوتی را نشان داده است به طوریکه مدل HADCM2 کاهش بارش و مدل ECHAM4 افزایش بارشها را نشان داده است. این مدلها به‌طور کل افزایش دمای بالای ۳ درجه سانتیگراد را تا سال۲۱۰۰ تخمین زده‌اند.

همچنین طی بررسی دلقندی و موذن زاده (۱۳۹۵) مشخص شده مناطق مرکزی و حاشیه دریای خزر افزایش دمای ۳/۵ درجه سانتیگرادی و دیگر نقاط کشور افزایش دمای ۴/۵ درجه سانتیگرادی و کاهش ۴/۵ درصد در حجم بارشها را تا ۲۱۰۰ تجربه خواهند نمود. تبخیر و تعرق نیز به‌طور ناحیه‌ای در برخی نقاط ایران برای دوره‌های آتی مورد بررسی واقع شده است به‌عنوان مثال کوهی و ثنایی نژاد (۱۳۹۲) در ارومیه میزان افزایش تبخیر ۱۲/۵ و۱۴/۹ درصد را به ترتیب با ریز مقیاس نمایی مدل SDSM و LARSWG برای دوره با مرکزیت ۲۰۸۰ به دست آوردند. در نتیجه این افزایش دماها و یا کاهش بارشها کیفیت آبها کاهش می‌یابد و از میزان رواناب نیز کاسته می‌شود.

جدول۲-۷: درصد تغییرات رواناب ناشی از کاهش یا افزایش دما و بارش در حوضه‌های سی‌گانه کشور بر اساس سناریوهای خوشبینان، متوسط و بدبینانه در دوره‌ی ۲۰۳۱-۲۰۱۵ نسبت به دوره‌ی۱۹۸۲-۲۰۰۹ (فهمی،۱۳۹۳).

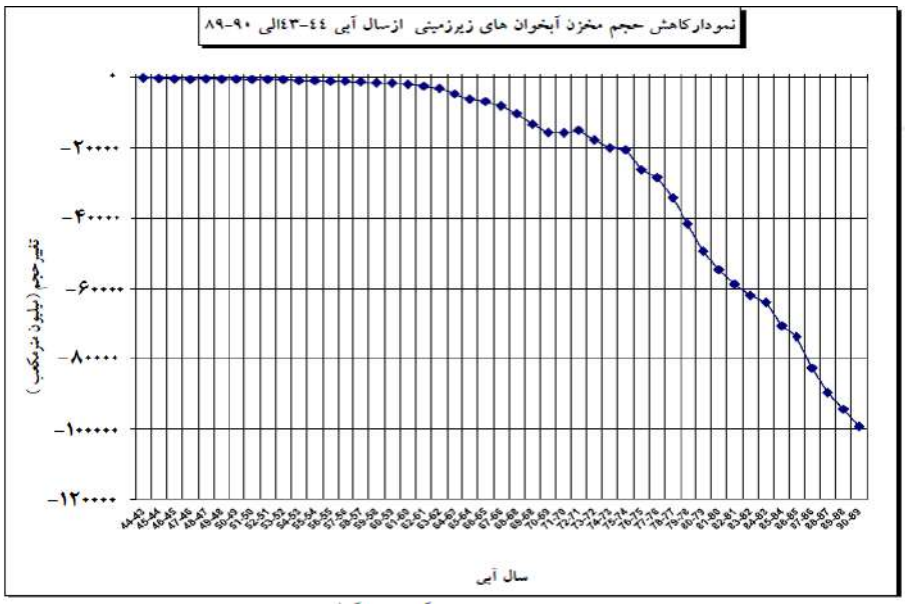
ردیف	نام حوضه	سناریوی خوشبینانه			سناریوی متوسط			سناریوی بدبینانه		
		T avg	P %	R	T avg	P %	R	T avg	P %	R
۱	ارس	۰/۳	+۱۰/۵	+۵/۰	۰/۷	+۳/۰	+۱/۰	۱/۰	-۸/۰	-۲۰/۰
۲	تالش-مرداب	۰/۱	+۱۵/۴	+۱/۰	۰/۶	+۶/۸	+۳/۹	۰/۸	-۵/۱	-۱۲/۵
۳	سفیدرود	۰/۱	+۱۵/۰	+۱۰/۰	۰/۶	+۱/۰	۰	۱/۰	-۶/۱	-۱۵/۰
۴	سفیدرود-هراز	۰/۱	+۱۷/۰	+۱۱/۰	۰/۶	+۳/۰	+۱/۰	۱/۱	-۵/۰	-۱۲/۵
۵	هراز قره سو	۰/۲	+۲۰/۵	+۱۲/۰	۰/۶	+۶/۱	+۲/۰	۱/۱	-۴/۰	-۱۰/۰
۶	قره سو- گرگان رود	۰/۲	+۱۵/۶	+۹/۰	۰/۶	+۳/۴	+۱/۵	۱/۴	-۱۲/۳	-۳۲/۰
۷	اترک	۰/۳	+۱۶/۱	+۷/۵	۰/۶	+۵	۰	۱/۰	-۵/۶	-۱۴/۰
۸	مرزی غرب	۰/۳	+۱۷/۷	+۹/۵	۰/۸	+۸/۹	+۵/۰	۱/۱	-۰/۵	-۱/۵
۹	کرخه	۰/۴	+۱۹/۳	+۵/۵	۰/۷	+۳/۰	+۱/۰	۱/۰	-۲۴/۶	-۶۰/۵
۱۰	کارون	۰/۴	+۷/۰	+۲/۰	۰/۷	-۸/۸	-۲۰/۰	۰/۹	-۲۱/۰	-۵۵/۰
۱۱	زهره-جراحی	۰/۴	+۲۷/۰	+۷/۵	۰/۷	-۶/۰	-۱۵/۰	۱/۰	-۲۱/۵	-۵۳/۰
۱۲	حله	۰/۳	+۲۷/۳	+۱۳/۰	۰/۶	-۰/۸	-۲/۰	۱/۰	-۱۹/۷	-۴۹/۰
۱۳	مند	۰/۴	+۴۸/۰	+۱۳/۰	۰/۷	+۱/۰	۰	۱/۰	-۲۲/۰	-۵۰/۰
۱۴	کل و مهران	۰/۴	+۴۰/۰	+۱۱/۵	۰/۷	+۱/۵	۰	۱/۱	-۲۲/۵	-۵۳/۰
۱۵	بندر عباس-سدیج	۰/۳	+۸۹/۱	+۲۹/۵	۰/۶	+۱۳	+۶/۲	۱/۱	-۲۶/۴	-۶۵/۵
۱۶	بلوچستان جنوبی	۰/۳	+۷۰/۵	+۲۳/۵	۰/۶	+۱۱/۵	+۵/۵	۱/۱	-۱۶/۵	-۴۱/۵
۱۷	دریاچه ارومیه	۰/۲	+۸/۳	+۴/۰	۰/۷	+۰/۲	۰	۱/۰	-۱۱/۷	-۲۹/۰
۱۸	دریاچه نمک	۰/۲	+۱۵/۱	+۹/۰	۰/۷	+۶/۵	+۳/۰	۱/۰	-۶/۳	-۱۵/۰
۱۹	گاوخونی	۰/۳	+۱۲/۰	+۴/۰	۰/۶	+۰/۳	-۴/۰	۰/۹	-۹/۰	-۲۲/۵
۲۰	طشک-بختگان	۰/۳	+۲۷/۳	+۱۳/۰	۰/۶	-۰/۸	-۲/۰	۱/۰	-۱۹/۷	-۴۹/۰
۲۱	ابرقو-سیرجان	۰/۳	+۴/۲	۰	۰/۷	-۶/۳	-۱۵/۰	۱/۰	-۱۷/۱	-۴۲/۰
۲۲	هامون-جازموریان	۰/۳	+۷۸/۵	+۲۶/۵	۰/۶	+۱۲/۵	+۶/۵	۱/۱	-۲۱/۵	-۵۳/۰
۲۳	کویر لوت	۰/۳	+۴/۰	۰	۰/۷	-۶/۵	-۱۵/۵	۱/۰	-۱۷/۵	-۴۳/۰
۲۴	کویر مرکزی	۰/۳	+۲۴/۶	+۱۲/۰	۰/۷	+۹/۰	۰	۱/۰	-۴/۱	-۱۱/۰
۲۵	کویر سیاه کوه	۰/۱	+۲۱/۶	+۱۲/۵	۰/۶	+۷/۶	+۲/۰	۰/۹	-۲/۲	-۸/۰
۲۶	کویر درانجیر	۰/۳	+۴/۲	۰	۰/۷	-۶/۳	-۱۵/۰	۱/۰	-۱۷/۱	-۴۲/۰
۲۷	پرگان-خواف	۰/۲	+۲۳/۶	+۱۲/۰	۰/۶	+۳/۵	۰	۱/۰	-۱۲/۵	-۳۱/۰
۲۸	هامون-هیرمند	۰/۳	+۵۲/۴	+۲۰/۰	۰/۶	+۹/۳	+۲/۰	۱/۱	-۵/۷	-۱۵/۰
۲۹	هامون مشکیل	۰/۳	+۵۱/۰	+۱۹/۵	۰/۶	+۹/۰	+۲/۰	۱/۱	-۶/۰	-۱۶/۰
۳۰	قره قوم-سرخس	۰/۲	+۲/۰	+۱/۰	۰/۶	-۴/۷	-۱۲/۰	۱/۰	-۱۵/۶	-۳۹/۰

۲-۱۱- اثر تغییر آب و هوا بر کمیت و کیفیت آبهای زیرزمینی کشور

در مورد آبهای زیرزمینی در ایران با توجه به اطلاعات موجود از ۶۰۹ نقطه، مشخص شد ۵۴۰ نقطه دارای آبخوان بوده و از این تعداد نیز تنها ۴۳۷ آبخوان از لحاظ آبدهی اهمیت بالایی دارند و وضعیت بهره برداری از آنها به سه دسته آزاد، ممنوعه، و ممنوعه بحرانی تقسیم شده است که وضعیت‌های

نامطلوب مثل نشست زمین و کاهش قابل توجه آبدهی در مناطق ممنوعه بحرانی دیده شده است و به ترتیب ۲۵۰، ۲۲۶ و ۶۴ آبخوان در وضعیت‌های فوق قرار گرفته‌اند و معضل بزرگ موجود در آبهای زیرزمینی کشور آن است که از این تعداد ۱۵۷ آبخوان دارای پتانسیل بالای آبدهی می‌باشند و بقیه با مشکلاتی مواجه‌اند(فهمی، ۱۳۹۳). در شکل۲-۴۱ کاهش حجم مخازن برای ایران به‌درستی قابل مشاهده است که ۸۰ درصد کاهش آن در ۱۵ سال اخیر رخ داده است.

از نظر مصرف آب در ایران بیشترین برداشت آب مربوط به بخش کشاورزی و پرورش آبزیان به مقدار ۹۱/۵ درصد یا ۹۱/۴۳ میلیارد متر مکعب است که حدود ۵۰ درصد برداشت از بخش سطحی و ۵۰ درصد از بخش زیرزمینی تأمین می‌شود. در ایران برداشت بخش خدمات شهری حدود ۶/۴۵ میلیارد متر مکعب است که ۶ درصد از کل برداشت از منابع آب کشور را به خود اختصاص داده است. حدود ۶۸ درصد از این برداشتها از منابع آب زیرزمینی و باقیمانده از منابع آب سطحی تأمین می‌شود. بخش صنعت و معدن نیز پس از این دودسته برداشت حدود ۱/۵ درصد از برداشتها را به خود اختصاص داده است که ۶۰ درصد آن از آبهای زیرزمینی تأمین می‌گردد.



شکل۲-۴۱: کاهش حجم مخازن آبهای زیرزمینی طی سالهای آبی ۱۳۴۴-۱۳۴۳ تا ۱۳۸۹-۱۳۹۰(فهمی،۱۳۹۳)

۲-۱۲- اثر تغییر آب و هوا روی دریاچه‌های کشور

ایران دارای حدود سی دریاچه بزرگ و کوچک است که جدول ۲-۸ مشخصات مهمترین آنها را نشان می‌دهد. اگر دریاچه‌های پشت سدهای بزرگ کشور نیز به این رقم اضافه شود دریاچه‌های زیادی

در کشور وجود دارد که همه آنها طی سالهای اخیر اثرهای مختلفی از تغییر آب و هوا را تجربه نموده‌اند و امروزه با دلایل مختلف و از جمله تغییر آب و هوا دیگر اثری از این دریاچه‌ها در سطح زمین باقی نمانده است. تغییرات ناشی از جریانها و بارشها بر روی دریاچه‌ها نیز تأثیر بسیار زیادی داشته است به طوریکه دریاچه‌های متعددی در ایران دستخوش تحولات گسترده‌ای گردیده‌اند.

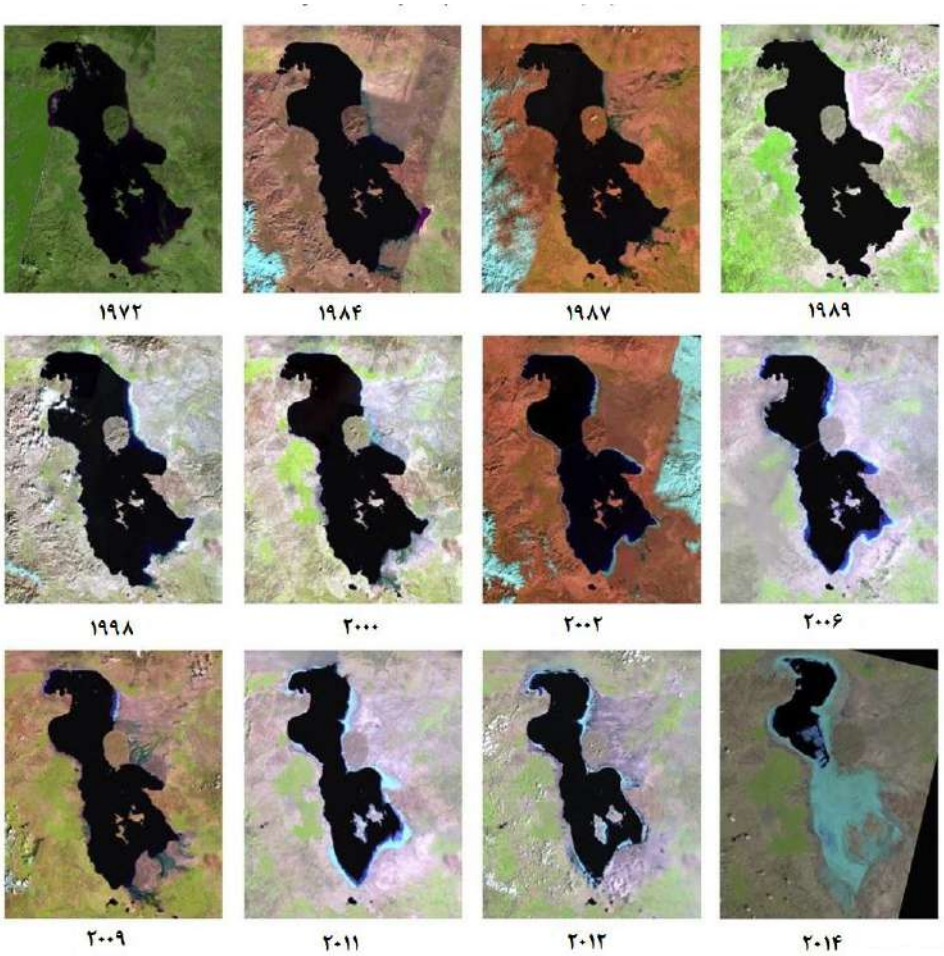
جدول۲- ۸- مشخصات مهمترین دریاچه‌های کشور(URL 2-4)

ردیف	نام	موقعیت	ارتفاع	عمق در پرآبی به متر	مساحت	وضعیت حاضر
۱	کافتر	۱۱۰ کیلومتری شیراز	۲۳۰۷	۵,۳	۷۰۰۰ هکتار	خشک
۲	آلاگل	۷۵ کیلومتری گنبد کاووس	۶	۲,۵	۲۵ کیلومتر مربع	موجود
۳	آجی گل	۷۵ کیلومتری گنبد کاووس	۴	-	۳۲۰ هکتار	موجود
۴	ارومیه	میان آذربایجان شرقی و غربی	۱۲۶۷	۱۲	۵۲۰۰ کیلومتر مربع	خشک
۵	کیو	شمال غرب خرم آباد	۱۲۰۰	۷	۷ هکتار	موجود
۶	گهر	شهرستان دورود	۲۳۵۰	۴-۲۸	۸۸ هکتار	موجود
۷	نمک	۳۵ کیلومتری شهرستان آران و بیدگل	۷۹۰	۱	۳۰۰۰ کیلومتر مربع	اکثرا خشک
۸	نمک حوض سلطان	۴۰ کیلومتری شمال شهرستان قم	۷۱۰	۱	۲۴۰ کیلومتر مربع	اکثرا خشک
۹	بختگان	استان فارس	۵۵۸	-	۲۵۰۰ کیلومتر مربع	خشک
۱۰	جازموریان	مرز سیستان و کرمان	۳۵۰	۱-۵	۶۹۶۰۰ کیلومتر مربع	متغیر
۱۱	هامون	استان سیستان و بلوچستان	۱۱۰۰	-	۵۶۶۰ کیلومتر مربع	موجودیت موقتی

ردیف	نام	موقعیت	ارتفاع	عمق در پرآبی به متر	مساحت	وضعیت حاضر
۱۲	طشک	160 کیلومتری شرق شیراز	۱۵۵۸	-	۸۰۰ کیلومتر مربع	خشک
۱۳	مهارلو	۲۲ کیلومتری جن.ب شرق شیراز	۱۵۰۰	۲	۶۰۰ کیلومتر مربع	خشک
۱۴	ولشت	۲۵ کیلومتری جاده چالوس	۹۳۵	۲۲	۱۵. کیلومتر مربع	موجود
۱۵	شورمست	۵,۵ کیلومتری شهر پل سسفید	۹۴۰	۵	۱۵۰۰۰ کیلومتر مربع	موجود
۱۶	تار	۱۵ کیلومتری شرق دماوند	بیش از ۳۰۰۰	۵	۵۲. کیلومتر مربع	موجود
۱۷	قوری گل	۴۵ کیلومتری تبریز	۱۳۰۰	۵	۲۰۰ هکتار	موجود
۱۸	اوان	۷۵ کیلومتری قزوین	۱۸۱۵	۷	۷۰۰۰۰ متر مربع	موجود
۱۹	برنگار	۱۲۰ کیلومتری مشهد	۱۷۲۵	۹-۱۲	۸۰ هکتار	موجود
۲۰	زریوان	۳ کیلومتری غرب مریوان	۱۲۸۵	۶	۸ کیلومتر مربع	در خطر خشک شدن
۲۱	هامون پوزک	مرز ایران و افغانستان	۱۱۰۰	۳	۱۶۰۰ کیلومتر مربع	موجود
۲۲	نئور	۴۸ کیلومتری جنوب شرق اردبیل	۲۵۰۰	۵	۲۱۰ هکتار	موجود
۲۳	پریشان	۱۵ کیلومتری جنوب شرق کازرون	۸۲۰	۵	۴۳۰۰ هگتار	در بیشتر قسمت ها، خشک

نمونه بارز این دریاچه‌ها، دریاچه ارومیه است که در طی سالهای اخیر به دلیل مدیریت غلط و ایجاد سدهای مختلف به منظور ذخیره آبهای سطحی رودخانه‌های جاری به دریاچه ارومیه احداث شده

و عملاً ورود آب به دریاچه را به حداقل ممکن کاهش داده و در کنار افزایش دما، کاهش بارش‌های جوی، افزایش تبخیر و احداث میان گذر دریاچه ارومیه سال به سال از وسعت آن کاسته شده است. امروزه اقدامات مختلفی برای احیاء آن انجام شده است که توفیق چندانی را به دنبال نداشته است. شکل ۲-۴۲ تغییرات دریاچه ارومیه طی بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۷۲ نشان می‌دهد.



شکل۲-۴۲: تغییرات دریاچه ارومیه طی سالهای ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۴(URL 2-5)

۲-۱۳- اثر تغییر آب و هوا در افزایش سطح آب دریاهای کشور

مطالعات متعددی در خصوص افزایش دما و تأثیر آن بر افزایش سطح آب در دنیا انجام شده است که نتایج آنها بیانگر به زیر آب رفتن برخی از جزایر و سواحل کشورهای مختلف است که باعث مهاجرت عده کثیری از جمعیت ساکن در این مناطق شده است.

گزارش‌ها نشان می‌دهد که در قرن گذشته سطح دریاها ۱۷ سانتیمتر با نرخ رشد ۱/۷۵ میلیمتر در هر سال افزایش داشته است (IPCC, 2001b). گزارش چهارم هیئت بین الدول تغییرات آب و هوایی نشان می‌دهد که سطح آب دریاها در سال ۲۱۰۰ بیش از ۵۹ سانتی‌متر افزایش خواهد داشت (IPCC, 2007a). با توجه به اثرهای بالا آمدن سطح دریا بر بیشتر مناطق ساحلی دنیا که باعث تحت تأثیر قرار گرفتن ۴۰۰ میلیون نفر از جمعیت ساکن در این مناطق خواهد شد می‌توان گفت این پدیده یک تهدید جهانی محسوب می‌شود(Tolba and Saab, 2009).

در ایران در دریای خزر با توجه به اینکه این دریا به دریاهای آزاد راه ندارد به نظر می‌رسد افزایش سطح آب اقیانوس‌ها نمی‌تواند تأثیر چندانی در افزایش سطح آب این دریا داشته باشد. اما مهمترین عاملی که می‌تواند روی ارتفاع خزر تأثیر داشته باشد رودخانه‌هایی هستند که آن را تغذیه می‌کنند. به طور کلی ۸۰ درصد منبع آب دریای خزر از رودخانه ولگا تأمین می‌شود (Roshan et al., 2012)، به همین دلیل اگر تغییری در رودخانه ولگا اتفاق بیافتد روی ارتفاع دریای خزر تأثیر می‌گذارد. ارتفاع دریای خزر در سال ۱۸۶۰ چیزی حدود ۲۵ متر پایین‌تر از دریاهای آزاد بود اما بعد در سال ۱۹۸۰ این میزان به ۲۰ متر رسید و از آن موقع به ۲۷ متر رسیده است. مطالعات نشان می‌دهند که به دلیل افزایش نیازهای آبی در آینده میزان آب ورودی از رود ولگا به دریاچه کاهش پیدا می‌کند و از طرفی هم به دلیل افزایش دما، میزان تبخیر در این دریاچه افزایش پیدا کرده و این دو عامل منجر به کاهش ارتفاع آب دریای خزر به ۳۵ متر پایین‌تر از سطح آزاد دریاها تا سال ۲۱۰۰ می‌شود. در عین حال مطالعه روشن و همکاران (۲۰۱۲) نشان‌دهنده نتیجه عکس این موضوع می‌باشد. اعتقاد آنها بر این است که به دلیل افزایش بارش، افزایش دبی همراه آن در حوضه ولگا رخ خواهد داد که باعث افزایش سطح آب دریای خزر به اندازه ۸۶ و ۱۶۳ سانتی‌متر به ترتیب برای سالهای ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ خواهد شد و در نتیجه انتظار می‌رود خط ساحلی نیز به طرف خشکی پیشروی نماید.

در مورد خلیج‌فارس و دریای عمان که با آبهای آزاد متصل هستند و دو عامل انبساط آب به دلیل گرما و آب شدن یخ‌های قطبی هر دو می‌توانند روی افزایش سطح آب آن تأثیر گذار باشند، با توجه به این موضوع هرگونه تغییری روی ارتفاع سطح آب اقیانوس‌ها وضعیت جزایر مسکونی مشهوری مثل کیش، قشم، ابوموسی، تنب بزرگ و کوچک، خارک، هرمز، مینو، هنگام، هندرابی، فارسی، لاوان و ... را تحت تاثیر قرار می‌دهد و همچنین انبوهی از جزایر فعلی غیر مسکونی را در خلیج‌فارس و دریای عمان تغییر می‌دهد. خوشبختانه دلایل متفاوتی مثل شیب سواحل و ارتفاع جزایر باعث شده تا جزایر ایرانی تاکنون آسیبی نبینند، اما افزایش دمای زمین ادامه دارد، تا پایان قرن سرعت افزایش ارتفاع سطح آب دریاها بیشتر هم می‌شود و به همین دلیل سرنوشت نامعلومی در انتظار جزایر مارشال، جزایر سلیمان و ... است. از سویی چون این دو دریا به آبهای آزاد وصل هستند می‌توان با پیش‌بینی میزان افزایش ارتفاع سطح آب در اقیانوس‌های دنیا این وضعیت را برای جنوب ایران هم بررسی نمود.

۲-۱۴- اقدامات سازگاری در منابع آب درکشور

اقدامات سازگاری در ایران باید به صورت محلی در نظر گرفته شود کما اینکه این اقدامات محلی باید با توجه به مقیاسهای بزرگتر و با در نظر گرفتن تمامی جوانب یک منطقه اجرا شود. در ایران حوضه‌های آبریز از لحاظ شدت معضلات آینده مدیریت منابع آب به شرح جدول ۲-۹ تقسیم بندی شده‌اند (فهمی،۱۳۹۳):

جدول۲-۹: تقسیم بندی حوضه‌ها از لحاظ شدت معضلات آب (فهمی، ۱۳۹۳)

ملاک طبقه بندی حوضه های آبریز	نام حوضه آبریز	رتبه بندی	احتمال تشدید مسائل در آینده	رهیافت کلی
حوضه هایی که دارای رشد و تراکم جمعیتی زیاد و درصد بهره برداری بالا از منابع بالقوه هستند	دریاچه نمک، زاینده رود،هریر رود، کشف رود، بختگان، مهارلو و گرگان	درجه یک	زیاد وکنترل بسیار دشوار است	به تدابیر ویژه مدیریتی در سطح بالای مملکتی نیاز دارد
حوضه هایی که دارای و تراکم جمعیتی کم و درصد بهره برداری بالا از منابع آب بالقوه هستند	بیاهکوه، دشت برخ، درانجیر، مرکزی، کارشور، ابرقوسیرجان، جازموریان، میناب، بندر عباس، لوت، رودگل، اترک، مشکین، خواف ومند	درجه دو	زیاد وقابل کنترل	هماهنگی در آمایش سرزمین می تواند بسیار کارساز باشد
حوضه هایی که دارای و تراکم جمعیتی کم و درصد بهره برداری بالا از منابع آب هستند اما توسعه منابع آب در انها با مشکلات طبیعی عمده ای روبرو است	ساحلی خلیج فارس، بلوچستان جنوبی، جزایر خلیج فارس	درجه سه	زیاد وقابل کنترل	هماهنگی در آمایش سرزمین می تواند بسیار کارساز باشد
حوضه هایی که علی رغم تراکم جمعیتی زیاد امکانات توسعه منابع آب در حد مناسب وجود دارد	کرخه، ارس، دز، کارون، طالش، مرزی غرب	درجه چهار	کم است	پیش بینی طرح های توسعه می تواند کارساز باشد
حوضه هایی که در آنها تراکم جمعیت کم و امکانات توسعه منابع آب بسیار زیاد است	مارون، جراحی، زهره، هندیجان،هامون هیرمند	درجه پنج	کمترین است	پیش بینی طرح های توسعه و هماهنگی در آمایش سرزمین می تواند کارساز باشد

ایران در زمینه سازگاری و مدیریت منابع آب رویکردهای اصلی زیر را در نظر گرفته است(فهمی،۱۳۹۳):

الف-تلاش در جهت تحقق جامعه‌ای برخوردار از سلامت، رفاه، امنیت غذایی، فرصت‌های برابر، توزیع مناسب درآمد، بهره‌مند از محیط زیست مطلوب: در این زمینه بخش آب با رعایت برخی موارد نظیر ظرفیت تحمل اکوسیستم‌ها در زمینه توسعه پایدار و امنیت غذایی و سلامت گام بر می‌دارد.

ب-ارتقای بهره‌وری و توجه به ارزش اقتصادی، امنیتی، سیاسی و زیست‌محیطی آب در استحصال و عرضه و نگهداری و مصرف آن که شامل ارتقای بهره‌وری آب در بخش‌های مختلف، ساماندهی بهره‌برداری بهینه از آب و غیره است.

ج-مهار آبهایی که از کشور خارج می‌شود و اولویت استفاده از منابع آبهای مشترک

د-انتقال آب بین حوضه‌ای و مبادله آب که در چارچوب منافع ملی و با در نظر گرفتن ظرفیت‌های کشورهای همجوار صورت می‌پذیرد.

ه-آمایش سرزمین و مدیریت به هم پیوسته منابع آب بدین معنی که مدیریت حوضه‌های آبریز به عنوان یکی از موارد آمایش سرزمین باید در برنامه‌ریزهای کلان مورد توجه قرار گیرد.

و-جامع نگری در مدیریت منابع آب باهدف تعادل پایدار بین عرضه و تقاضای آب است.

ز-تقویت مشارکت مردمی

ح-جلب و تجهیز منابع مالی و سرمایه‌گذاری و اجرای سیاست‌های اصل ۴۴ قانون اساسی

ت-آب و توسعه پایدار با هدف حفاظت از منابع آب و جلوگیری از تخریب آن و توسعه و بهره‌برداری از منابع آب بهینه می‌باشد.

ی-آب شرب و خدمات فاضلاب در سند چشم انداز به‌منظور تکمیل پوشش دهی مورد توجه می‌باشد.

رویکردهای درازمدت سازگاری نیز مدنظر می‌باشد. این رویکردها شامل تدوین برنامه‌های ملی تغییر آب و هوا با تدوین و تصویب سیاست‌هایی در بخش تغییر آب و هوا در سطوح بخشی و ملی، ارتقای اطلاعات و داده‌های لازم برای مدیریت منابع آب، مدیریت عرضه و تقاضا با حفظ تعادل آنها، توسعه‌ی نیروگاههای برق آبی، روشهای مهندسی اصلاح آب و هوا و... می‌باشد.

منابع فصل دوم

الماسی، پ، سعید سلطانی، مسعود گودرزی، رضا مدرس، ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییرآب و هوا بر رواناب سطحی در حوضه آبخیز بازفت، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) سال ۲۰، شماره ۷۸، ص ۵۲-۳۹.

دارند، م، ۱۳۹۴. ارزیابی و شناخت تغییرآب و هوا در ایران زمین طی دهه‌های اخیر، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد ۹، شماره ۳۰، ص ۱۴-۱.

دفترطرح ملی تغییرآب و هوا ایران، ۱۳۹۴. تغییر پذیری و تغییرآب و هوا در ایران.

دلقندی،م، روزبه موذن زاده، ۱۳۹۵. بررسی تغییرات مکانی ـ زمانی بارش و دمای ایران تحت شرایط تغییر آب و هوا با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار، اکوهیدرولوژی ،دوره۳،شماره۳، صص ۳۳۱-۳۲۱.

سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶. آشکارسازی، ارزیابی اثرات و چشم انداز تغییرآب و هوا در ایران طی قرن بیست و یکم.

عباسی ،ف، مرتضی اثمری،۱۳۹۰. پیش بینی و ارزیابی تغییر ات بارش دما و های ایران در دهه‌های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN، نشریه آب و خاک،۲۵، ۱، ۸۳-۷۰.

عباسی،ف، ایمان بابائیان، شراره ملبوسی، مرتضی اسمری، لیلی گلی مختاری، ۱۳۹۱. ارزیابی تغییراقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره اول،ص ۲۳۰-۲۰۵.

علیجانی، ب، ۱۳۷۴. آب و هوای ایران، انتشارات پیام نور.

فرج زاده، م، ۱۳۹۲. مخاطرات آب و هوایی ایران، انتشارات سمت.

فهمی، ه،۱۳۹۳. ارزیابی آسیب پذیری و سازگاری زیربخش: منابع آب، سومین گزارش ملی تغییر آب و هوا جهت ارائه به دبیرخانه کنوانسیون (UNFCCC)،دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا.

کوهی، م، ثنایی نژاد، ح،۱۳۹۲. بررسی سناریوهای تغییراقلیم بر اساس نتایج حاصل از دو روش ریزمقیاس گردانی آماری برای متغیر تبخیر-ارومیه تعرق مرجع در منطقه ،نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴، ۷، ۵۵۹-۵۷۴.

مسعودیان، الف، ۱۳۹۱.آب و هوای ایران، انتشارات شریعه توس.

مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران، ۱۳۹۵، گزارش‌های فنی، آمار و اطلاعات.

موحد دانش، ع.الف، ۱۳۷۳. هیدرولوژی آبهای سطحی ایران، انتشارات سمت.

وزارت نیرو،۱۳۹۷. گزارش آماری ماهانه، انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق. دفتر برنامـه و بودجه، گروه آمار و برنامه ریزی تلفیقی.

Arndt, D.S., Baringer, M.O., and M.R. Johnson (eds.)., 2010: State of the climate in 2009. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(7), S1-S224.

Arnell,N.W., 1999: Climate change and global water resources, Global Environmental Change 9 (1999) S31}S49.

Arnell, N.W. and S.N. Gosling., 2013: The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. *Journal of Hydrology*, 486, 351-364.

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, and J.P. Palutikof (eds.), 2008: Climate Change and Water. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Technical Paper VI, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland, 210 pp.

Bolch, T., A. Kulkarni, A. Kaab, C. Huggel, F. Paul, J.G. Cogley, H. Frey, J.S. Kargel, K. Fujita, M. Scheel, S. Bajracharya, and M. Stoffel., 2012: The state and fate of Himalayan glaciers. *Science*, 336(6079), 310-314.

Beaglehole, R. and R. Bonita, 2008: Global public health: a scorecard. *Lancet*, **372(9654)**, 1988-1996.

Boko, M., Niang, I., Nyong, A., Vogel, C., Githeko, A., Medany, M., Osman-Elasha, B., Tabo, R. & Yanda, P., 2007: Africa. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (ed. By M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden & C. E. Hanson) 433-467, Cambridge University Press, Cambridge UK.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton., 2007: Regional Climate Projections. In: Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Cicerone R., Nurse,P., 2014: Climate Change Evidence & Causes, An overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences.

Crosbie, R.S., B.R. Scanlon, F.S. Mpelasoka, R.C. Reedy, J.B. Gates, and L. Zhang., 2013: Potential climate change effects on groundwater recharge in the High Plains Aquifer, USA. *Water Resources Research*, 49(7), 3936-3951.

Cruz, R.V., H. Harasawa, M. Lal, S. Wu, Y. Anokhin, B. Punsalmaa, Y. Honda, M. Jafari, C. Li and N. Huu Ninh., 2007: Asia. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability . Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change , M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 469-506.

Dai, A., K.E. Trenberth and T. Qian., 2004: A global data set ofPalmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. J. Hydrometeorol., 5, 1117–1120.

Dai, S.B., X.X. Lu, S.L. Yang, and A.M. Cai., 2008: A preliminary estimate of human and natural contributions to the decline in sediment flux from the Yangtze River to the East China Sea. Quaternary International, 186(1), 43-54.

Dai, A., T. Qian, K.E. Trenberth, and J.D. Milliman., 2009: Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. *Journal of Climate*, 22(10), 2772-2792.

Döll, P., 2009: Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment. Environmental Research Letters, 4(3), 035006, doi:10.1088/1748-9326/4/3/035006.

Engelhardt, I., Prömmel,K., 2012: Impact of long-term changes in climate on groundwater resources in an arid setting, Models – Repositories of Knowledge (Proceedings ModelCARE2011 held at Leipzig, Germany, in September 2011) (IAHS Publ. 355, 2012), 298-305.

Feyen, L., R. Dankers, K. Bodis, P. Salamon, and J.I. Barredo., 2012: Fluvial flood risk in Europe in present and future climates. *Climatic Change*, 112(1), 47-62.

Fu, G., S.P. Charles, and J. Yu., 2009: A critical overview of pan evaporation trends over the last 50 years. *Climatic Change*, 97(1-2), 193-214.

Hirabayashi, Y., R. Mahendran, S. Koirala, L. Konoshima, D. Yamazaki, S. Watanabe, and S. Kanae., 2013: Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3, 816-821.

Harris, C., L.U. Arenson, H.H. Christiansen, B. Etzelmüller, R. Frauenfelder, S. Gruber, W. Haeberli, C. Hauck, M. Hoelzle, O. Humlum, K. Isaksen, A. Kääb, M.A. Kern-Lütschg, M. Lehning, N. Matsuoka, J.B. Murton, J. Noezli, M. Phillips, N. Ross, M. Seppälä, S.M. Springman, and D.V. Mühll., 2009: Permafrost and climate in Europe: monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. Earth-Science Reviews, 92(3-4), 117-171.

Hunter, P.E., MacDonald, A.M and Carter, R.C., 2010: Water supply and health. PLOS Medicine 7 (11) e1000367. doi:10.1371/journal.pmed.1000367.

Gardner, A.S., G. Moholdt, J.G. Cogley, B. Wouters, A.A. Arendt, J. Wahr, E. Berthier, R. Hock, W.T. Pfeffer, G. Kaser, S.R.M. Ligtenberg, T. Bolch, M.J. Sharp, J.O. Hagen, M.R. van den Broeke, and F. Paul., 2013: A reconciled estimate of glacier contributions to sea level rise: 2003 to 2009. *Science*, 340(6134), 852-857.

Ghasemifar, E., Mohammadi C. Farajzadeh, M., 2018: Spatiotemporal analysis of snow cover in Iran based on topographic characteristics, Theoretical and Applied Climatology, https://doi.org/10.1007/s00704-018-2690-3.

Griffiths-Sattenspiel, B. and W. Wilson., 2009: *The Carbon Footprint of Water*. A River Network Report, River Network, Portland, OR, USA, 49 pp

IPCC, 2001a: Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. J.T. Houghton et al. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., and New York.

IPCC, 2001b: climate change 2001, synthesis report, by R. Watson and Core Writing Team (eds.), Cambridge university press.

IPCC, 2007a: The Physical Science Basis, Working Group I – Technical Summary. Summary for policymakers, working group I of the intergovernmental panel on climate change.

Jiménez Cisneros, B.E., T. Oki, N.W. Arnell, G. Benito, J.G. Cogley, P. Dll, T. Jiang, and S.S. Mwakalila., 2014: Freshwater resources. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 229-269.

Kääb, A., E. Berthier, C. Nuth, J. Gardelle, and Y. Arnaud., 2012: Contrasting patterns of early twenty-first-century glacier mass change in the Himalayas. *Nature*, 488(7412), 495-498.

Kalra, A., T.C. Piechota, R. Davies, and G.A. Tootle., 2008: Changes in US streamflow and western US snowpack. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(3), 156-163.

Katul, G. and Novick, K., 2009: Evapotranspiration. In: *Encyclopedia of Inland Waters*[Likens, G.E. (ed.)]. Academic Press, Waltham, MA, USA, pp. 661-667.

Kingston, D.G., M.C. Todd, R.G. Taylor, J.R. Thompson, and N.W. Arnell., 2009: Uncertainty in the estimation of potential evapotranspiration under climate change. *Geophysical Research Letters*, 26, L20403, doi:10.1029/2009GL040267.

Knutson, T.R., J.L. McBride, J. Chan, K. Emanuel, G. Holland, C. Landsea, I. Held, J.P. Kossin, A.K. Srivastava, and M. Sugi., 2010: Tropical cyclones and climate change.*Nature Geoscience*, 3(3), 157-163.

Kirshen, P., 2007: Adaptation Options and Cost in Water Supply. United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, 57 pp Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A. Shiklomanov., 2007: Freshwater resources and their management. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 173-210.

Kundzewicz, Z.W., S. Kanae, S.I. Seneviratne, J. Handmer, N. Nicholls, P. Peduzzi, R. Mechler, L.M. Bouwer, N. Arnell, K. Mach, R. Muir-Wood, G. R. Brakenridge, W. Kron, G. Benito, Y. Honda, K. Takahashi, and B. Sherstyukov., 2013: Flood risk and climate change – global and regional perspectives. Hydrological Sciences Journal (in press),), doi:10.1080/02626667.2013.857411.

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao., 2007: Global Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis.Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005: Ecosystems and Human Well-being:

MLIT (Ministry of Land, Infrastructure, Transportation and Tourism in Japan), 2011: Water Resources in Japan. http://www.mlit.go.jp/common/000160806.pdf.

Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, P., van der Linden, P. J. and Hanson, C. E. (eds), 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC , Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li, L. Zhou, H. Liu, Y. Ma, Y. Ding, P. Friedlingstein, C. Liu, K. Tan, Y. Yu, T. Zhang, and J. Fang., 2010: The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467(7211), 42-51.

Roshan, G, Moghdel, M, Grab, S., 2012: Modeling Caspian sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations, Iranian journal of environmental health science & engineering, Vol. 9, No. 24, P 1-10.

Seneviratne, S.I., T. Corti, E.L. Davin, M. Hirschi, E.B. Jaeger, I. Lehner, B. Orlowsky, and A.J. Teuling., 2010: Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(2-4), 125-161.

Seneviratne, S.I., N. Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang., 2012: Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-123.

Sheffield, J. and E.F. Wood., 2008: Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate Dynamics*, 31(1), 79-105.

Seidu, R., T.A. Stenstrm, and L. Owe., 2013: A comparative cohort study of the effect of rainfall and temperature on diarrhoeal disease in faecal sludge and nonfaecal sludge applying communities, Northern Ghana. *Journal of Water and Climate Change*, 4(2), 90-102.

Stahl, K., L.M. Tallaksen, J. Hannaford, and H.A.J. van Lanen., 2012: Filling the white space on maps of European runoff trends: estimates from a multi-model ensemble. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), 2035-2047.

Takala, M., J. Pulliainen, S.J. Metsamaki, and J.T. Koskinen., 2009: Detection of snowmelt using spaceborne microwave radiometer data in Eurasia from 1979 to 2007. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(9), 2996-3007.

Tolba, Mostafa, K., Najib, W., Saab., 2009, Arab environment climate change, Arab forum for environment and development.

Vörösmarty, C.J., P.B. McIntyre, M.O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S.E. Bunn, C.A. Sullivan, C.R. Liermann, and P.M. Davies., 2010: Global threats to human water security and river biodiversity. Nature, 467(7315), 555-561.

Wang, A., D.P. Lettenmaier, and J. Sheffield., 2011: Soil moisture drought in China,1950-2006. Journal of Climate, 24(12), 3257-3271.

Wang, H., Z. Yang, Y. Saito, J.P. Liu, X. Sun, and Y. Wang., 2007: Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): impacts of climate change and human activities. Global and Planetary Change, 57(3-4), 331-354.

Wang, J., Sabrina, G. S. A. Rothausen, C. Declan, Z. Lijuan, X. Wei, P.H. Ian, and L. Yumin., 2012: China's water-energy nexus: greenhouse-gas emissions from groundwater use for agriculture. Environmental Research Letters, 7(1), 014025, doi:10.1088/1748-9226/7/1/014025.

Yan, X., H. Akiyama, K. Yagi, and H. Akimoto., 2009: Global estimations of the inventory and mitigation potential of methane emissions from rice cultivation conducted using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines. *Global Biogeochemical Cycles*, 23, GB2002, doi:10.1029/2008GB003299.

Zhang, X., F.W. Zwiers, G.C. Hegerl, F.H. Lambert, N.P. Gillett, S. Solomon, P.A.Stott, and T. Nozawa., 2007: Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. Nature, , 448(7152), 461-465.

Zhang, X. and X. Cai., 2013: Climate change impacts on global agricultural water deficit. *Geophysical Research Letters*, 40(6), 1111-1117.

URL 2-1: http://www.factsofbelgium.com/river-world-map

URL 2-2: http://assets.panda.org/downloads/glacierspaper.pdf

URL 2-3: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html

URL 2-4: https://fa.wikipedia.org/wiki/دریاچه‌های_ایران

URL 2-5: https://www.theguardian.com/world/iran-blog/2015/jan/23/iran-lake-urmia-drying-up-new-research-scientists-urge-action#img-2

فصل سوم

تغییر آب و هوا و کشاورزی

۳-۱- مقدمه

زمین‌های کشاورزی (زمین‌هایی که برای تولید محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند) حدود ۵۰ درصد از سطح زمین را پوشانده‌اند. کشاورزی مقدار مهمی از گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسید کربن، متان و دی اکسید نیتروژن را وارد جو می‌کند. دی‌اکسید کربن تا حد زیادی از فساد میکروبی یا سوزاندن بستر بوته و ماده آلی خاک رها می‌شود. هنگامیکه مواد آلی در شرایط عاری از اکسیژن (به‌ویژه از فرایند هضم تخمیری توسط دام نشخوارکننده) تجزیه شوند، متان تولید می‌شود. همچنین این گاز از کود ذخیره شده و از رشد برنج تحت شرایط غرقابی نیز رها می‌شود. دی اکسید نیتروژن از طریق تغییر شکل میکروبی[1] نیتروژن در خاک و کود تولید می‌شود و به ویژه در شرایط مرطوب، اغلب هنگامی افزایش می‌یابد که در آن نیتروژن موجود (N) بیش از نیاز گیاه باشد. کشاورزی مهمترین نقش را در سیستم غذایی انسانها بازی می‌کند. یک سیستم غذایی، شامل همه‌ی فرایندهایی است که در رضایت جمعیت از امنیت غذایی نقش ایفا می‌کند و شامل مراحل کاشت، داشت، برداشت محصول(جنبه‌های تولیدی)، نگهداری، فراوری، بسته‌بندی، انتقال، بازاریابی و مصرف مواد غذایی (جنبه‌های غیر تولیدی)

[1] microbial transformation

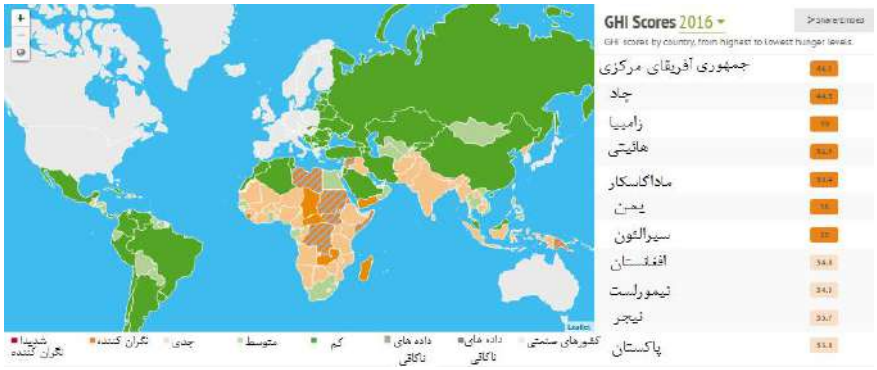
می‌باشد. با توجه به اینکه جمعیت جهان و به تبع آن تقاضای محصولات کشاورزی افزایش یافته است و همچنین با توجه به مطالب ذکر شده، کشاورزی نیز به عنوان بخشی مهم در تغییر آب و هوایی دهه‌های اخیر نقش داشته است. در این فصل انتشار گازهای گلخانه‌ای از این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد و راه‌های سازگاری با تغییرات مورد بحث واقع خواهد شد.

۳-۲- روندهای توسعه در بخش کشاورزی و پیامدهای آن

فشار جمعیت، تغییرات فناوری، سیاست‌های عمومی، رشد اقتصادی و فشار هزینه/قیمت[1]، در طول چهار دهه‌ی اخیر، محرک‌های اصلی تغییرات بخش کشاورزی تلقی می‌شوند. تولید غذا و فیبر سرعت بیشتری نسبت به افزایش بالای تقاضا در جمعیت در حال رشد دارد. متوسط قابلیت دسترسی روزانه‌ی جهانی از کالری به ازای سرانه افزایش یافته است البته در این ارتباط، برخی استثناهای ناحیه‌ای وجود دارد. این رشد، فشار زیادی به محیط وارد نموده و باعث نابودی منابع طبیعی شده است. درصورتی‌که تاکنون مشکل امنیت غذایی و کودکانی که در کشورهای فقیر از سوء تغذیه رنج می‌برند نیز حل نشده است. شکل ۳-۱ شاخص جهانی گرسنگی را نشان می‌دهد و همانطور که مشخص است نواحی آسیب پذیر در آفریقا، شبه جزیره هند و برخی جزایر کوچک مشاهده می‌شوند.

زمین‌های کشاورزی حدود ۵۰۲۳ میلیون هکتار را در سال ۲۰۰۲ به خود اختصاص داده است (FAOSTAT, 2006). بیشتر این نواحی به صورت اراضی مرتعی بوده‌اند (۲۴۸۸ میلیون هکتار یا ۶۹ درصد) و کشتزارها نیز حدود ۱۴۰۵ میلیون هکتار یعنی ۲۸ درصد را در بر می‌گرفت. در طول چهار دهه‌ی گذشته، تقریباً ۵۰۰ میلیون هکتار از زمین‌های دیگر به علت افزایش تقاضای جمعیت رو به رشد به زمین‌های کشاورزی اختصاص داده شده است. هر ساله در طول این دوره به‌طور متوسط ۶ میلیون هکتار از زمین‌های جنگلی و ۷ میلیون هکتاراز دیگر زمین‌ها به زمین کشاورزی تبدیل شد که این تغییر به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه رخ داده است (جدول ۳-۱). پیش‌بینی شده است این روند همچنان افزایش یابد (Huang et al., 2002). جدول ۳-۱ کاربری اراضی کشاورزی را در کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه نشان می‌دهد. پیشرفت‌های فناوری نیز امکان دستیابی به پیشرفت‌های قابل توجه در بهره‌وری زمین را ایجاد کرده است، علی رغم کاهش در زمین‌های کشاورزی به ازای سرانه، قابلیت دسترسی به غذا به ازای سرانه افزایش یافته است. جدول ۳-۲ این مورد را نمایش می‌دهد.

[1] cost/price squeeze



شکل۳-۱: شاخص جهانی گرسنگی (Global Hunger Index) ۲۰۱۶(URL 3-1)

جدول۳- ۱: کاربری اراضی کشاورزی طی ۴ دهه اخیر (Huang et al., 2001)

	مساحت(میلیون هکتار) (۱۹۷۰-۱۹۶۱)	۱۹۸۰-۱۹۷۱	۱۹۹۰-۱۹۸۱	۲۰۰۰-۱۹۹۱	۲۰۰۲-۲۰۰۱	تغییرات وسعت ۲۰۰۰/۱۹۶۰	
						درصد	میلیون هکتار
جهانی							
زمین‌های کشاورزی	۴۵۶۲	۴۶۸۴	۴۸۳۲	۴۹۸۵	۵۰۲۳	+۱۰	۴۶۱
زمین‌های قابل کشت	۱۲۹۷	۱۳۳۱	۱۳۷۶	۱۳۹۳	۱۴۰۵	+۸	۱۰۷
محصولات دائمی	۸۲	۹۲	۱۰۴	۱۲۳	۱۳۰	+۵۹	۴۶
مراتع دائمی	۳۱۸۲	۳۲۶۱	۳۳۵۳	۳۴۶۹	۳۴۸۸	+۱۰	۳۰۶
کشورهای توسعه‌یافته							
زمین‌های کشاورزی	۱۸۷۹	۱۸۸۳	۱۸۷۷	۱۸۶۶	۱۸۳۸	-۲	-۴۱
زمین‌های قابل کشت	۶۴۸	۶۴۹	۶۵۲	۶۳۳	۶۱۳	-۵	-۳۵
محصولات دائمی	۲۳	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	+۴	۱
مراتع دائمی	۱۲۰۹	۱۲۱۰	۱۲۰۱	۱۲۰۹	۱۲۰۲	-۱	-۷
کشورهای درحال توسعه							
زمین‌های کشاورزی	۲۶۸۲	۲۸۰۱	۲۹۵۵	۳۱۱۹	۳۱۸۴	+۱۹	۵۰۲
زمین‌های قابل کشت	۶۵۰	۶۸۲	۷۲۴	۷۶۰	۷۹۲	+۲۲	۱۴۲
محصولات دائمی	۵۹	۶۸	۸۰	۹۹	۱۰۶	+۸۱	۴۸
مراتع دائمی	۱۹۷۳	۲۰۵۱	۲۱۵۲	۲۲۶۰	۲۲۸۶	+۱۶	۳۱۳

جدول۳-۲: سرانه عرضه‌ی مواد غذایی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه (Huang et al., 2001)

	۱۹۶۱-۱۹۷۰	۱۹۷۱-۱۹۸۰	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۰۲	تغییرات وسعت ۲۰۰۰/۱۹۶۰	
						درصد	گرم در روز یا کالری در روز
کشورهای توسعه‌یافته							
انرژی از همه منابع (کالری در روز)	۳۰۴۹	۳۱۸۱	۳۲۶۹	۳۲۲۳	۳۳۰۹	+۹	۲۶۱
درصد از منابع حیوانی	۲۷	۲۸	۲۸	۲۷	۲۶	-۲	
پروتئین از همه منابع (گرم در روز)	۹۲	۹۷	۱۰۱	۹۹	۱۰۰	+۹	۸
درصد از منابع حیوانی	۵۰	۵۵	۵۷	۵۶	۵۶	+۱۲	
کشورهای در حال توسعه							
انرژی از همه منابع (کالری در روز)	۲۰۳۲	۲۱۸۳	۲۴۴۳	۲۶۰۰	۲۶۵۷	+۳۱	۶۲۵
درصد از منابع حیوانی	۸	۸	۹	۱۲	۱۳	+۷۷	
پروتئین از همه منابع (گرم در روز)	۹	۱۱	۱۳	۱۸	۲۱	+۱۲۳	۴۸
درصد از منابع حیوانی	۱۸	۲۰	۲۲	۲۸	۳۰	+۶۷	

رشد اقتصادی و تغییر شیوه‌ی زندگی در برخی کشورهای در حال توسعه، سبب رشد تقاضا برای گوشت و تولیدات لبنی می‌شود. تقاضای گوشت سرانه در کشورهای در حال توسعه از ۱۱ به ۲۴ کیلوگرم در سال در طول دوره‌ی ۱۹۹۷-۱۹۶۷ رسیده است که در حقیقت نرخ رشد سالانه‌ی بیش از ۵ درصد تا پایان این دوره است. انتظار می‌رود انتشار سالانه‌ی گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی در دهه‌های آینده افزایش یابد. به‌طور خلاصه می‌توان موارد زیر را از این بخش انتظار داشت(Smith et al., 2007):

۱- انتظار می‌رود رشد بهره‌وری زمین، اگر چه در یک نرخ کاهشی، به دلیل کاهش بازدهی پیشرفت‌های بیشتر فناوری و استفاده‌ی بیشتر از زمین‌های حاشیه‌ای با بهره‌وری پایین‌تر، ادامه یابد. استفاده از این اراضی حاشیه‌ای، خطر فرسایش خاک و تخریب را افزایش می‌دهد که با عواقب بسیار نامشخص برای انتشار دی اکسید کربن همراه است.

۲- خاک‌ورزی حفاظتی[1] و بدون خاک‌ورزی[2] به طور فزاینده‌ای مورد توافق است، در نتیجه کاهش استفاده از انرژی و اغلب افزایش ذخیره‌سازی کربن در خاک مورد توافق است. طبق نظر فائو، در سال ۱۹۹۹، مناطق بدون خاک‌ورزی در سراسر جهان حدود ۵۰ میلیون هکتار بود که ارائه‌کننده‌ی ۳/۵ درصد از کل زمین‌های زراعی می‌باشد(FAO, 2001). با این حال، این شیوه‌ها به صورت مکرر با خاک‌ورزی دوره‌ای ترکیب می‌شوند؛ بنابراین ارزیابی از تعادل گازهای گلخانه‌ای بسیار نامشخص است.

۳- پیشرفت‌های بیشتر در بهره‌وری به استفاده بیشتر از آبیاری و کود نیاز خواهد داشت که باعث افزایش تقاضای انرژی (برای حرکت آب و تولید کود) می‌شود. همچنین، آبیاری و کود نیتروژن می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد.

۴- ممکن است رشد تقاضا برای گوشت سبب تغییرات بیشتر در کاربری اراضی (به عنوان مثال، از جنگلی به مرتع) شود که اغلب با افزایش انتشار گاز CO2 و افزایش تقاضا برای خوراک دام (به عنوان مثال، غلات) همراه است. گله‌های بزرگ‌تر گاو می‌توانند باعث انتشار بالاتری از متان و اکسید نیتروژن شوند.

۵- به طور فزاینده، تولید گسترده گوشت گاو، مرغ و گوشت خوک متداول است که منجر به افزایش کود و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. این نکته در مناطق در حال توسعه‌ی آسیای جنوبی و شرقی، امریکای لاتین و همچنین در امریکای شمالی مورد تائید است.

۶- تغییر در سیاست‌ها (به عنوان مثال، یارانه) و الگوهای منطقه‌ای تولید و تقاضا باعث افزایش تجارت بین‌المللی محصولات کشاورزی می‌شود. با توجه به استفاده بیشتر از انرژی برای حمل و نقل، افزایش انتشار گاز دی اکسید کربن مورد انتظار است.

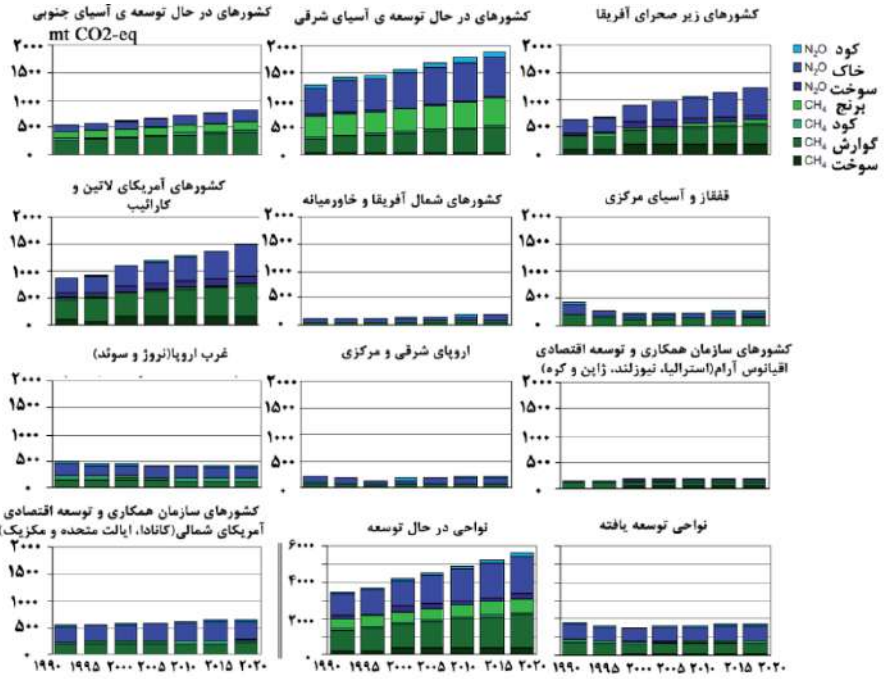
۷- یک روند در حال ظهور برای استفاده‌ی بیشتر از محصولات کشاورزی (به عنوان مثال، پلاستیک زیستی، سوخت زیستی و زیست‌توده برای تولید انرژی) به عنوان جایگزین برای تولیدات مبتنی بر سوخت‌های فسیلی وجود دارد که این ظرفیت را دارد که انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده را کاهش دهد.

---

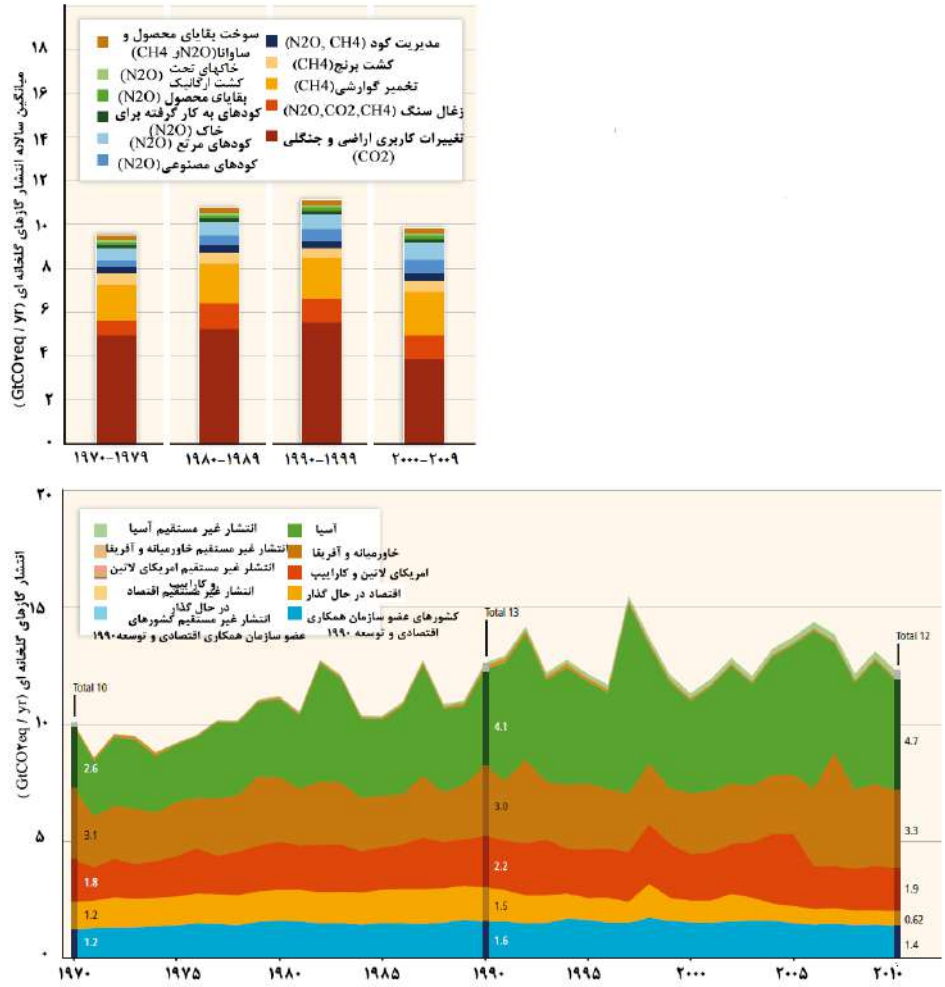
[1] Conservation tillage
[2] zero-tillage

۳-۳- روند انتشار گازهای گلخانه‌ای مشاهداتی و آینده از بخش کشاورزی

به‌طور جهانی، انتشار متان، دی اکسید نیتروژن و مونو اکسید کربن از بخش کشاورزی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ تا ۱۷ درصد افزایش داشته است. متوسط سالانه انتشار تا ۵۸ تن معادل دی اکسید کربن در سال افزایش داشته است. سه منبع اصلی موجب ۸۸ درصد این افزایش شده‌اند که شامل سوخت زیست‌توده، تخمیر روده و انتشار دی نیتروژن مونوکسید خاک هستند. پیش‌بینی شده است که در آینده (تا سال ۲۰۳۰)، دی نیتروژن مونوکسید در رقمی بین ۳۵ تا ۶۰ درصد افزایش یابد (FAO, 2003). همچنین پیش‌بینی شده است که این مقدار تا سال ۲۰۲۰ (نسبت به سال ۱۹۹۰) تا ۵۰ درصد افزایش یابد. اگر تقاضا برای غذا افزایش یابد و تغییر رژیم‌های غذایی مطابق پیش‌بینی پیش رود، ممکن است انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی تشدید شود. تا سال ۲۰۳۰، متان مرتبط با بخش دامپروری و پرورش آنها ممکن است تا ۶۰ درصد افزایش یابد (FAO, 2003). شکل‌های ۳-۲ و ۳-۳ انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی را در دوره حال و آینده نمایش می‌دهند. شکل ۳-۴ نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای گزارش‌شده از پایگاه‌های مختلف داده‌ای را نشان می‌دهد. شکل ۳-۵ مقدار کود و تعداد دام‌ها که در افزایش انتشار نقش اصلی را ایفا کرده‌اند را ارائه می‌کند.

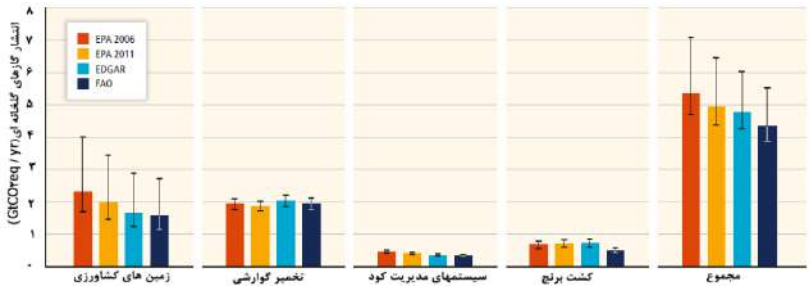


شکل۳-۲: متان و دی نیتروژن مونوکسید مشاهداتی و پیش‌بینی شده در بخش کشاورزی از نواحی جهان طی دوره‌ی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ (US-EPA, 2006).

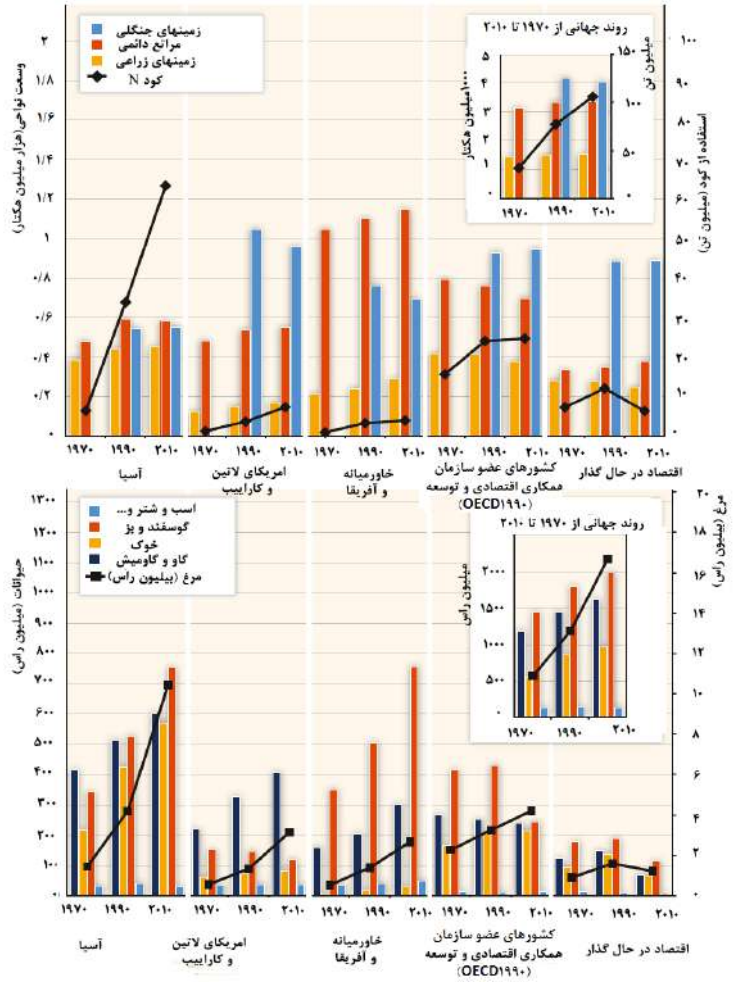


شکل۳-۳: انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی، جنگل و دیگر کاربری‌های اراضی در آمریکای لاتین و کارائیب(LAM[1])، خاورمیانه و آفریقا(MAF[2])، کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD-1990[3]) و اقتصاد در حال گذار(EIT[4]) و آسیا (منبع: FAOSTAT, 2013).

[1] Latin America and Caribbean
[2] Middle East and Africa
[3] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
[4] Economies in Transition



شکل۳-۴: مقایسه‌ی بین پایگاه‌های داده‌ای مختلف از انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های مختلف در سال ۲۰۰۵(Smith et al., 2014a).

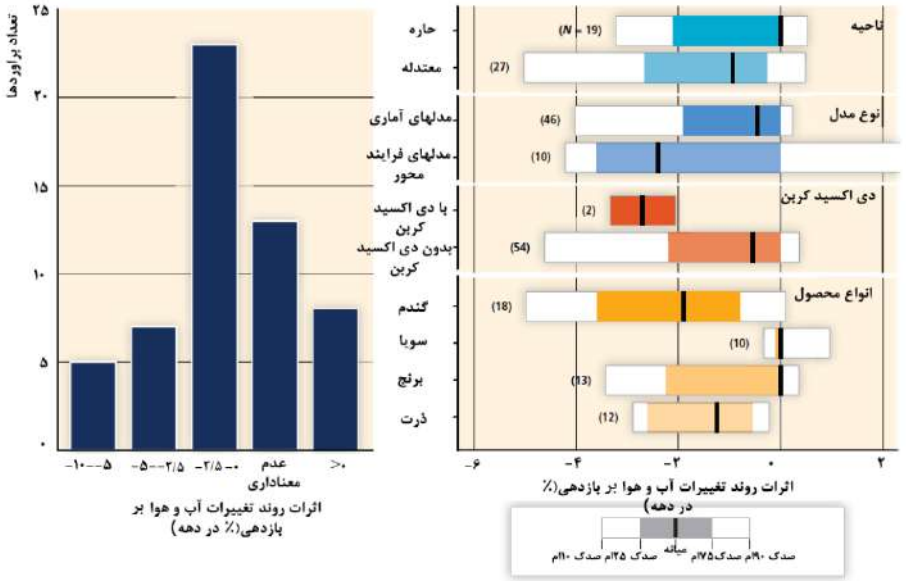


شکل۳-۵: روند جهانی کاربری اراضی و مقدار استفاده از کود نیتروژن (بالا) و تعداد دام‌ها از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰(پایین) (Smith et al., 2014a).

۳-۴- تغییرات مشاهداتی و آینده‌ی بخش کشاورزی مرتبط با آب و هوا

- **تولیدات زراعی**

بیشتر مطالعات روی سیستم‌های زراعی، اثرات مشاهداتی تغییر آب و هوا را بر بازدهی کشت در نیم قرن گذشته تخمین زده‌اند. این مطالعات هم رویکرد آماری و هم مکانیکی را در نظر گرفته‌اند و با اجرای مدل‌ها با استفاده از داده‌های آب و هوایی مشاهداتی، اثرات را تخمین زده‌اند. بر اساس این مطالعات، سطح اطمینان متوسطی وجود دارد که روندهای آب و هوایی برای بسیاری از نواحی اثر منفی روی تولید گندم و ذرت داشته است(شکل ۳-۶). اثرات روی بازدهی برنج و سویا، در نواحی تولید عمده و به‌طور جهانی بسیار کمتر بوده است(Porter, et al.,2014).

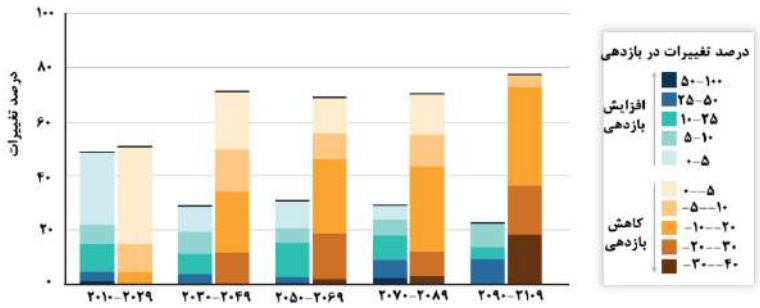


شکل۳-۶: خلاصه‌ای از اثرات روندهای آب و هوایی اخیر بر بازدهی محصولات خاص(گندم، برنج، ذرت و سویا) با استفاده از نتایج مطالعات مختلف در یک میانگین ۲۹ ساله(Porter, et al., 2014).

به طور کلی، تحقیقات اندکی در تولید مواد غذایی و یا امنیت غذایی، در تعیین اینکه آیا روندهای آب و هوایی مؤثر بر کشاورزی را می‌توان به نفوذ اثرات انسان منشأ در سیستم آب و هوایی نسبت داد، متمرکز شده است. آسیب‌های ناشی از یخبندان محدودیت مهمی در رشد محصول است و از سال ۱۹۶۱، کاهش مشخصی در رخداد آنها تقریباً در هر نقطه‌ای از جهان به گازهای گلخانه‌ای نسبت داده شده است (IPCC, 2012). افزایش شبهای داغ از دهه‌ی ۱۹۶۱ نیز به فعالیت‌های انسانی نسبت داده شده است (Porter, et al.,2014). این رخدادها به بسیاری از محصولات صدمه می‌زنند، به‌ویژه این

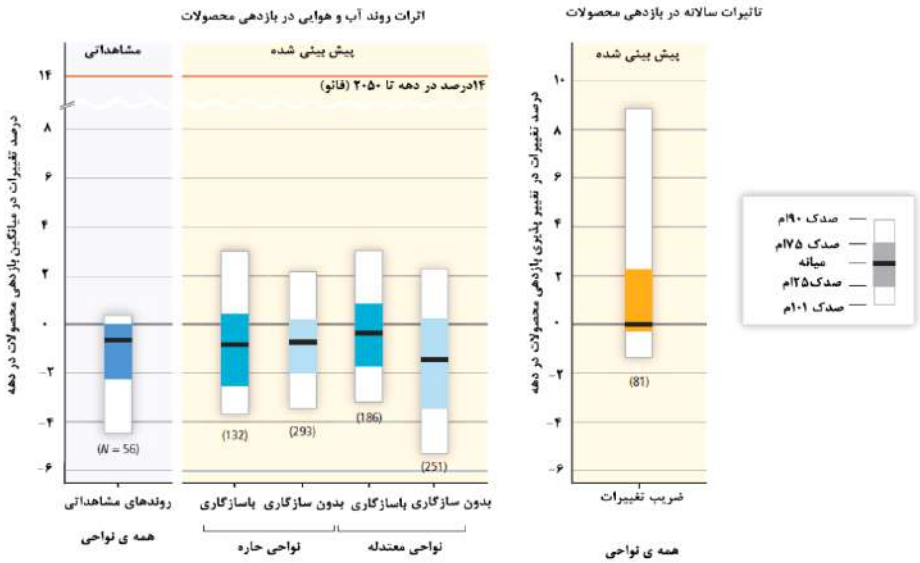
موضوع روی محصول دهی برنج مشاهده شده است. همچنین روی کیفیت آن نیز تأثیر دارد. مطالعات نشان می‌دهد که دماهای حدی بالا در روزهنگام به محصولات صدمه می‌زند و همه‌ی روندهای اخیر دمای روزهنگام از سال ۱۹۶۱ به گازهای گلخانه‌ای نسبت داده شده است (Zwiers et al., 2011). افزایش دی‌اکسید کربن جو به بیش از ۱۰۰ پی پی ام از زمان ماقبل صنعتی، بهره‌وری و بازدهی استفاده از آب را به ویژه برای گیاهانی نظیر گندم و برنج افزایش داده است. انتشار دی‌اکسید کربنی که با ازن همراه باشد، ازن تروپوسفری را افزایش می‌دهد که برای بازدهی محصول مضر است.

در افق ۲۰۵۰، بازدهی محصول از جنبه‌هایی است که به دلیل تأثیر در امنیت غذایی به سبب تغییر آب و هوا به خوبی مطالعه شده است. شکل ۳-۷ اثرات پیش‌بینی شده بازدهی محصول از تغییر آب و هوا را در دوره‌های بیست ساله نمایش می‌دهد. داده‌ها نشان می‌دهند که اثرات منفی بازدهی محصول از دوره‌ی ۲۰۳۰ محتمل است. احتمال می‌رود تا سال ۲۰۵۰، اثرات منفی بیش از ۵ درصد رخ ندهند اما احتمالاً تا پایان قرن رخ خواهند داد. تغییر بازدهی محصول توسط تحلیل‌های ناحیه‌ای مشخص شده است.



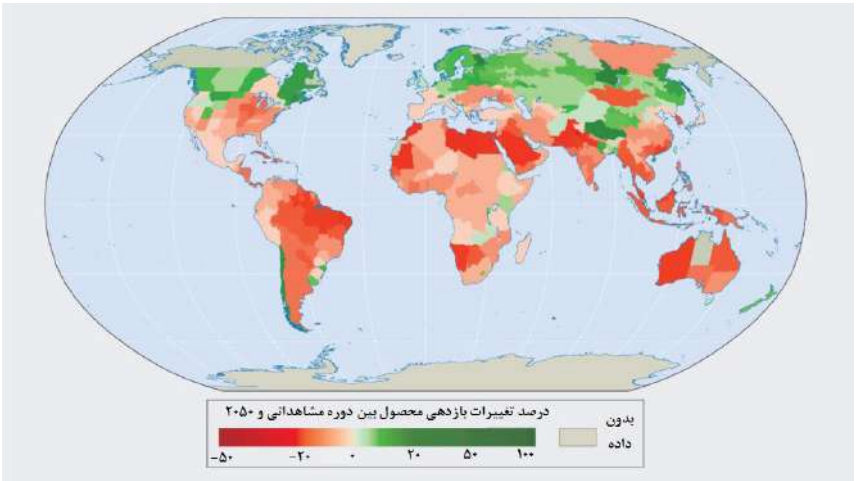
شکل۳-۷: تغییرات پیش‌بینی شده در بازدهی محصول به دلیل تغییر آب و هوایی قرن بیست و یکم (Porter et al.,2014).

اثرات تخمین زده شده‌ی تغییر آب و هوای آینده و داده‌های مشاهداتی در میانگین بازدهی محصولات، همراه با اثرات پیش‌بینی شده بر تغییرپذیری محصول در شکل ۳-۸ نمایش داده شده است. هر دهه‌ی اضافه شده از تغییر آب و هوا سبب کاهش بازدهی محصول تا تقریباً ۱ درصد خواهد شد، اگرچه این رقم کوچک است، اما بخش قابل توجهی از این پیش‌بینی، به افزایش مقدار تولید - تقریباً ۱۴ درصد در دهه- نیاز دارد تا با تقاضا همگام شود.



شکل۳-۸: اثرات آب و هوا و دی‌اکسید کربن بر بازدهی محصول(Porter et al., 2014)

درصد تغییرات بازدهی محصولات در شکل ۳-۹ و جدول ۳-۳ قابل مشاهده است. با میانگین‌گیری سه مدل گردش عمومی جو، سرمای سالانه‌ی زمستانه تا سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۱۹۷۰، ۱۷/۷ تا ۲۲/۶ درصد در مصر کاهش خواهد یافت (Farag et al., 2010). بررسی‌ها نشان می‌دهد که خطر آسیب حشرات به گیاهان افزایش خواهد یافت و جمعیت علف‌های هرز تغییر خواهد کرد و به دلیل گرمایش به سمت قطب مهاجرت خواهند نمود.



شکل۳-۹: درصد تغییرات بازدهی محصولات بین دوره حال حاضر تا سال ۲۰۵۰ را نمایش می‌دهد(بانک جهانی، URL 3-2)

جدول۳-۳: اثرهای پیش‌بینی شده روی محصولات (اعداد از راست به چپ مرتب شده اند) (Porter et al., 2014)

ناحیه	نواحی فرعی	درصد تأثیرات بازدهی	سناریو	منبع
جهانی		ذرت(آبی): ۴- ، ۷- ذرت(دیمی): ۲- ، ۱۲- برنج(آبی): ۹/۵- ، ۱۲- برنج(دیمی): ۱- ، ۰/۰۷+ گندم(آبی): ۱۰- ، ۱۳- گندم(دیمی): ۴- ،۱۰-	A1B CSIRO, MIROC ۲۰۵۰	نلسون و همکاران(۲۰۱۲)
آسیای شرقی	چین	ذرت آبی: ۱۰/۹- تا ۱/۴- (۷/۸- تا ۱/۶-) ۲۱/۷- تا ۹/۸- (۱۶/۴- تا ۱۰/۲-) ۳۲/۱- تا ۴/۳- (۲۶/۶- تا ۳/۹-) ذرت دیمی: ۲۲/۲- تا ۱- (۱۰/۸- تا ۰/۷-) ۲۷/۶- تا ۷/۹- (۱۸/۱- تا ۵/۶-) ۳۳/۷- تا ۴/۶- (۲۵/۹- تا ۱/۶-) برنج آبی: ۱۸/۶- تا ۶/۱- (۱۰/۱- تا ۳/۳) ۳۱/۹- تا ۱۳/۵- (۱۶/۱- تا ۲/۵) ۴۰/۲- تا ۲۳/۶- (۱۹/۳- تا ۰/۱۸)	افزایش ۱ ، ۲ ، و۳ درجه سانتیگراد در دمای هوا -دی‌اکسید کربن(+دی‌اکسید کربن)	تائو و همکاران(۲۰۱۱)
	چین شرقی	برنج ۱۰- تا ۳ (۷/۵ تا ۱۷/۵) ۲۶/۷- تا ۲ (۰ تا ۲۵) ۳۹- تا ۶- (۱۰- تا ۲۵)	۲۰۳۰، ۲۰۵۰، و۲۰۸۰ -دی‌اکسید کربن(+دی‌اکسید کربن)	تائو و ژانگ(۲۰۱۳)
	دشت Huang-Huai-Hai چین	گندم و ذرت: ۱۴/۵ ± ۴/۵ ۲۵/۸ ± ۵/۸ -	افزایش ۲ و ۵ درجه سانتیگراد در دما	لیو و همکاران(۲۰۱۰)

ناحیه	نواحی فرعی	درصد تأثیرات بازدهی	سناریو	منبع
	دشت شمالی چین	گندم (آبی): ۰/۹-(۲۳) گندم (دیمی): ۱/۹-(۲۸)	A1B ۲۰۸۵-۲۱۰۰ -دی‌اکسید کربن(+دی‌اکسید کربن) MIROC	سانگ و همکاران(۲۰۱۳)
	رودخانه یانگ تسه چین	برنج(آبی): ۱۴/۸-(۳/۳-) برنج(دیمی): ۱۵/۲-(۴/۱-)	B2 ۲۰۵۰-۲۰۲۱ -دی‌اکسید کربن(+دی‌اکسید کربن)	شن و همکاران(۲۰۱۱)
آسیای جنوبی	آسیای جنوبی	ذرت:۱۶- ذرت خوشه‌ای:۱۱-	۲۰۵۰	کنوکس و همکاران(۲۰۱۲)
	آسیای جنوبی	تولید خالص غلات تا ۱۰-	افزایش ۳ درجه سانتیگراد در دما	لال(۲۰۱۱)
	هند	ذرت خوشه‌ای زمستانه: بیش از ۷-، ۱۱- و ۳۲-	A2 ۲۰۲۰, ۲۰۵۰, ۲۰۸۰	سیواستوا و همکاران(۲۰۱۰)
		برنج(آبی) ۴-، ۷-، و ۱۰- برنج (دیمی) ۶-، ۲/۵، ۲/۵-	A1B; A2; B1; B2 ۲۰۲۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ +دی‌اکسید کربن MIROC; PRECIS/HadCM3	کومار و همکاران(۲۰۱۳)
		ذرت موسمی ۲۱- تا ۰، ۳۵- تا ۰، ۳۵- تا ۰، درت زمستانه ۱۳- تا ۵، ۵۰- تا ۵، ۶۰- تا ۲۱-،	A2 ۲۰۲۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ HadCM3	بیجش و همکاران(۲۰۱۰)
	هند شمال شرقی	برنج(آبی): ۱۰- تا ۵ برنج(دیم): ۳۵- تا ۵ گندم: بیش از ۲۰- ذرت: بیش از ۴۰-	A1B ۲۰۳۰ +دی‌اکسید کربن PRECIS/HadCM3	کومار و همکاران(۲۰۱۱)
	هند ساحلی	برنج(آبی): ۱۰- تا ۵ برنج(دیم): ۲۰- تا ۱۵ ذرت : ۵۰- تا ۱۵- ذرت: ۳۵- تا ۱۰		

ناحیه	نواحی فرعی	درصد تأثیرات بازدهی	سناریو	منبع
	گات غربی هند	برنج(آبی): ۵-۱۱- برنج(دیم): ۳۵-۳۵- ذرت: بیش از ۵۰- ذرت خوشه‌ای: بیش از ۵۰-		
	پاکستان	گندم:۷-، ۲۴- (swat)، ۱۴، ۲۳(Chitral)	افزایش دمای ۱/۵ و ۳ درجه سانتیگراد	بخش ۲۴،۴،۴۳ گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا
		گندم :۶-، ۸- برنج:۱۶-، ۱۹-	B2, A2 ۲۰۸۰	اقبال و همکاران(۲۰۰۹)
آسیای غربی	حوضه یارموک، جردن	جو:۵، ۸- گندم:۱۸، ۲۰-	افزایش ۲۰درصد بارش، کاهش ۲۰درصدی بارش	البکری و همکاران(۲۰۱۰)
آفریقا	همه نواحی	گندم: ۱۷- ذرت: ۵- ذرت خوشه‌ای: ۱۵- ارزن: ۱۰-	۲۰۵۰	کنوکس و همکاران(۲۰۱۲)
	همه نواحی	ذرت: ۱۹±۲۴-	۲۰۹۰، افزایش ۵ درجه‌ی سانتیگراد در دما	تورنتون و همکاران(۲۰۱۱)
	آفریقای شرقی	ذرت: ۳/۱- تا ۱۵ ، ۸/۶- تا ۱۷/۸ لوبیا: ۱/۵- تا ۲۱/۸، ۱۸/۱- تا ۲۳/۷	A1FI; B1 ۲۰۵۰ ،۲۰۳۰ HadCM3; ECHam4	تورنتون و همکاران(۲۰۱۰)
	ساحل	ارزن: ۲۰-، ۴۰-	افزایش ۲ و ۳ درجه‌ی سانتیگراد	بن محمد(۲۰۱۱)
آمریکای مرکزی و جنوبی	شمال شرق برزیل	ذرت: ۰ تا ۱۰ گندم: ۱- تا ۱۴- برنج: ۱- تا ۱۰-	۲۰۳۰	لوبل و همکاران(۲۰۰۸)
	جنوب برزیل	ذرت: ۱۵- گندم: بیش از ۴۵-	A2 ۲۰۸۰ +دی‌اکسید کربن HadCM3	کوستا و همکاران(۲۰۰۹)
	پاراگوئه	گندم: ۴، ۹-، ۱۳- (۱-، ۱ ، ۵-) ذرت: ۳، ۳، ۸ (۳، ۱ ، ۶) سویا: ۰، ۱۰-، ۱۵- (۰، ۱۵-، ۲-)	A2 (B2) ۲۰۲۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ PRECIS	ECLAC (۲۰۱۰)

ناحیه	نواحی فرعی	درصد تأثیرات بازدهی	سناریو	منبع
	آمریکای مرکزی	گندم: ۹- تا ۱- برنج: ۰ تا ۱۰	۲۰۳۰	لوبل و همکاران(۲۰۰۸)
		ذرت: ۰، ۰ ، ۱۰- ۳۰- لوبیا: ۴- ، ۱۹، ۲۹- ، ۸۷- برنج: ۳، ۳- ، ۱۴- ،۶۳-	A2 ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۷۰ و۲۱۰۰	ECLAC (۲۰۱۰)
	پاناما	ذرت:۰/۵، ۲/۴، ۴/۵ (۰/۱- ، ۰/۸- و ۱/۵)	A2 (B1) ۲۰۲۰, ۲۰۵۰, ۲۰۸۰ +دی‌اکسید کربن	رون و همکاران(۲۰۱۳)
	ناحیه آند	گندم: ۱۴- تا ۲ جو: ۰ تا ۱۳- سیب زمینی: ۰ تا ۵- ذرت: ۰ تا ۵-	۲۰۳۰	لوبل و همکاران(۲۰۰۸)
	شیلی	ذرت: ۵- تا ۱۰- گندم: ۱۰- تا ۲۰-	A1FI ۲۰۵۰ + دی‌اکسید کربن HadCM3	مزا و سیلوا(۲۰۰۹)
	آرژانتین	گندم: ۱۶- ، ۱۱ – (۳، ۳) ذرت: ۲۴- ، ۱۵- (۱، ۰) سویا: ۲۴- ، ۱۴- (۱۴، ۱۹)	A2, B2 ۲۰۸۰ -دی‌اکسید کربن(+دی‌اکسید کربن) PRECIS	ECLAC(۲۰۱۰)
آمریکای شمالی	ایالات‌متحده غربی	ذرت: ۲/۵-(۱/۵-) سویا: ۱/۷ (۹/۱)	افزایش دمای ۱/۸ درجه سانتیگراد، -دی اکسید کربن(+دی‌اکسید کربن)	هاتفیلد و همکاران(۲۰۱۱)
	ایالات‌متحده جنوب شرقی	ذرت: ۲/۵-(۱/۵-) سویا: ۲/۴-(۵)		
	دشت‌های بزرگ ایالات‌متحده	گندم: ۴/۴-(۲/۴)		
	ایالات‌متحده شمال غربی	گندم زمستانه: ۱۹/۵، ۲۹/۵ گندم بهاره: ۲/۲- ، ۵/۶-	A1B ۲۰۴۰، ۲۰۸۰ + دی‌اکسید کربن	استوکل و همکاران(۲۰۱۰)
	کانادا	بذرهای کوچک: ۴۸- تا ۱۸ بذرهای روغنی: ۵۰- تا ۲۵-	افزایش دمای ۱ و ۲ درجه سانتیگراد افزایش بارش ۲۰ درصد کاهش بارش ۲۰ درصد	کلشرشتا و همکاران(۲۰۱۱)
اروپا	شمالی	گندم، ذرت، سویا: ۳۴ تا ۵۴	A2, B2 ۲۰۸۰ HadCM3/HIRHAM, ECHAM4/RCA3	ایگلسیاس و همکاران (۲۰۱۲)
	آلپی	گندم، ذرت، سویا:۲۰ تا ۲۳		

ناحیه	نواحی فرعی	درصد تأثیرات بازدهی	سناریو	منبع
	اطلس شمالی	گندم، ذرت، سویا: ۵- تا ۲۲		
	اطلس مرکزی	گندم، ذرت، سویا: ۵ تا ۱۹		
	اطلس جنوبی	گندم، ذرت، سویا: ۲۶- تا ۷-		
	شمال قاره	گندم، ذرت، سویا: ۸- تا ۴		
	جنوب قاره	گندم، ذرت، سویا: ۱۱ تا ۳۳		
	شمال مدیترانه	گندم، ذرت، سویا: ۲۲- تا ۰		
	جنوب مدیترانه	گندم، ذرت، سویا: ۲۷- تا ۵		

بدون در نظر گرفتن سناریوی خاص و یا سازگاری، از دهه‌ی ۲۰۸۰ به بعد اثرات منفی بازدهی در مناطق استوایی، محتمل‌تر است. همچنین مطالعاتی با استفاده از سناریوهایی که دما تا ۴ درجه افزایش می‌یابد، به بررسی اثرات روی محصول دهی پرداخته اند. اثرات تغییر آب و هوا روی تولیدات، الگوی کاربری اراضی را نیز تغییر خواهد داد. به عنوان مثال در نواحی استوایی انتظار می‌رود تا سال ۲۱۰۰، مکان مناسب برای سیب‌زمینی به سمت عرض‌ها و ارتفاعات بالا انتقال یابد (Schaefleitner et al., 2011).

- **تولیدات شیلات**

مصرف ماهی و دیگر تولیدات از بخش شیلات در سال ۲۰۱۰، ۱۸/۶ کیلوگرم برای هر شخص در سال بود. تولید این بخش ۱۴۸/۵ تن است که ۸۶ درصد آن به‌طور مستقیم توسط انسان مصرف می‌شود. کل تولید این بخش از مشارکت ۷۷/۴ و ۱۱/۲ میلیون تن به ترتیب از ماهیگیری‌های داخلی و دریایی و ۱۸/۱ و ۴۱/۷ میلیون تن به ترتیب از آبزی‌پروری دریایی و آبهای شیرین تشکیل می‌شود (FAO, 2012). شیلات سهم مهمی در امنیت غذایی دارد و بیش از ۹۰ درصد از افراد مشغول در این بخش، در مقیاس کوچک کار می‌کنند، بسیاری از آنها در کشورهای فقیرتر جهان هستند (Cochrane et al., 2011). صید بی‌رویه، تغییر سکونتگاه ها، آلودگی و تغییرپذیری درون سالانه تا دهه‌ای آب و هوا، همه بر روی آن تأثیر دارند که جداسازی آنها برای مرتبط ساختن مستقیم اثرها به تغییر آب و هوا را مشکل کرده است. یکی از مطالعات در اطلس شمال شرقی، جایی که دما در دهه‌های اخیر افزایش یافته است، افزایش دما را با حرکت رو به قطب در توزیع ماهی‌ها مرتبط دانسته‌اند. اکوسیستم‌های صخره‌های مرجانی، غذای بیش از ۵۰۰ میلیون نفر را با ارزش سالانه‌ی ۵ میلیارد دلار یا بیشتر فراهم می‌نمایند(Munday et al., 2008). بیش از ۶۰ درصد از صخره‌های مرجانی در معرض خطر بالای آسیب از طیف وسیعی از تهدیدات محلی هستند که صید بی‌رویه جدی‌ترین مورد می‌باشد (Burke et al., 2011). در مورد اثر تغییر آب و هوا بر ماهیگیری در آبهای شیرین اطلاعات کمی موجود است.

در افق ۲۰۵۰، مطالعات شبیه‌سازی از ماهی تن هوور[1] و چشم درشت[2] در اقیانوس آرام تحت دو سناریوی آب و هوایی مشخص کرد که صید ماهی هوور در مقایسه با چشم درشت در این نواحی تا ۱۹ درصد در سال ۲۰۳۵ افزایش خواهد داشت. این شبیه‌سازی، تفاوت‌های ناحیه‌ای زیادی را مشخص نمود که صید تن در اقیانوس آرام غربی کاهش و در آرام شرقی افزایش خواهد داشت (Lehodey et al. 2011). این تغییرات پیامدهای مهمی برای آینده‌ی ناوگان ماهیگیری ملی و کنسروسازی در اقیانوس آرام غربی خواهد داشت.

حوادث حدی نظیر سیکلون‌های حاره‌ای حدی می‌تواند روی برخی گونه‌ها تأثیر داشته باشد. تحت سناریوی آب و هوایی آسیب‌پذیری ماهیگیری ساحلی در سال ۲۰۳۵ همان‌طور که بل[3] و همکاران (۲۰۰۹) تخمین زده‌اند پایین است.

در مقیاس جهانی، بر اساس نتایج مدل‌های آب و هواشناسی جهانی مشخص شده است که تغییر آب و هوا می‌تواند منجر به افزایش ۲۰ تا ۷۰ درصدی در بازدهی ماهیگیری نواحی عرض‌های بالا شود اما کاهش ۴۰ درصدی در استوا تا سال ۲۰۵۵ در مقایسه با سال ۲۰۰۵ مورد انتظار است (Cheung et al., 2010).

در مورد امنیت غذایی، آلیسون و همکاران آسیب‌پذیری اقتصاد ۱۲۲ کشور از اثرات تغییر آب و هوا را بر ماهیگیری در سال ۲۰۵۰ بررسی نمودند و مشخص کردند که آسیب‌پذیری متشکل از سه بخش است(Allison et al., 2009):

۱-مواجهه با اثرات فیزیکی تغییر آب و هوا،

۲-حساسیت کشورها به اثرات وارده بر ماهیگیری و

۳-ظرفیت سازگاری داخل کشورها.

مطالعات شبیه‌سازی از ماهی تن هوور و چشم درشت تا سال ۲۱۰۰ در اقیانوس آرام تحت دو سناریوB1 وA2 نشان داده است که تحت سناریوی B1، صید ماهی تن هوور تا ۱۲/۴ درصد بالاتر و تحت سناریو A2، ۷/۵ درصد پایین‌تر از سطح اخیر خواهد بود. در حالی که صید چشم درشت تحت سناریوهای B1 و A2، به ترتیب ۸/۸ و ۲۶/۷ درصد پایین‌تر از سطح اخیر خواهد بود(Lehodey et al. 2011).

زنوپولوس و همکاران اثر تغییر آب و هوا و برداشت آب را در انقراض ماهی‌های آبهای شیرین تحت دو سناریوی آب و هوایی بررسی نمودند و پیش‌بینی کردند در ۶۵ تا ۷۰ درصد رودخانه‌های جهان، دبی افزایش و در ۸۰ درصد از ۱۳۳ رودخانه که داده‌های گونه‌های ماهی آن موجود است، دبی کاهش می‌یابد، در گروه آخر تا سال ۲۰۷۰ بیش از ۷۵ درصد گونه‌های ماهی محلی به سمت انقراض پیش خواهند رفت که بیشترین انقراض مربوط به نواحی جنب حاره و استوایی است(Xenopoulus et al., 2005).

---

[1] skipjack
[2] bigeye
[3] Bell

- **تولیدات دامی**

در افق ۲۰۵۰، اثرات تغییر آب و هوا در دام شامل اثرات آن بر علوفه و خوراک، تأثیرات مستقیم از تغییرات دما و در دسترس بودن آب برای حیوانات و اثرات غیرمستقیم از طریق بیماری‌های دامی است. در سیستم گله‌داری آمریکای شمالی، گرمایش باعث افزایش طول فصل رشد علوفه می‌شود اما از طرفی کیفیت آن را کاهش خواهد داد و البته با تغییرات زیادی همراه است که به تغییرات بارش مرتبط خواهد بود(Craine et al., 2010).

چالش دیگر، تأمین آب برای جمیعت رو به رشد دام‌هاست. با افزایش دما در نواحی پست استوا ممکن است تنوع گونه‌های بیماری کاهش یابند. نواحی معتدل، ممکن است برای بیماری‌های منطقه گرمسیری نظیر تب دره ریفت[1] و مالاریا که به شرایط آب و هوایی بسیار حساس است، مناسب‌تر شوند. با افزایش دما و زنده ماندن بیماری در زمستان، ممکن است بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین نظیر بیماری اسب آفریقایی[2] و زبان آبی با حرکت رو به شمال در نیمکره شمالی توسعه یابند. پیش‌بینی شده است که برخی بیماری‌ها مثل ویروس نیل غربی[3] به مکانهای جدید منتقل شوند. تغییر در فراوانی حوادث حدی به‌ویژه سیل نیز بیماری‌ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد. برای مثال شیوع تب دره ریفت در افریقای شرقی با افزایش بارش و سیل مرتبط با انسو پیوند خورده است؛ اما در کل پیش‌بینی بیماری‌های دامپروری مشکل و با عدم قطعیت‌هایی همراه است. جدول ۳-۴ برخی مطالعات پیش بینی اثرات تغییر آب و هوا بر صنعت دامپروری را نمایش می‌دهد.

جدول۳-۴: اثرهای پیش‌بینی شده روی دامپروری(Porter, et al., 2014)

ناحیه	نواحی فرعی	اثرات تغییر آب و هوا	سناریو	منبع
آفریقا	بوتسوانا	با توجه به افزایش پمپاژ، در شرایط خشک‌تر و گرمتر، هزینه تأمین آب از گمانه‌ها می‌تواند ۲۳درصد افزایش یابد.	A2, B2 ۲۰۵۰	گزارش پنجم IPCC
	نواحی پست آفریقا	کاهش گاوهای شیری، تغییر رمه‌ها از گاو به گوسفند و بزها، به علت درجه حرارت بالا		
	نواحی مرتفع آفریقای شرقی	در نواحی کوهستانی شرق آفریقا، افزایش دما برای دامداری می‌تواند یک مزیت باشد.		
	آفریقای شرقی	به دلیل کمبود آب، قابلیت دسترسی به ذرت برای علوفه‌ی دام به ازای هر رأس گاو کاهش می‌یابد.		

[1] Rift Valley fever
[2] African horse sickness
[3] West Nile virus

ناحیه	نواحی فرعی	اثرات تغییر آب و هوا	سناریو	منبع
	آفریقای جنوبی	تولید لبنیات در آفریقای جنوبی به میزان ۱۰ تا ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.	A2 -۲۰۴۶-۲۰۶۵ ۲۰۸۰-۲۱۰۰/ ECHAM5/MPI-OM, ,GFDL-CM2.0/2 MRI-CGCM2.3.2	نساموانی و همکاران(۲۰۱۲)
اروپا	هند	تولید لبنیات در دمای متوسط روزانه‌ی بالاتر از ۱۸ درجه سانتیگراد تحت تأثیر قرار می‌گیرد.		گزارش پنجم IPCC
	ایتالیا	خطر تلف شدن گاوهای شیری در مواجهه با دمای بالا و رطوبت هوا به میزان ۶۰ درصد افزایش یافته می‌یابد.		
	نواحی مرتفع فرانسه	سیستم تولید سالانه علفزار به طور قابل توجهی طی ۴ سال در شرایط آب و هوایی خاص کاهش یافت.	A2 ۲۰۷۰	کانتارل و همکاران(۲۰۱۳)
	فرانسه	تأثیری بر بازدهی لبنیات مشاهده نشد.	A2 ۱۹۷۰-۱۹۹۹، ۲۰۲۰- ۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۴۹ ARPEGE	گراکس و همکاران(۲۰۱۱)
	ایرلند و فرانسه	سیستم تولید علوفه، پتانسیل تولید لبنیات را افزایش می‌دهد؛ اما در تابستان و پاییز با افزایش خطر کاهش و تخریب علف‌های هرز در فرانسه مواجه خواهد بود.	A1B تا پایان قرن	
	کل اروپا	گسترش ویروس زبان آبی (BTV) در گوسفند و کنه در گاوها به علت گرم شدن آب و هوا	۲۰۸۰	گراکس و همکاران(۲۰۱۱)
		خطر ابتلا به ویروس تب هموراژیک کریمه-کنگو در دام افزایش نمی‌یابد.		گزارش پنجم IPCC
استرالیا	استرالیای شمالی	افزایش دمای ۳ درجه سانتیگراد سبب کاهش ۲۱ درصدی تولید علوفه در دی‌اکسید کربن سطح ۳۵۰ ppm و بدون تغییر در سطح ۶۵۰ ppm خواهد شد.	A1B ۲۰۳۰	مکون و همکاران(۲۰۰۹)

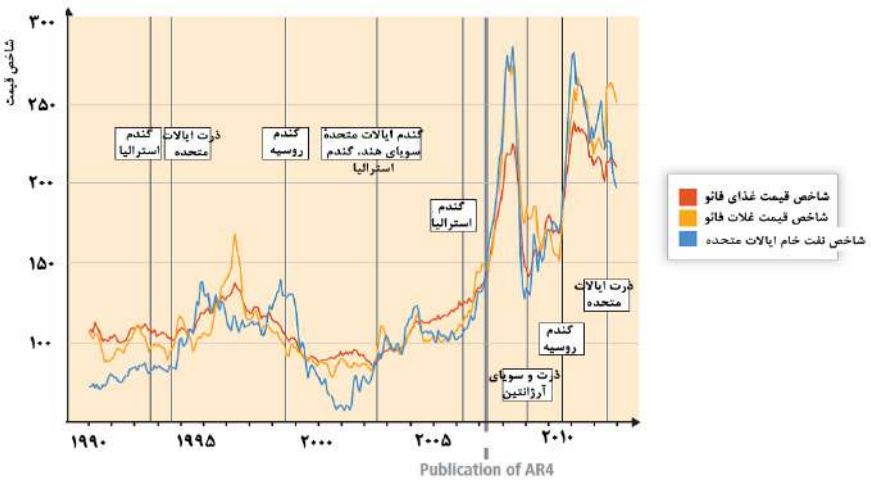
ناحیه	نواحی فرعی	اثرات تغییر آب و هوا	سناریو	منبع
		تغییرات ۱۰ ± درصد در بارندگی به تغییرات ۱۵± درصد در تولید علوفه در دی‌اکسید کربن سطح ۳۵۰ ppm ، منجر خواهد شد.		
	استرالیا(جز تاسمانی)	بازده محصولات لبنی در دمای زیر ۱ ° C کاهش می‌یابد.	A1B ۲۰۳۰	گزارش پنجم IPCC
	۲۵ نقطه در استرالیای جنوبی	به دلیل فصل کوتاه‌تر رشد، بیشتر نقاط با کاهش تولید محصول علوفه مواجه شدند..	A2 ۲۰۵۰	
	استرالیای جنوبی	کاهش در NPP[1] علفزارها به میزان ۹درصد در سال ۲۰۳۰، ۷درصد در سال ۲۰۵۰ و ۱۴درصد در سال ۲۰۷۰. کاهش ANPP[2] در مناطق با بارندگی پایین‌تر قابل توجه تر بوده است. سود عملیاتی (در قیمت‌های ثابت) در سال ۲۰۳۰ به میزان ۲۷درصد، در سال ۲۰۵۰ به میزان ۳۲درصد و در سال ۲۰۷۰ به میزان ۴۸درصد کاهش خواهد یافت.	A2 ۲۰۳۰، ۲۰۵۰، ۲۰۷۰	مورہ و قهرمانی(۲۰۱۳)
	تاسمانی	افزایش محصولات لبنی ۰/۵ تا ۶/۲ درصد	A1B, ECHAM5/MPI-OM ۲۰۵۰	هنسلو و همکاران(۲۰۱۴)
	ویکتوریا	افزایش محصولات لبنی ۱/۳ تا ۶/۷ درصد		
	نیوسودولز	افزایش محصولات لبنی ۱/۴ تا ۶/۶ درصد		
	استرالیای جنوبی	افزایش محصولات لبنی ۲/۲ تا ۸/۱ درصد		
	نیوزلند	تغییر در تولیدات کشاورزی: لبنیات: ۲/۸- تا ۴/۳- درصد گوشت گوسفند و گاو: ۶/۱- تا ۸/۸- درصد	۲۰۳۰ تغییرات دما ۲۵ درصد و ۷۵ درصد بین حد بالا و حد پایین سناریوهای گزارش سوم IPCC در نظر گرفته شده است	رت و همکاران(۲۰۰۸)

[1] Net primary productivity
[2] Appropriation net primary productivity

ناحیه	نواحی فرعی	اثرات تغییر آب و هوا	سناریو	منبع
آمریکای جنوبی و مرکزی	کشورهای کوهه‌ای آند	تعداد گاوهای گوشتی و لبنی، خوک‌ها و جوجه‌ها می‌توانند بین ۰/۹ تا ۳/۲ درصد کاهش یابند در حالی که تعداد گوسفندان می‌توانند ۷ درصد افزایش یابند.	۲۰۶۰ سناریوی گرم و خشک	گزارش پنجم IPCC
	کلمبیا، ونزوئلا و اکوادور،	تنوع انتخاب گوشت گاو کاهش خواهد یافت.	۲۰۶۰ سناریوی معتدل و مرطوب	
	آرژانتین و شیلی	تنوع انتخاب گوشت گاو افزایش خواهد یافت.	تغییر آب و هوای آینده	
	پرنامبکو برزیل	تولید شیر و مصرف غذا در گاوها به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد.	تغییر آب و هوای آینده	سیلوا و همکاران(۲۰۰۹)
آمریکای شمالی	مرکز ایالات‌متحده	بازده لبنی ۱۶ تا ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.	Baseline CO2, 2× CO2, 3× CO2 CGCMI/Hadley	مادر و همکاران(۲۰۰۹)

- **امنیت غذایی و قیمت غذا**

تولید غذا مهمترین جنبه‌ی امنیت غذایی است. برخی اثرات تغییر آب و هوا بر امنیت غذایی مشهود است. یک جنبه‌ی مهم امنیت غذایی قیمت محصولات غذایی است. قیمت منعکس‌کننده‌ی تعادل بین عرضه و تقاضا است. اگرچه قیمت غذا در بیشتر قرن بیستم کاهش پیدا کرده بود (FAO, 2009b)، اما از گزارش چهارم هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا، چندین دوره‌ی افزایش سریع قیمت‌ها مشاهده شده است(شکل ۳-۱۰).



شکل۳-۱۰: از گزارش چهارم IPCC روند قیمت‌ها نسبت به دوره مشاهداتی قبلی معکوس شده است(Porter et al., 2014)

در افق ۲۰۵۰، بر اساس مطالعات و پیش‌بینی‌ها، ممکن است تغییر در بارش و دما بدون اثرگذاری دی‌اکسید کربن جو، منجر به افزایش قیمت غذا شود. این دامنه‌ی افزایشی بین ۳ تا ۸۴ درصد تخمین زده شده است. اثر ترکیبی آب و هوا و دی‌اکسید کربن تنها افزایش قیمت را نشان نداده است بلکه دامنه‌ای بین ۳۰- تا ۴۵ درصد تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است (Porter et al.,2014). نتایج گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا، افزایش قیمت غذا تا قبل از سال ۲۰۵۰ را نشان داده است. نلسون و همکاران پیش‌بینی کرده‌اند که بدون سرمایه‌گذاری سریع در سازگاری برنامه‌ریزی شده، تغییر آب و هوا تا سال ۲۰۵۰ منجر به افزایش ۲۰ تا ۲۵ میلیون نفر در تعداد کودکان زیر سن ۵ سالِ دچارِ سوءتغذیه خواهد شد(Nelson et al., 2009). لیود و همکاران از تغییرات پیش‌بینی شده در این کودکان که توسط نلسون و همکاران(۲۰۰۹) انجام شده است برای پیش‌بینی اثر تغییر آب و هوا بر تغذیه انسان استفاده نموده‌اند و افزایش نسبی در کوتاهی قد به میزان ۱ تا ۲۹ درصد در مقایسه با آب و هوای بدون تغییر آینده را تخمین زده‌اند. کوتاهی قد با افزایش ۲۳ (افریقای مرکزی) تا ۶۲ درصدی(آسیای جنوبی) پیش‌بینی شده است(Lloyd et al., 2011). به‌طور کلی با تغییر آب و هوا، قیمت غذا افزایش خواهد داشت.

در مورد سال ۲۱۰۰ و فراسوی آن تحقیق صورت نگرفته است؛ اما با توجه به تحقیقات انجام شده تا سال ۲۰۵۰، در ادامه نیز روند افزایش قیمت‌ها مورد انتظار خواهد بود.

۳-۵- سازگاری و مدیریت ریسک در کشاورزی در مقیاس جهانی

- **زراعت**

سازگاری مؤثر در بخش زراعت برای افزایش امنیت غذایی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه حیاتی است. شواهدی وجود دارد که کشاورزان در بسیاری از نواحی در حال سازگاری با تغییر آب و هوا به‌ویژه با تغییر کشت و زمان آن، گونه‌های محصول و نظم بخشیدن به بازاریابی هستند. امکان فصول رشد بیشتر به دلیل افزایش دما، رشد محصول را به فصول خنک‌تر افزایش می‌دهد و این بدین معناست که تغییر تاریخ کشت، گزینه‌ای به‌ویژه برای دانه‌های روغنی و غلات است که باعث می‌شود افزایش خشکسالی در پایان فصل رشد وجود نداشته باشد. ممکن است تغییر تاریخ کشت، بازدهی محصول را ۳ تا ۱۷ درصد افزایش دهد. کاشت زودهنگام توسط بهبود در ماشین‌آلات و با استفاده از روش‌هایی مانند کاشت خشک[1]، نشای جوانه‌ها[2] و پرایمینگ بذر[3] تسهیل می‌شود و این سازگاری‌ها می‌تواند با تغییراتی در نیاز به زمان حرارتی بیشتر برای افزایش تولید و اجتناب از یخبندان بهاره دیررس ترکیب شود (Tingem and Rivington, 2009). البته ممکن است محدودیت‌های عملی برای

[1] Dry sowing
[2] seedling transplanting
[3] seed priming

کاشت زودهنگام نظیر شرایط بستر بذر وجود داشته باشد. در بعضی از شرایط، کاشت زودهنگام ممکن است کاشت دو محصول[1] (کاشت دو غله) و حتی کاشت مختلط[2] (کاشت بیش از چند محصول) را ممکن سازد که در حال حاضر در آن تنها کاشت یک محصول امکانپذیر است. باید در نظر داشت که با افزایش بهره‌وری، همزمان نیتروژن و تقاضای آب بالا می‌رود؛ اما در آب و هوای مدیترانه‌ای، کاشت زودهنگام غلات و حبوبات به باران کافی در پاییز وابسته است و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد بارش در بسیاری نواحی کاهش می‌یابد. شرایط گرمتر ممکن است سبب گسترش طیف وسیعی از فعالیت‌های زراعی به سمت قطب گردد یعنی در مناطقی که درجه حرارت پایین در گذشته یک محدودیت بوده است، این مکانها در آینده از لحاظ طول روز، خاک و دیگر شرایط مناسب‌تر خواهند شد و این مورد ممکن است در روسیه، کانادا و اسکاندیناوی رخ دهد. اصلاح مقاومت انواع رقم گونه‌ها به دماهای بالا، نوع دیگری از سازگاری محسوب می‌شود. افزایش خشکسالی‌ها نیز نیاز به افزایش و پرورش انواع محصول مقاوم به خشکسالی را افزایش می‌دهد. در این مورد دسترسی به آب آبیاری، سیستم‌های کارآمدتر انتقال آب، بهبود فناوری آبیاری مانند آبیاری کمتر و برداشت مؤثرتر آب، فایده‌های بسیاری خواهد داشت، گوناگونی و تنوع محصولات نیز یکی دیگر از راه‌های مقابله با تغییر آب و هوایی است.

- **شیلات**

بسیاری از منابع ماهیگیری در حال حاضر در حال بهره‌برداری و صید بی رویه هستند و با یک تخمین مشخص شده که ۲۰ درصد از آن به‌صورت بی‌رویه و ۵۷ درصد آن به‌طور کامل بهره‌برداری شده است (FAO, 2012). سازگاری به منظور کاهش آسیب‌پذیری شیلات و جوامع ماهیگیری می‌تواند شامل روش‌های مدیریت و سیاست‌های تقویت کننده پایه معیشت، درک بهتر از مکانیزم‌های واکنش موجود به تغییر آب و هوا به کمک برنامه‌ریزی سازگاری؛ شناخت و واکنش به فرصت‌های جدید در مورد تغییر آب و هوا، نظارت بر شاخص‌های بیوفیزیکی، اجتماعی و اقتصادی مرتبط به واکنش‌های مدیریتی و سیاسی و اتخاذ راهبردهای سازگاری چند بخشی به‌منظور به حداقل رساندن اثرات منفی آن باشد. هیچ دستورالعمل ساده و عمومی برای سازگاری در بخش ماهیگیری وجود ندارد.

- **دامپروری**

سیستم‌های گسترده‌ی دام در طیف عظیمی از سیستم‌های بیوفیزیکی و اجتماعی-زیست محیطی تشکیل می‌شوند که باعث می‌شود به برنامه‌های سازگاری در این بخش، توجه ویژه‌ای گردد. در بسیاری از موارد، این سیستم‌های دام با خطرات آب و هوای گذشته سازگار شده‌اند و سطح اطمینان بالایی وجود دارد که این مورد یک نقطه‌ی شروع برای سازگاری با تغییر آب و هوا را فراهم کند. سازگاری‌ها شامل تطابق تعداد دام‌ها با نرخ تولید مراتع، مدیریت گله، مدیریت آبیاری برای الگوهای تغییریافته‌ی

[1] double cropping
[2] intercropping

فضایی-زمانی تولید علوفه، مدیریت کیفیت رژیم غذایی(با استفاده از مکمل‌های رژیم غذایی، حبوبات، انتخاب گونه مرتعی و...)، استفاده‌ی مؤثر از علوفه، استفاده از نژادهای مناسب‌تر دام، فعالیت‌های گله‌داری مهاجرتی و طیف وسیعی از فعالیت‌های امنیتی زیستی برای نظارت و مدیریت گسترش آفات، علف‌های هرز و بیماری‌ها می‌باشد.

۳-۶- اثر تغییرآب و هوا بر فعالیتهای زراعی و باغی کشور

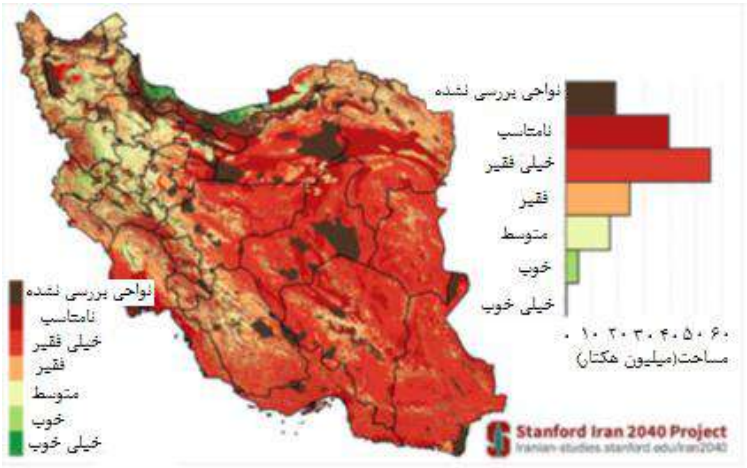
بر مبنای آمار سال ۱۳۹۴ مرکز آمار ایران، کل اراضی زراعی کشور برابر با ۱۴۶۸۷ هکتار است که ۵۹ درصد آن به صورت آبی و ۴۱ درصد آن به صورت دیم استفاده می‌شود. مساحت باغ و قلمستان نیز در کل ۱۳۹۰ هکتار را شامل می‌شود. مقایسه میزان اراضی زراعی در دو سال ۱۳۸۲ و ۱۳۹۳ نشان می‌دهد که میزان مساحت به ترتیب ۱۴/۷ و ۱۶/۲ میلیون هکتار بوده است که بیانگر روند افزایشی حدود ۲ میلیون هکتاری می‌باشد. گندم ۵۸ درصد، جو ۱۵ درصد، برنج ۴ درصد و سایر محصولات ۲۳ درصد از زمینهای زراعی را به خود اختصاص داده‌اند.

در کشور مساحت کشت دیم با کشت آبی تقریباً برابر است اما ۹۵ درصد محصولات از کشت آبی به دست می‌آید به عبارت دیگر، نیمی از زمین‌های کشاورزی به صورت دیم است ولی تنها ۵ درصد محصولات کشور را تأمین می‌کند که یکی از دلایل آن، پتانسیل کمتر ایران در کشت دیم در مقایسه با سایر کشورها است چرا که عدم مطلوبیت بارش در ایران به عدم استفاده از زمینهای دیم دامن زده است.

در ۲۵ سال اخیر، سالانه به‌طور متوسط ۹۰۰ هزار نفر به جمعیت کشور اضافه شده است که این جمعیت به غذا، آب، انرژی و سایر منابع نیاز دارند بنابراین همیشه بخش کشاورزی، دونده بوده و شکاف بین عرضه و تقاضا بیشتر شده است. سالانه حدود ۵ میلیارد دلار که معادل ۱۴ درصد درآمدهای نفتی کشور است به واردات مواد غذایی اختصاص داده شده است که تا حد زیادی به نبود برنامه‌ریزی صحیح و نه لزوماً کمبود منابع مربوط می‌شود. بخش کشاورزی ۹۰ حدود درصد از آب کشور را مصرف می‌کند که حدود ۱۰ درصد به تولید ناخالص داخلی و ۲۰ درصد به اشتغال‌زایی کمک می‌کند، از این جهت دولت تا نتواند شغل جایگزین را تأمین کند قادر به محدود کردن بخش کشاورزی نخواهد بود.

ارزیابی قابلیت اراضی کشور که توسط دانشگاه استنفورد انجام شده است اطلاعات ذیقیمتی در مورد بسترهای محیطی کشاورزی در کشور را مشخص می‌نماید(Mesgaran et al., 2016). برای انجام این ارزیابی مؤلفه‌های مختلفی مورد توجه بوده است. در ابتدا خصوصیات مختلف خاک کشور با استفاده از استانداردهایی که توسط فائو تعیین شده است شامل شاخص‌های درصد کربن آلی، اسیدیته خاک، شوری خاک (هدایت الکتریکی خاک)، درصد سدیم قابل تبادل، بافت خاک، درصد اشباع بازی، درصد تبادل کاتیونی، درصد ذرات درشت خاک، ظرفیت نگهداری آب، و کربنات کلسیم خاک مورد

بررسی قرار گرفته که نشان دهنده ظرفیت اراضی برای تولید است. ویژگی‌های توپوگرافی (شیب و ارتفاع) به عنوان مؤلفه دوم مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج همپوشانی آن نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۱) که اگر فقط کیفیت خاک و توپوگرافی بدون لحاظ کردن بارندگی و تبخیر و تعرق در نظر گرفته شود، تنها ۰٫۴ درصد از زمین‌های کشور، خیلی خوب یا خیلی غنی برای کشاورزی محسوب می‌شوند، ۳ درصد مساحت (حدود ۵ میلیون هکتار) زمین‌های خوب و مطلوب، ۱۰ درصد زمین‌ها (۱۷ میلیون هکتار) با مطلوبیت متوسط و باقی آن زمین‌های فقیر و یا به عبارتی نامناسب برای کشاورزی هستند که از این زمینهای فقیر حدود ۱۵ درصد مساحت کشور را خاکهای ضعیف (۲۵ میلیون هکتار)، ۳۴ درصد خاک خیلی فقیر (۵۶ میلیون هکتار) و ۲۴ درصد (۴۰ میلیون هکتار) نیز مساحت کاملاً نامناسب برای کشاورزی هستند. ۱۲ درصد از مساحت ایران یعنی حدود ۱۹ میلیون هکتار را به دلیل اینکه جزو مناطق حفاظت شده و یا مناطق شهری هستند از محاسبات کنار گذاشته شده‌اند.



شکل۳-۱۱: ارزیابی قابلیت اراضی کشور برای کشاورزی بر مبنای ویژگی‌های خاک و توپوگرافی(Mesgaran et al., 2016)

در بخش نخست ارزیابی‌ها و با در نظر گرفتن شاخص‌های کیفیت خاک و عوامل توپوگرافی، مناطق جنوب خوزستان، نواحی اطراف دریاچه ارومیه، حاشیه تهران، نواحی شرقی کشور شامل سیستان و بلوچستان، خراسان، نواحی بزرگی از کرمان و فارس و مناطق مرکزی کشور -جایی که در حال حاضر برای انتقال آب بیشتر برای کشاورزی بحثهای زیادی وجود دارد- برای کشاورزی کاملاً نامناسب ارزیابی شده‌اند.

با توجه به نتایج حاصله در پهنه‌بندی کشور، بدترین عوامل محدودکننده اراضی کشاورزی در نواحی مختلف، مواد آلی خاک هستند و بخش‌های زیادی از کشور به لحاظ مواد آلی، غنی نیستند و شیب، دومین عامل محدودکننده است.

در مرحله بعد، آب به مؤلفه‌های فوق‌الذکر اضافه شده است و متوسط درازمدت بارندگی ماهانه و سالیانه، تبخیر و تعرق خاک و گیاه به عنوان شاخص‌های آب و هوایی در نظر گرفته شده است(شکل ۳-۱۲). نتایج نشان می‌دهد که حدود ۰٫۴ درصد اراضی کشور دارای خاک مطلوب، ۲٫۲ درصد اراضی خوب و در مجموع، کمتر از ۳ درصد مساحت کشور ما برای کشاورزی مناسب هستند. همچنین حدود ۸ درصد اراضی به لحاظ مطلوبیت برای کشاورزی، متوسط و ۱۱ درصد نیز ضعیف یا فقیر هستند و ۶۰ درصد مساحت ایران با در نظر گرفتن متغیرهای آب و هوایی، توپوگرافی و خاک به درد کشاورزی نمی‌خورد ولی در حال حاضر در خیلی از این مناطق کشاورزی صورت می‌گیرد.

بیشترین اراضی با مطلوبیت خوب به ترتیب در استانهای کرمانشاه، کردستان، آذربایجان غربی، لرستان، مازندران و گیلان واقع شده است، که این مطلوبیت با در نظر گرفتن نسبت اراضی به کل مساحت استان است و بیشترین اراضی با مطلوبیت متوسط نیز متعلق به استانهای همدان، زنجان، قزوین، آذربایجان شرقی، بخش‌هایی از خوزستان و بخش‌هایی از استان فارس است. در سایر استآنهای کشور اگر کشاورزی می‌شود در واقع از ظرفیت‌های تجدید ناپذیر خاک استفاده شده و در واقع به منابع زیان وارد می‌شود.

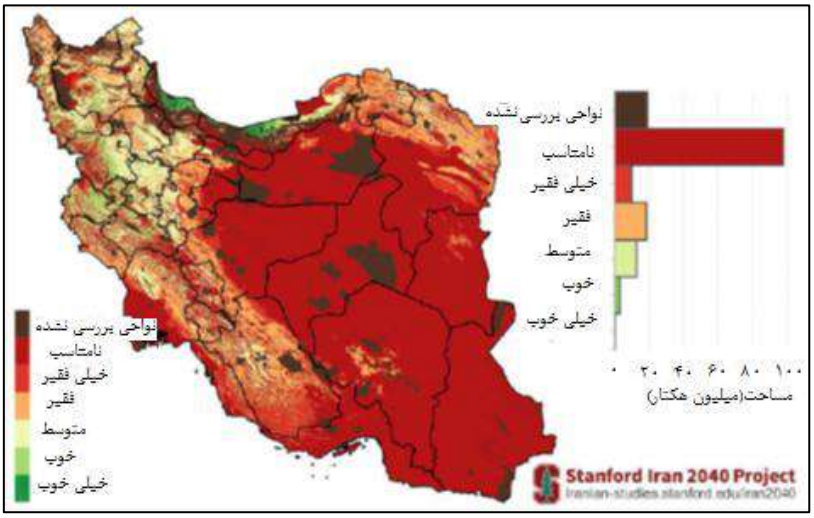
طبق آمار به دست آمده ۷۵ درصد مساحت کشور، کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی در سال دارد (حدود ۵ درصد) که نشان از این است که کشور نسبت به متوسط جهان پتانسیل خیلی کمتری در کشت دیم دارد. رقم ۲۵۰ میلی‌متر از این نظر اهمیت دارد که در استانداردهای بین‌المللی، به عنوان عدد پایه برای کشت دیم محاسبه می‌شود و کمتر از آن، برای این نوع کشت مناسب نیست. حدود سه درصد مساحت کشور، میانگین بارندگی بالای ۵۰۰ میلی‌متر در سال را دارد. در کل ۷۳ درصد مساحت کشور ما خشک، ۲۴ درصد نیمه خشک، یک درصد معتدل، یک درصد خشک رو به معتدل و یک درصد نیز فوق خشک هستند. در اغلب مناطق کشور، از اردیبهشت به بعد وضعیت رطوبت بد است و تا مهر بیشتر مساحت کشور خشک است و فقط ماههای دی و بهمن، وضعیت خوبی از لحاظ رطوبت دارد و در بقیه ماههای بهار، تابستان و حتی اوایل پاییز، تبخیر و تعرق گیاهان بالا می‌رود و برای کشت در این فصول نیاز به پرداخت هزینه برای آب است و یا باید کشت را به فصول با رطوبت مناسب اختصاص داد.

با در نظر گرفتن استاندارد بارش ۲۵۰ میلیمتر (شکل ۳-۱۳) وضعیت استفاده از اراضی تفاوت چشمگیری را پیدا می‌کند.

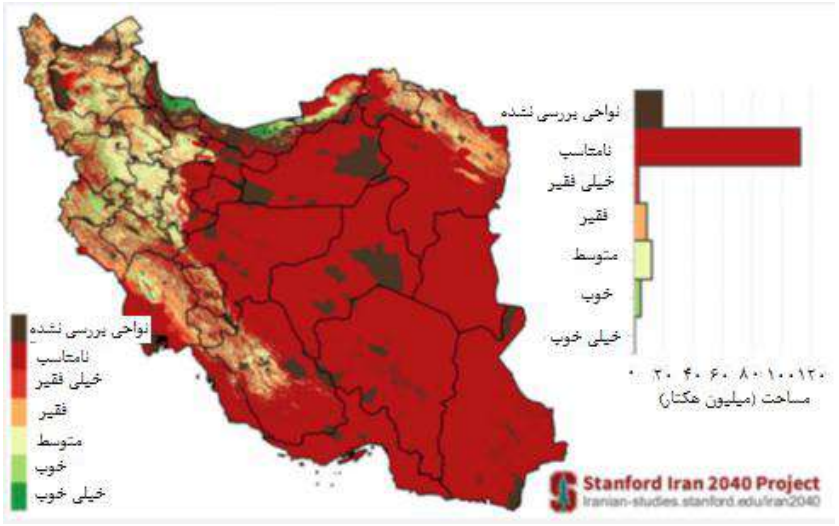
نتایج مطالعه صورت گرفته نشان می‌دهد که کشت دیم کشور را می‌توان افزایش داد ولی به هیچ وجه نمی‌توان انتظار داشت که غذای مورد نیاز را از طریق این کشت تأمین کنیم زیرا پتانسیل کشور در این زمینه بسیار پایین‌تر از متوسط جهانی است.

آمارها بیانگر این است که ۰٫۴ درصد اراضی کشور برای کشت دیم خیلی مطلوب و غنی است، ۳ درصد اراضی خوب و ۷٫۶ درصد نیز متوسط هستند که در مجموع حدود ۱۰ درصد مساحت کشور

برای کشت دیم مناسب هستند، ۵،۴ درصد مناطق ضعیف، ۲ درصد خیلی ضعیف و حدود ۶۹ درصد اراضی نیز برای این نوع کشت بلا استفاده هستند و حدود ۱۲ درصد مساحت نیز از جمله مناطق حفاظت شده و یا مناطق شهری هستند که برای کشت نمی‌توان از آنها استفاده کرد.



شکل۳-۱۲: نقشه قابلیت زمین‌های ایران برای کشت غلات بر اساس ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و عناصر آب و هوایی(Mesgaran et al., 2016)



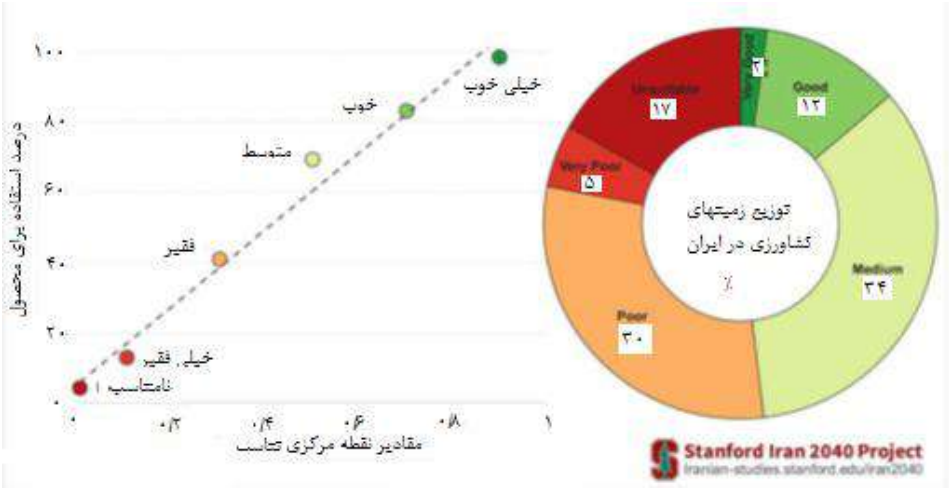
شکل۳-۱۳: ارزیابی قابلیت زمین برای قابلیت کشت دیم بر اساس ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و استاندارد بارش ۲۵۰ میلیمتر در سال(Mesgaran et al., 2016)

دو محصول رایج که بسیار آب‌بر هستند- برنج و چغندر قند که برای تولید آنها بـه ۷۰۰ میلـی‌متـر آب نیاز است- در برخی از مناطق ایران محصولات خیلی ویژه، محبوب و محل درآمد هستند در حـالی که کشور آب ندارد.

هندوانه درست است که پر آب به نظر می رسد اما بر اساس آبی که برای آن خرج می‌شود با کشـت ذرت و سیب در یک راستا قرار دارد و حتی ممکن است آورد ریـالی هندوانـه از محصـولات مشـابه آن بهتر باشد. برخی محصولات همچون زیتون، جو، حبوبات، سیب‌زمینی، پیاز و گردو بـه آب کمتـری بـه میزان حدود ۳۰۰ میلی‌متر نیازمند هستند که باید موضوع کشت‌های جایگزین به طور جدی در برخی مناطق کشور دنبال شود.

هنگامی‌که در محاسبات شاخص آب به مطلوبیت خاک و متغیرهای آب و هوایی و توپوگرافی اضافه شود، متوجه می‌شویم که در حال حاضر همه زمین‌هـای خیلـی خـوب کشـور بـرای کشـاورزی، مـورد استفاده قرار گرفته‌اند و جای جدیدی برای توسعه کشاورزی باقی نمانده است و در این شرایط، بایـد از توسعه اراضی شهری که در حال رواج است جلوگیری نمود.

در حال حاضر ۲ درصد کشاورزی ایران در زمین‌های خیلی خوب، ۱۲ درصد در زمین‌هـای خـوب، ۳۴ درصد در زمین‌های با مطلوبیت متوسط، ۳۰ درصد کشاورزی در زمین‌هـای بـا مطلوبیـت فقیـر، ۵ درصد در زمین‌های بسیار بد است و ۱۷ درصد در زمین‌هایی است که اصـلاً بـرای کشـاورزی مناسـب نیستند. ۵،۵ میلیون هکتار زمین های کشور در مناطق کاملاً به درد نخور و با مطلوبیـت بسـیار پـایین است (شکل ۳-۱۴).

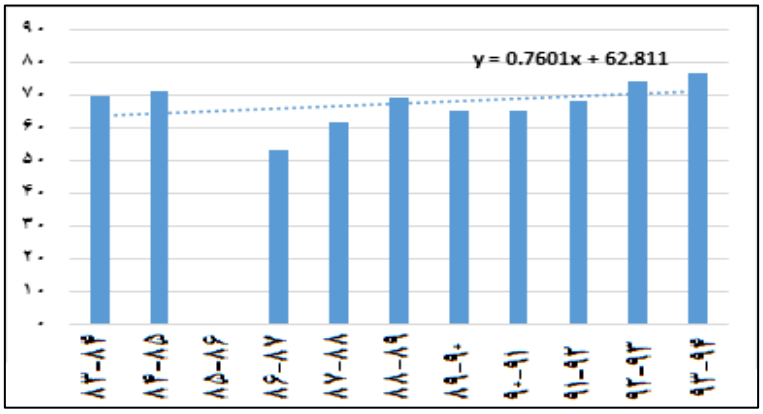


شکل۳-۱۴: توزیع زمین‌های کشاورزی ایران با قابلیت‌های مختلف(Mesgaran et al., 2016)

آمار گیری‌های مرکز آمار ایران نشان می‌دهد که در ۲۵ سال گذشته، (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ میلادی) عملکرد کشاورزی در ایران رو به افزایش بوده است به طوری که تولید از ۲،۸ تن محصول در هکتار به ۶،۴ تن در هکتار رسیده است، اما مساحت تحت کشت ایران در این مدت، تغییر چندانی نداشته است و حدود ۱۲میلیون هکتار بوده که البته در سالهای ترسالی، اندکی بیشتر و در سال های کم بارش نوسان داشته است که این مسئله کاملاً طبیعی است.

عملکرد غلات در کشور تقریباً ثابت بوده و سه چهارم اراضی کشور به غلات اختصاص یافته است اما عملکرد غلات با تمام تأکید بر خودکفایی غذایی و افزایش تولیدات غلات ثابت بوده است. در واقع افزایش تولید در سطح کشور با تمام فقر آبی بیشتر از طریق محصولات آب‌بر و صیفی و سبزیجات بوده است. دلیل این افزایش نیز این است که، کشاورزان به دنبال افزایش درآمد از طریق کاشت محصولات درآمدزا بوده‌اند و صیفی و سبزیجات درآمدزا هستند.

در کل این بحث مطرح است که عملاً به خاطر خودکفایی گندم، منابع آب کشور از بین رفته که در این راستا اختلافاتی بین بخش امنیت آبی و امنیت غذایی کشور وجود دارد، اما نتایج تحقیقات مطالعات نشان می‌دهد که گندم، مقصر اصلی مصرف آب کشاورزی نیست و غلات بیشترین آب ایران را در سالهای اخیر مصرف نکرده‌اند. در این مدت، محصولات سنگین و آب بر تولید شده و به همین خاطر تناژ تولید محصولات افزایش یافته و غلات که سبک وزن هستند نقش خود را در عملکرد نشان نمی‌دهد. شکل ۳-۱۵ کل تولیدات کشاورزی ایران را طی سالهای مختلف با یک روند صعودی کاملاً مشخصی نشان می‌دهد.



شکل۳-۱۵: میزان کل تولیدات محصولات زراعی در سالهای ۸۳-۸۴ تا ۹۳-۹۴ به میلیون تن

در بین محصولات کاشته شده، غلات با دارا بودن ۷۱/۹ درصد از سطح زیر کشت بالاترین سطح را در اختیار دارند و ذرت علوفه‌ای با سطح زیر کشتی با وسعت ۱۴/۲ درصد، پایین‌ترین سطح را دارا است. ۵۲/۹۳ درصد از اراضی، زیر کشت محصولات آبی و ۴۷/۷ درصد آن به صورت دیم بوده است. در

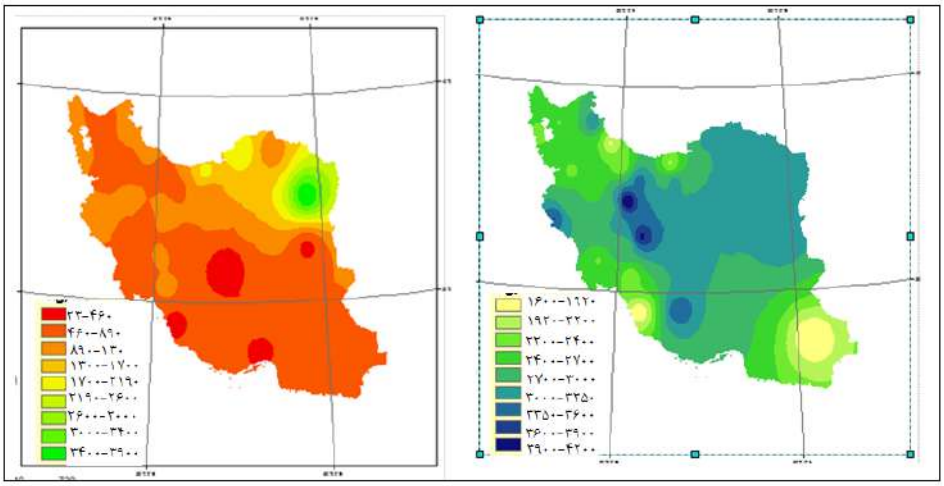
بین محصولات باغی نیز درختان میوه‌دار بالاترین سطح زیر کشت یعنی ۱۰/۲ درصد را در اختیار دارند. در این سال ۷۷/۰۴ میلیون تن از محصولات زراعی و ۱۹/۳۸ میلیون تن از محصولات باغی برداشت شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵).

جدول ۳-۵ مشخصات آماری عملکرد تولید گندم آبی و دیم و شکل ۳-۱۶ توزیع جغرافیایی آن را برای مراکز استآنها نشان می‌دهد. بررسی ارقام جدول و شکل مربوطه حکایت از آن دارد که در هردوی عملکرد آبی و دیم اختلافات زیادی بین مناطق جغرافیایی کشور وجود دارد. در کشت گندم آبی بیشترین مقدار به میزان حدود ۳۵۰۰ کیلوگرم در هر هکتار در هر سال عمدتاً در مناطق مرکزی مشاهده می‌شود؛ در حالی که حداقل آن با حدود با ۱/۵ تا ۲/۵ تن در جنوبشرق و شمالغرب قابل ملاحظه است. از نظر گندم دیم حداکثر آن با حدود ۳ تن در شمالغرب کشور و کمتر از ۱ تن در مناطق مرکزی و جنوبی کشور مشاهده می‌شود.

جدول۳-۵: توزیع مشخصات آماری عملکرد تولید گندم (کیلوگرم در هکتار در سال)برای دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶؛ آبی و دیم در کشور (اسدزاده، ۱۳۹۶)

ایستگاه	آبی				دیم			
	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
تبریز	۲۴۹۲	۱۴۵۳	۳۶۱۰	۷۴۶	۸۱۴	۴۳۳	۱۱۶۰	۲۱۰
ارومیه	۲۴۵۰	۹۰۲	۳۸۵۶	۸۴۳	۱۰۴۱	۴۸۴	۱۴۶۶	۲۶۵
تهران	۳۴۳۸/۹	۲۰۶۴	۴۹۱۰	۹۲۲/۹	۶۳۱	۸۷	۱۴۶۹	۲۹۷/۴
قزوین	۲۲۱۱	۱۲۵۲	۳۸۱۱	۷۸۸	۵۷۱	۱۱۵	۱۲۲/۷	۳۴۹
ایلام	۳۶۵۱	۲۲۵	۳۵۶	۳۳۱/۱	۹۰۳	۴۴۹	۱۴۷۰	۲۷۴
اهواز	۲۴۷۲	۱۰۲۴	۳۵۵۶	۸۹۹	۶۰۵	۱۸۷	۱۳۰۹	۲۶۱
کرمانشاه	۲۹۳۶	۱۳۰۴	۵۳۴۱	۱۲۷	۱۰۶۷	۲۲۲/۵	۱۶۹۶	۳۵۵
سنندج	۲۴۴۰	۱۳۷۲	۴۱۸۴	۹۲۰	۸۰۱	۴۲۷	۱۳۰۲	۲۵۴
رشت	۲۶۶۳	۱۷/۳	۱۸۱۲۶	۷۱۱	۱۱۵۹	۵۰۸	۸۶۹۶	E۱/۵
ساری	۲۱۸۸	۱۰۵۳	۳۴۸۶	۵۶۰	۱۹۲۱	۱۲۱۲	۲۴۰۹	۳۴۰
گرگان	۳۰۷۸	۱۸۳۹	۴۲۶۷	۶۰۷	۲۱۶۵	۱۳۷۵,۵	۳۴۷۶	۴۵۴

ایستگاه	آبی				دیم			
	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
مشهد	۳۲۰۸	۱۲۱۳	۲۴۰۹	۴۵۰	۸۸۸/۶	۱۱۳	۳۲۷۹/۳	۲۲۵
زاهدان	۱۶۳۸	۷۶۹	۲۳۲۸	۴۹۲	۷۷۴	۰	۱۶۶۳	۵۲۲
کرمان	۲۸۰۹	۱۷۹۴	۴۲۷۰	۶۹۰	۵۹۵/۶	۰	۱۰۳۰	۳۴۳
یاسوج	۲۳۱۸	۷۹۰	۳۷۵۸	۸۵۰	۱۰۲۲	۴۰۲	۲۲۶۱	۳۸۲
شیراز	۳۵۸۹	۱۶۱۶	۴۷۲۴	۹۲۵	۷۱۱	۲۵۸	۱۲۹۶	۲۷۹
شهرکرد	۲۹۰۴	۱۸۷۳	۳۹۰۴	۶۱۵	۱۰۱۱	۳۲۴/۷	۱۶۳۱	۳۳۸
زنجان	۲۵۳۰	۱۴۸۴	۳۸۷۷	۷۷۸	۶۴۳	۱۸۹	۱۱۲۹	۲۹۶
بوشهر	۱۷۱۶	۴۴۴	۲۷۳۶	۸۴۵	۳۳۷	۵	۷۷۹	۱۹۳
بندرعباس	۲۸۰۹	۱۵۲۴	۴۴۴۳	۹۴۰	۴۰۷	۰	۱۰۶۴	۳۱۷
اراک	۲۹۵۵	۱۶۹۹	۴۳۲۶	۷۴۱	۶۸۸	۲۳۱	۱۲۷۲	۲۷۹
همدان	۲۹۸۶	۱۶۱۹	۴۰۰۴	۷۲۹	۸۰۷	۲۰۶	۱۴۰۸	۳۰۰
یزد	۳۲۴۶	۲۰۶۵	۴۳۱۰	۶۱۳	۲۹	۰	۷۰۰	۱۴۲
سمنان	۱۳۳۸	۱۹۳۵	۴۳۱۰	۶۶۳	۱۱۱۶	۵۵۳	۱۴۸۹	۲۷۵
اصفهان	۳۹۷۴	۲۹۹۵	۵۰۶۳	۵۸۹	۵۹۶	۲۷۸	۹۶۰	۱۹۴
خرم آباد	۲۵۲۹	۱۶۹۹	۴۳۲۶	۶/۸	۱۱۴۷/۹	۵۹۶	۵۲۳۶	۸۸۷/۵
اردبیل	۲۳۳۷	۱۶۸۳	۴۱۰۲	۷۱۳	۹۵۵	۵۳۰	۱۴۵۰	۲۴۴
بیرجند	۳۲۸۱	۱۸۷۱	۱۴۷۵۲	۳۲۰	۳۴۴	۱۲۲	۱۵۷۵	۳۶۷
بجنورد	۳۲۷۴/۵	۲۲۲۱	۴۲۴۵۴	۱۰۰	۱۰۵۱	۴۷۴	۲۱۴۰	۴۵۳
قم	۱۹۹۴	۱۹۸۲	۲۰۰۶	۷/۲	۹۹۲	۲۶۹۲	۶۰۵۳۸	E۲/۳

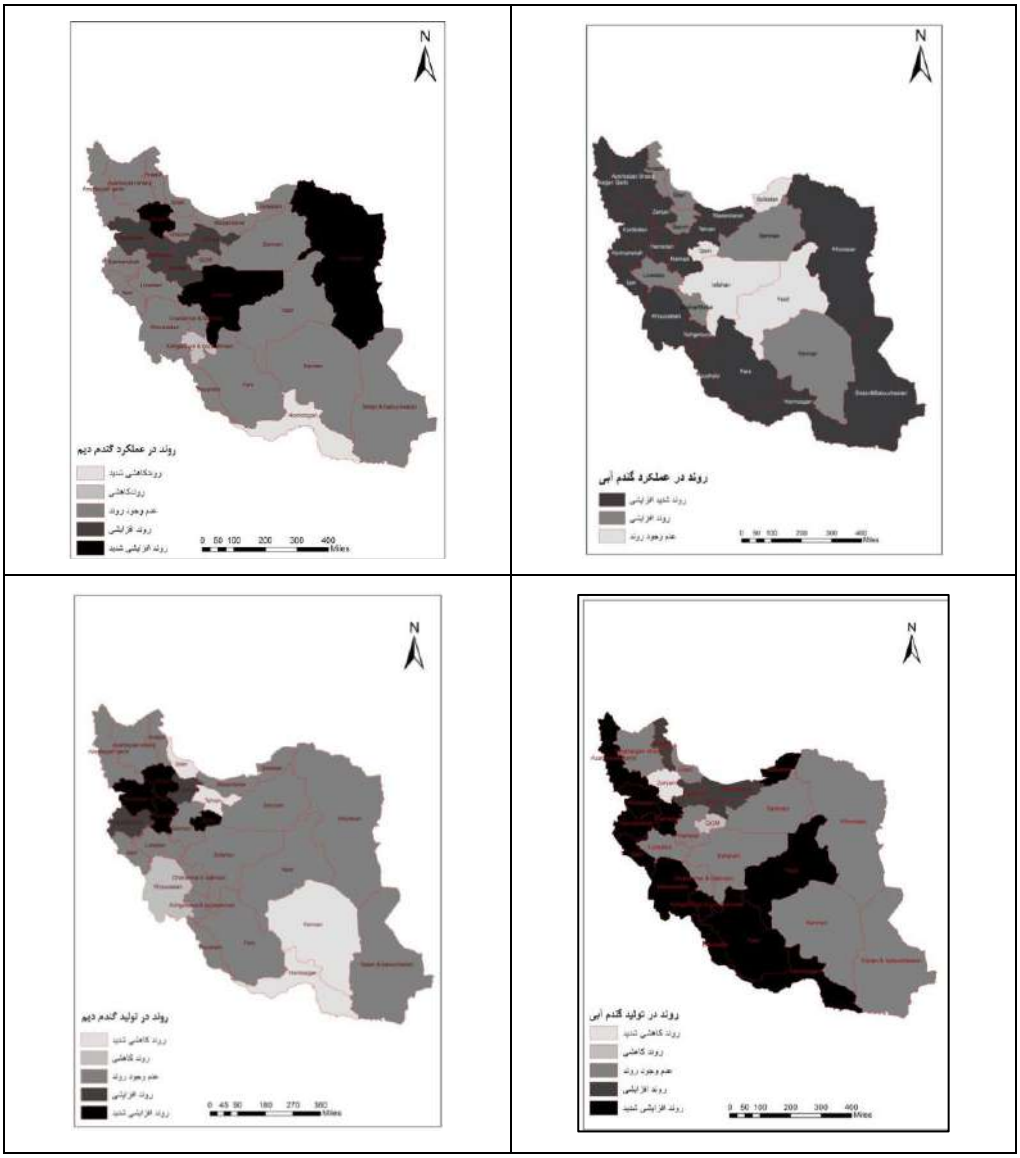


شکل۳-۱۶: توزیع جغرافیایی میانگین عملکرد تولید گندم (کیلوگرم در هکتار در سال) برای دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶؛ آبی (سمت راست) و دیم (سمت چپ) در کشور (اسدزاده، ۱۳۹۶)

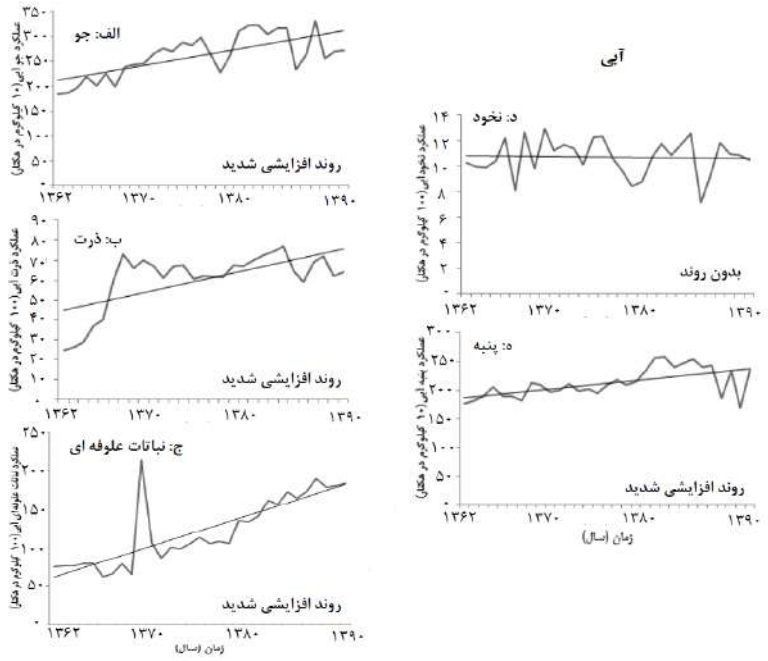
۳-۷- تغییرات مشاهداتی و آینده‌ی آب و هوا بر بخش زراعت کشور

از نظر روند تغییرات عملکرد همان‌طور که در شکل ۳-۱۷مشاهده می‌گردد برای نقاط مختلف کشور متفاوت است بدین معنا که برخی از نقاط روند افزایشی و برخی دیگر روند کاهشی را نشان داده‌اند، علت عمده افزایش یا کاهش در عملکرد و تولید، افزایش یا کاهش سطح زیر کشت در بیشتر استانها بوده است. همچنین در برخی استانها کمبود بارندگی بر روند کاهشی دامن زده است. استفاده از کودهای شیمیایی و بذرهای بهینه در عملکرد بهتر نقش ویژه‌ای داشته است. همچنین عملکرد برخی از محصولات زراعی دیگر در شرایط آبی و دیم در شکل ۳-۱۸، ۳-۱۹ و ۳-۲۰ قابل مشاهده است (خورسندی و همکاران،۱۳۹۴). بر اساس این شکلها محصولات کشت آبی مانند جو، ذرت، نباتات علوفه‌ای و پنبه دارای روند افزایشی شدید می‌باشند؛ درحالکیه محصول نخود از روند کاهشی برخوردار است. در گروه محصولات کشت دیم نیز تفاوتهای قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌گردد که بر اساس شکل، جو و نباتات علوفه دارای روند افزایشی شدید و سایر محصولات فوق از روند خاصی برخوردار نیستند. در گروه محصولات باغی، محصولات انگور، خرما و مرکبات در طی سالهای اخیر از روند افزایشی شدید برخوردار هستند و محصول پسته روند کاهشی مشخصی را نشان می‌دهد که بروز سرمای ناگهانی در فصل بهار، و آسیب رساندن به گلهای آن به تبع تغییر آب و هوا در کاهش آن نقش چشمگیری ایفا کرده است. پیشرفت در تسطیح اراضی، مدیریت آفات و بیماری‌ها، مصرف کودهای کم‌مصرف، مصرف متعادل کود، بهبود روش‌های آبیاری، و مکانیزاسیون کشاورزی و روش‌های کاشت و برداشت مکانیکی

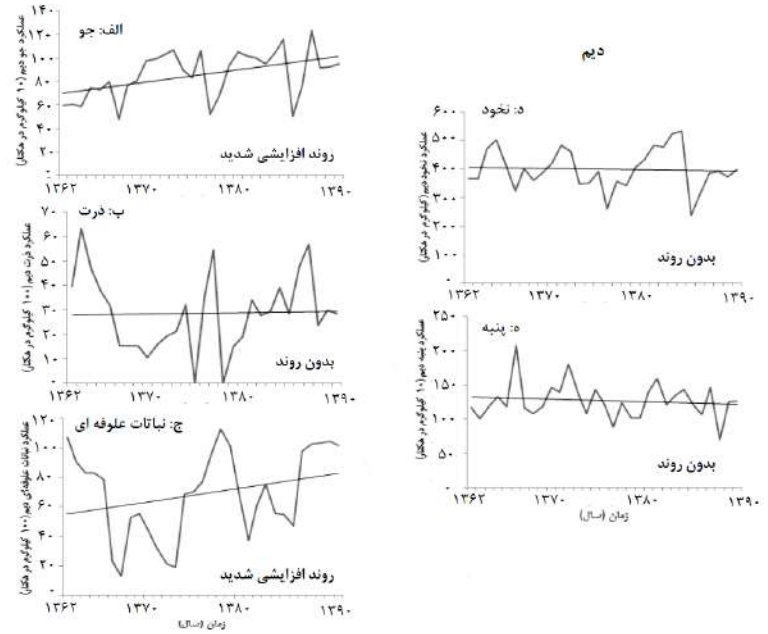
تأثیر ویژه‌ای بر عملکرد محصولاتی نظیر نخود، جو، ذرت، پنبـه و نباتـات علوفـه‌ای داشـته اسـت (زارع فیض آبادی و همکاران، ۱۳۸۵). با خشکسالیهای دهه ۷۰ و ۸۰ همان‌طور کـه شـکل نشـان مـی‌دهـد عملکرد نباتات علوفه‌ای کاهش چشمگیری را آشکار کرده است و محصولات دیگر این شکل تأثیر عمده و معنی داری از تغییر آب و هوا نشان نداده‌اند.



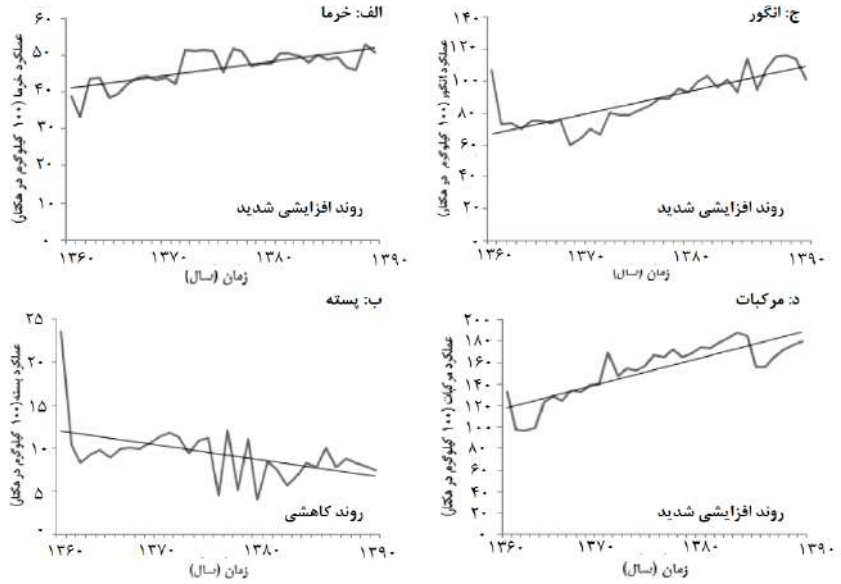
شکل۳-۱۷: روند تولید و عملکرد گندم آبی و دیمی طی ۳۰ سال گذشته (خورسندی و همکاران، ۱۳۹۴)



شکل۳-۱۸: تغییرات عملکرد ۵ محصول زراعی آبی (خورسندی و همکاران، ۱۳۹۴)



شکل۳-۱۹: تغییرات عملکرد ۵ محصول زراعی دیمی (خورسندی و همکاران، ۱۳۹۴)



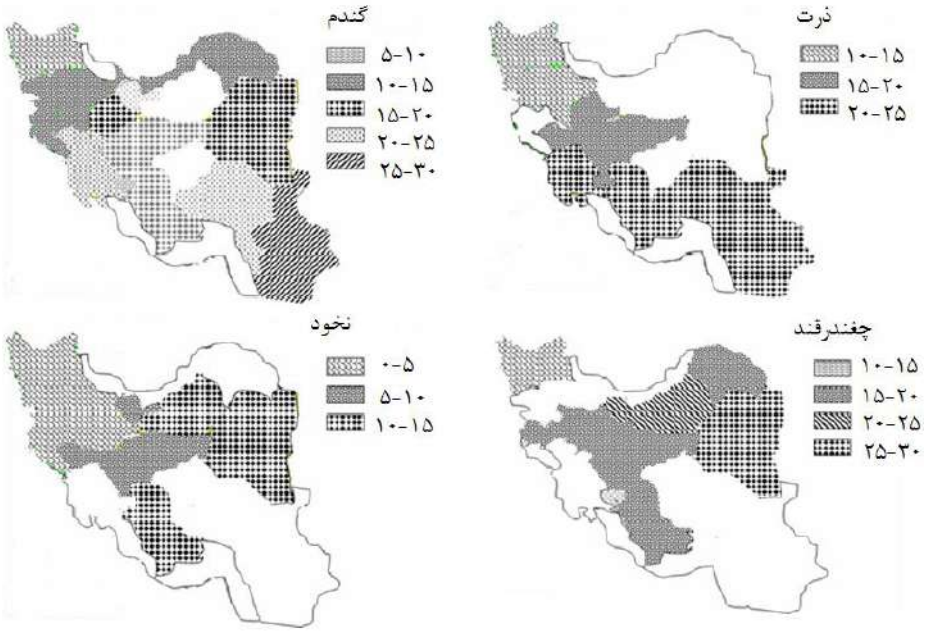
شکل۳-۲۰: تغییرات عملکرد ۴محصول باغی (خورسندی و همکاران، ۱۳۹۴)

در افق ۲۰۵۰، با توجه به تغییرات دما و بارش ذکر شده در بخش‌های پیشین، محصولات به‌ویژه غلات تحت آسیب‌های جدی خواهند بود. مطالعات مربوط به چشم انداز آینده مطالعات زیادی را در کشور به خود اختصاص داده است. در اغلب این مطالعات سعی می‌شود بر مبنای استخراج ارقام شاخص بارش، دما و برای دهه‌های آینده بر مبنای مدلهای گردش عمومی اتمسفر و در چارچوب سناریوهای آب و هوایی ارائه شده توسط هیئت بین الدول تغییرات آب و هوایی صورت گیرد و در مرحله بعد بر مبنای مدلسازی روابط بین عملکرد محصولات زراعی و باغی مختلف با توجه به متغیرهای آب و هوایی، وضعیت آتی عملکرد محاسبه و تحلیل شود. در همین زمینه کوچکی و همکاران در مطالعه خود به بررسی اثر تغییر آب و هوا بر محصولات گل آفتابگردان و نخود در منطقه تبریز پرداخته و کاهش عملکرد و زیست‌توده آنها را برای دهه‌های آینده پیش‌بینی نموده‌اند (Koocheki et al., 2006). رضایی و بناییان نیز مطالعه عملکرد گندم دیم را تحت شرایط تغییر آب و هوا در منطقه شمالشرق کشور انجام داده و کاهش عملکرد را برای دهه‌های آتی تبیین نموده‌اند (Rezaie and Bannayan, 2012). در مطالعه مداح و همکاران که عملکرد را برای دهه‌های آینده برای منطقه گرگان انجام داده‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که در دهه‌های آینده باید انتظار کاهش عملکرد گندم را در این منطقه داشت(Maddah et al., 2015). مطالعه مشابهی توسط ولی زاده و همکاران در منطقه سیستان و بلوچستان انحام شده و آنها نیز به نتیجه کاهش محصولات کشاورزی رسیده‌اند(Valizadeh et al., 2014). لوپز و همکاران در بهینه‌سازی مقاومت گندم زمستانه در برابر تغییر آب و هوا در سامانه‌های غلات دیم ایران و ترکیه پرداخته و شرایط لازم برای این بهینه‌سازی را تبیین نموده‌اند (Lopes et al., 2018).

تولید غلات کشور تا سال ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب بین صفر الی ۵ درصد و ۲/۵ تا ۱۰ درصد کاهش می‌یابد (پری و همکاران،۲۰۰۴ به نقل از خورسندی و همکاران،۱۳۹۴). عرفانیان و همکاران (۱۳۹۶) عملکرد گندم را در خراسان رضوی با استفاده از سناریوهای جدید برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ بررسی کردند که مقدار متوسط عملکرد در دوره گذشته ۷۹/۳ تن در هکتار و در دوره آینده با سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۸۸/۴ و۲۴/۵ تن در هکتار به دست آوردند. علت افزایش مقدار محصول در شرایط تغییر آب و هوای آینده مربوط به افزایش دما و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می-باشد. زرعکانی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی گندم دیم در خراسان شمالی افزایش عملکرد آن را نشان داده است. عینی نرگسه و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی گندم آبی متوجه تغییرات اندک آب و هوا بر روی آن طی دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ تحت سناریوی B1 شدند. تولیدات دیم به لحاظ اهمیت بارش برای آنها حساسیت بالایی را نشان خواهند داد. استانهای عمده دیمکاری کشور تا سال ۲۰۳۹ میلادی، به ویژه در غرب کشور، بیشترین کاهش بارندگی و افزایش دما را خواهند داشت (پژوهشکده آب و هوا شناسی،۱۳۸۶ به نقل از خورسندی و همکاران،۱۳۹۴). میانگین کاهش رشد و عملکرد در سال ۲۰۲۵ به ترتیب ۲۶ و ۲۰ درصد، و در سال ۲۰۵۰، به ترتیب، ۳۶ و ۳۷ درصد پیش‌بینی شده است که انتظار می‌رود سطح زیر کشت گندم دیم در سالهای ۲۰۲۵ و ۲۰۵، به ترتیب ۱۶ تا ۲۵ و ۲۳ تا ۳۳ درصد کاهش یابند (Nassiri et al.,2006). کوچکی و نصیری محلاتی (۱۳۹۵) با بررسی عملکرد ۴ محصول گندم، نخود، ذرت و چغندر قند کاهش عملکرد آنها به ترتیب با مقدار ۱۸/۶ ، ۱۹/۱ ، ۶/۶ و۲۰ درصد را تا سال ۲۰۵۰ نشان داده‌اند (شکل۳-۲۱). تولیدات آبی، به دلیل وابسته نبودن به بارش حساسیت کمتری را نشان خواهند داد. عملکرد پتانسیل گندم، یونجه و ذرت علوفه‌ای آبی در محدوده سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۵، کاهش خواهد یافت. در استانهای خوزستان، کرمان، سیستان و بلوچستان عملکرد پتانسیل یونجه کشور به طور متوسط سالانه بین ۱۹۱-۴ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت. عملکرد پتانسیل گندم در نواحی مختلف کشور به طور متوسط سالانه بین ۰/۶۸ تا ۱۵۶ کیلوگرم در هکتار کاهش خواهد یافت. در بعضی از قسمت‌های استآنهای کرمان، آذربایجان غربی، خوزستان و سیستان و بلوچستان، عملکرد پتانسیل ۸۱-۱ کیلوگرم در هکتار در سال افزایش خواهد یافت. عملکرد پتانسیل ذرت علوفه‌ای در نواحی مختلف کشور به طور متوسط سالانه بین ۷ تا ۲۰۵ کیلوگرم در هکتار کاهش خواهد یافت. در مناطق محدودی همچون بابلسر، ساری، اردبیل، ارومیه و زنجان این مقدار، سالانه بین ۳۱ تا ۱۹۶ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۹۲، به نقل از خورسندی و همکاران،۱۳۹۴). قیمت غلات در سالهای ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب به میزان ۱۵-۶ درصد و۲۰-۸ درصد افزایش خواهد یافت (پری و همکاران، ۲۰۰۴ به نقل از خورسندی و همکاران،۱۳۹۴).

زراعت در افق ۲۱۰۰ بی شک تأثیرات چشمگیرتر خود را آشکار خواهد نمود. کاهش سطح عملکرد و تولید به‌ویژه در گونه‌های دیمی مورد انتظار خواهد بود با استفاده از سه سناریوی تغییر آب و هوا کاهش ۴۱ درصدی در درآمد حاصل از گندم تا سال ۲۱۰۰ مورد انتظار است علاوه بر اینکه بر اساس پیش‌بینی انجام شده تولید غلات کشور تا سال ۲۰۸۰ بین ۵ الی ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال در بررسی عینی نرگسه و همکاران (۱۳۹۴) بیشترین عملکرد دانه گندم در شهرستان اقلید و آباده (۱۰۷۶۱/۱۷ و ۱۰۸۶۹/۳۳ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با دوره پایه (۷۵۲۹/۸۳ و ۷۴۰۲/۷۹ کیلوگرم در هکتار) در دوره ۹۹-۲۰۸۰ تحت سناریوی A2 به‌دست آمد.

در منطقه‌ی خراسان جهت ارزیابی عملکرد ذرت و امکان کاهش اثر تغییر آب و هوایی بر تولید ذرت با استفاده از خروجی از دو مدل گردش عمومی جو و سه سناریو A2,B1,A1B برای سه دوره آینده با مرکزیت۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و۲۰۷۰ با استفاده از مدل ریز مقیاس سازی LARS_WG برای ریز مقیاس کردن چهار پارامتر، مطالعه‌ای صورت گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد ذرت نسبت به دوره پایه ۱ تا ۳۹ درصد کاهش خواهد یافت (لشکری و همکاران، ۱۳۹۰). احتمال می‌رود قیمت غلات در سال ۲۰۸۰، به میزان ۷-۲۰ درصد نسبت به سال ۱۹۹۰ افزایش داشته باشد (پری و همکاران، ۲۰۰۴ به نقل از خورسندی و همکاران،۱۳۹۴).



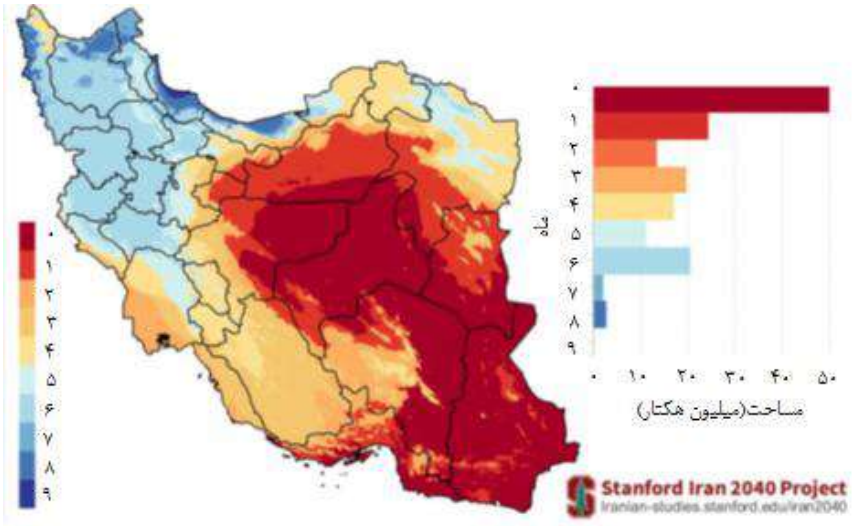
شکل۳-۲۱: درصد کاهش عملکرد محصولات (گندم، ذرت، نخود و چغندرقند) تا سال ۲۰۵۰ (کوچکی و نصیری محلاتی،۱۳۹۵).

- **اثر روی دوره رشد گیاهان**

از نکات قابل توجه اثر تغییر آب و هوا در موضوعات مربوط به فعالیت‌های زراعی، دوره رشد مناسب برای گیاهان است که بر اساس نوع محصول کشت شده از آستانه‌های مخصوص همان گیاه استفاده می‌شود. برای مثال برای گندم آستانه ۵ درجه سانتیگرادی و برای گیاهان گرمسیری آستانه حدود ۱۰ درجه سانتیگرادی مد نظر قرار می‌گیرد. حال اگر دوره دمای بالای آستانه مورد نظر را استخراج نماییم تحت عنوان طول دوره رشد لحاظ می‌شود. برخی نیز دوره پنج روزه‌ای که دما بالای ۵ درجه سانتی گراد باشد را زمان آغاز دوره رشد و دوره پنج روزه‌ای که دما به زیر ۵ درجه سانتیگراد می‌رسد را زمان پایان دوره رشد اطلاق می‌کنند و فاصله زمانی بین این دو را دوره رشد می‌نامند (صداقت کردار و رحیم زاده، ۱۳۸۶). موضوعی که در طی سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است افزایش طول دوره رشد در برخی نقاط جهان است که می‌تواند خبر خوشحال کننده‌ای برای کشاورزان باشد، چراکه باعث می‌شود مدت بیشتری برای کشت و زرع استفاده نمود. این موضوع به وِیژه درمناطق سردسیر و مناطق مرتفع کوهستانی که به صورت نسبی از دوره رشد کوتاهتری بهره‌مند هستند از اهمیت زیادی برخوردار است چراکه باعث می‌شود امکان کشت گیاهان که پیشتر به علت محدودیت دوره رشد کشت آنها امکان پذیر نبوده عملی گردد.

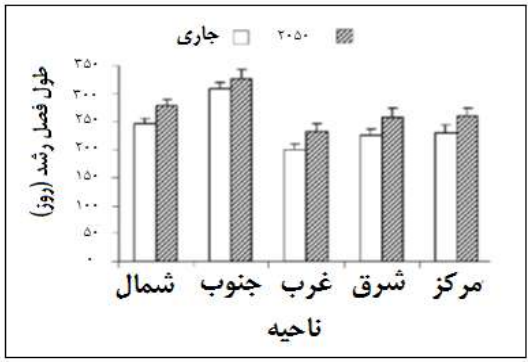
با توجه به اینکه کشور ایران در منطقه آب و هوایی خشک قرار گرفته است به نظر نمی‌رسد دوره رشد آن به استثنای مناطق مرتفع کوهستانی که دارای زمستانهای طولانی‌تر و سردتر هستند از محدودیت جدی برخوردار باشد. مطالعات صداقت کردار و رحیم زاده (۱۳۸۶) نیز نشان می‌دهد که دوره رشد در اکثر مناطق کشور بالای ۳۰۰ روز در سال بوده که در طی سالهای اخیر افزایش معنی‌داری نیز داشته است.

در عین حال برخی از محققین درصدد تبیین مفهوم دیگری از دوره رشد هستند که در آن به صورت عملی، رشد گیاه با توجه به شرایط بارش و تبخیر و تعرق اتفاق می‌افتد. نمونه‌ای از این مفهوم پیاده شده در کشور در شکل ۳-۲۲ ارائه شده است (Mesgaran et al., 2016). این شکل بر مبنای این فرض پیاده شده است که ماههایی که بارش آن بیش از نصف تبخیر هرماه باشد می‌تواند به عنوان دوره رشد تلقی شود. بر این اساس همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد محدودیت‌های جدی از این نظر در مناطق مرکزی و جنوبشرق کشور وجود دارد که مناطق با محدودیت زیر دو ماه به ۷۰ درصد کشور نیز می‌رسد که در این مناطق انجام کشت و زرع با اتکای به بارش‌های آسمانی امکان‌پذیر نبوده و الزاماً باید از روش‌های مختلف آبیاری استفاده نمود.



شکل۳-۲۲: طول دوره رشد گیاهان در کشور(Mesgaran et al., 2016)

در افق ۲۰۵۰، بررسی‌های کوچکی و همکاران (۱۳۹۴) نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. نتایج مطالعات آنها نشان می‌دهد که در مناطق جنوبی همه روزهای سال به عنوان دوره رشد می‌باشد ولی در مناطق سردسیری مانند اردبیل که دوره رشد در حال حاضر ۱۶۰ روز در سال است در دهه ۲۰۵۰ میلادی ۳۳ روز بر مقدار آن افزایش خواهد یافت. شکل ۳-۲۳ نتایج محاسبه و چشم‌انداز دوره رشد را برای دهه ۲۰۵۰ نشان می‌دهد که در همه مناطق کشور این شاخص در حال افزایش خواهد بود.



شکل۳-۲۳: میانگین فعلی و پیش‌بینی شده طول فصل رشد برای سال ۲۰۵۰ در مناطق مختلف کشور به‌وسیله مدل گردش عمومی GFDL؛ خطوط عمودی انحراف معیار درون هر منطقه را نشان می‌دهند (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۴)

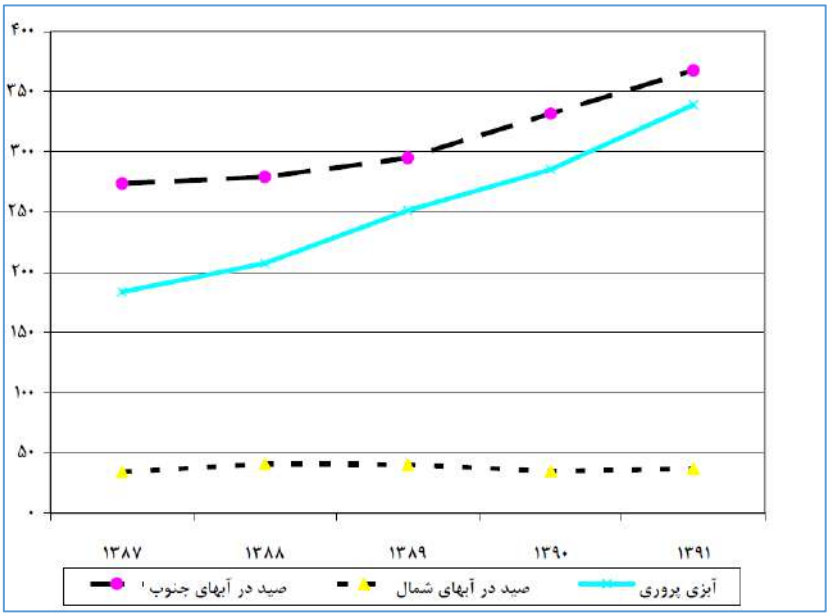
- **آب مورد نیاز آبیاری**

آب مورد نیاز برای رشد و حیات گیاه از الزامات اولیه می‌باشد. میزان نیاز آب گیاهان در رابطه با نوع گیاه و گونه مورد نظر و مراحل رشد گیاهان متغیر است. رخداد گرمایش جهانی و به تبع آن

افزایش میزان تبخیر باعث گردیده نیازهای آبی گیاهان نیز افزایش یابد و با توجه به کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی به عنوان پیامد تغییر آب و هوا بر شدت مشکل افزوده و در نهایت باعث افزایش نیاز آب گردیده است. در کشور ایران نیز این مشکل خود را در کشت گونه‌های مختلف گیاهی نشان داده است و باعث گردیده است به دلیل افزایش نیاز آبی و عدم امکان منطقه برای تأمین نیاز آبی، کشت و زرع صورت نگرفته و زمین‌ها رها شوند.

۳-۸- اثر تغییرات آب و هوا بر شیلات کشور

فعالیت‌های شیلاتی در ایران در سه بخش اصلی صیادی در دریای خزر، صیادی در خلیج فارس و دریای عمان و آبزی پروری در آبهای داخلی انجام می‌گیرد (شکل ۳-۲۴). بر اساس آمار سال ۱۳۹۲ سازمان شیلات ایران، میزان تولید آبزیان کشور در این سال معادل ۸۸۵ هزار تن بوده است که از این میزان ۵۱۴ هزار تن حاصل فعالیت‌های صید و صیادی و حدود ۳۷۱ هزار تن حاصل فعالیتهای آبزی پروری بوده است. از این میزان تولید حدود ۴۰ هزار تن صید در آبهای دریای خزر، حدود ۴۷۴ تن حاصل فعالیتهای صیادی در خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند، حدود ۱۶۸ هزار تن حاصل پرورش ماهیان گرم آبی، ۱۴۴ هزار تن پرورش ماهیان سرد آبی، ۱۳ هزار تن میگو و ۴۶ هزار تن سایر گونه‌ها و برداشت از منابع آبی طبیعی و نیمه طبیعی بوده است. در این میان حدود ۱۸۶ میلیون قطعه ماهیان زینتی نیز تولید گردیده است. از لحاظ فراوری در ایران توجه عمده‌ای نشده است و تنها به تهیه کنسرو ماهی تن در این زمینه توجه شده است.

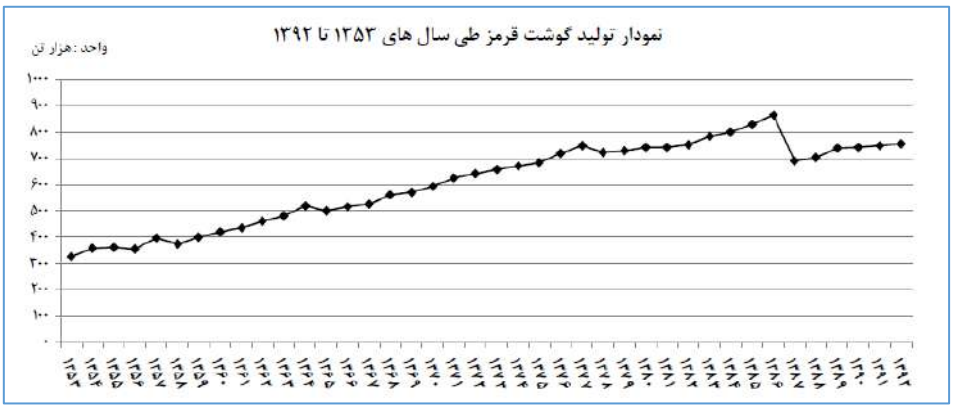


شکل۳-۲۴: میزان تولید آبزیان کشور به هزار تن

بر اساس داده‌های سال ۲۰۰۳ تقریباً ۵۲ درصد از ۳۸۰/۰۰۰ تن ماهی در ایران از شمال خلیج فارس با ۱۰۸۰۰۰ ماهیگیر می‌باشد. در مطالعه‌ای توسط اسماعیلی[1] (۲۰۰۹) مشخص شد ماهیگیری در این منطقه برای اقتصاد محلی بسیار مهم است، اما با مشکلاتی نظیر عدم دسترسی به ماهی و صید بی‌رویه روبرو است. خلیج فارس یک اکوسیستم دریایی حساس است. این خلیج دارای عمق ۳۵ متری است. عوامل محیطی تأثیر زیادی بر ذخایر ماهی و ماهیگیری در چنین اکوسیستم حساسی دارند. تأثیر تغییرات محیطی در دمای آب، بارندگی، باد و فشار دریا بر روی ذخایر ماهی در شمال خلیج فارس مشخص شده است. بارش باران، دمای آب و باد اثر مثبتی داشته است در حالی که فشار سطح دریا تأثیر منفی بر ماهیگیری در شمال خلیج فارس دارد. مطالعه‌ی اسماعیلی (۲۰۰۹) به این نتیجه رسیده است که پارامترهای زیست‌محیطی باید همزمان با ماهیگیری نظارت شود تا بتوان مدیریت ماهیگیری در خلیج فارس را درک نمود.

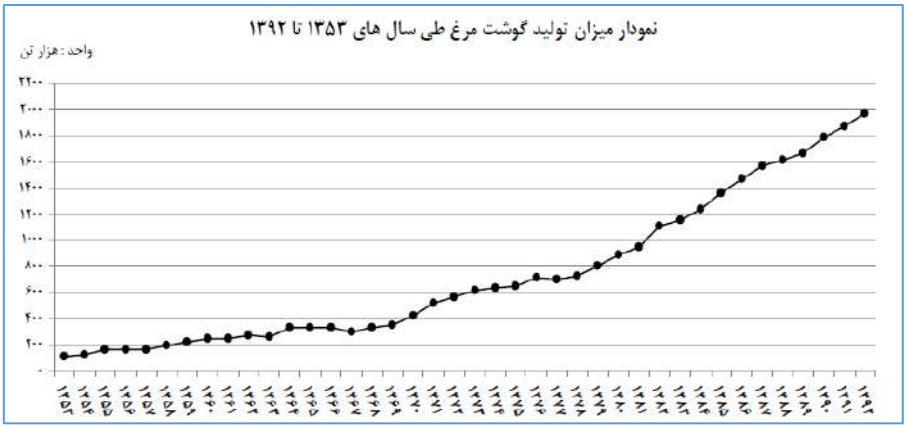
۳-۹- اثر تغییرات آب و هوا بر دامپروری کشور

تولید انواع دامهای سبک و سنگین در کشور، به طور کلی روند صعودی داشته است. طی بررسی سالهای ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۲ روند افزایشی شدید در محصولهای گوشت قرمز، مرغ، شیر و عسل بوده است (شکلهای ۳-۲۵، ۳-۲۶ و ۳-۲۷) که نشان دهنده اثر بسیار ناچیز تغییر آب وهوا روی آنهاست (احمدی و همکاران،۱۳۹۳).

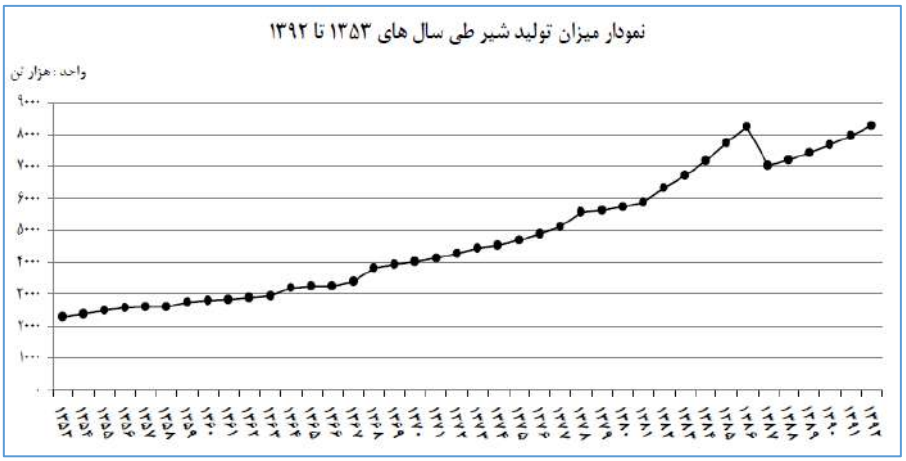


شکل۳-۲۵: روند تولید گوشت قرمز طی سالهای ۵۳ تا۹۲ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳)

[1] Esmaeili



شکل۳-۲۶: روند تولید گوشت مرغ طی سالهای ۵۳ تا۹۲ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳)



شکل۳-۲۷: روند تولید شیر طی سالهای ۵۳ تا۹۲ (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳)

با بررسی ون دی استیگ و تیبو (۲۰۱۲) روی دامپروری و تغییرات آب وهوا در خاور نزدیک (در این پژوهش کشور ایران نیز مورد بررسی قرار گرفته است) در دوره‌ی ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۹ نتایج جدولهای ۳-۶ و ۳-۷ در مورد تعداد دامها و تولیدات آنها بدست آمده است. همانطور که مشخص است طی این سالها جمعیت دامها افزایش یافته است. آنها خاور نزدیک را به ۴ دسته تقسیم نمودند که ایران در oriental near east واقع شده است. نتایج آنها نشان داده است که تعداد گوسفند، بز، گاو و شترها افزایش چشمگیری داشته است. همچنین ارقام تولیدات آنها نیز حاکی از افزایش بالایی است.

جدول۳-۶: جمعیت دامها در خاور نزدیک طی سالهای ۱۹۶۵-۱۹۶۱، ۱۹۹۰-۱۹۸۶ و ۲۰۰۹-۲۰۰۶ و تغییرات آنها به درصد(Van de Steeg and Tibbo, 2012)

		تعداد دامها به راس(۰۰۰ به هر عدد اضافه گردد)			درصد تغییرات در تعداد	
		۱۹۶۵-۱۹۶۱	۱۹۹۰-۱۹۸۶	۲۰۰۹-۲۰۰۶	۱۹۹۰-۱۹۸۶	۲۰۰۹-۲۰۰۶
گوسفند	آفریقای شمالی	۲۵۸۵۳	۴۵۸۴۴	۵۹۷۷۷	۷۷	۱۳۱
	خاورنزدیک آسیای شرقی	۴۷۲۳۴	۷۰۳۶۵	۹۱۲۵۹	۴۹	۹۳
	استانهای خلیجی و یمن	۴۵۶۶	۱۱۲۴۰	۱۸۶۸۳	۱۴۶	۳۰۹
	کل خاور نزدیک	۷۷۶۵۲	۱۲۷۴۴۹	۱۶۹۷۱۹		
بز	آفریقای شمالی	۱۲۵۶۹	۱۳۱۲۶	۱۸۶۵۵	۴	۴۸
	خاورنزدیک آسیای شرقی	۱۸۲۸۹	۲۸۷۵۳	۳۴۱۴۸	۵۷	۸۷
	استانهای خلیجی و یمن	۴۰۹۳	۸۲۷۵	۱۶۷۷۶	۱۰۲	۳۱۰
	کل خاور نزدیک	۳۴۹۵۱	۵۰۱۵۴	۶۹۵۷۹		
رمه	آفریقای شمالی	۶۲۸۲	۶۶۹۷	۷۰۰۰	۷	۱۱
	خاورنزدیک آسیای شرقی	۹۱۶۰	۱۱۸۷۲	۱۵۶۱۲	۳۰	۷۰
	استانهای خلیجی و یمن	۱۵۲۶	۱۵۸۰	۲۳۴۸	۴	۵۴
	کل خاور نزدیک	۱۶۹۶۸	۲۰۱۴۹	۲۴۹۶۰		
شتر	آفریقای شمالی	۱۳۹۹	۱۳۹۲	۲۱۱۸	-۱	۵
	خاورنزدیک آسیای شرقی	۶۳۷	۳۳۱	۳۵۴	-۴۸	-۴۴
	استانهای خلیجی و یمن	۴۴۰	۷۷۹	۱۱۶۵	۷۷	۱۶۵
	کل خاور نزدیک	۲۴۷۶	۲۵۰۲	۳۶۳۶		

جدول۳-۷: تولیدات دامها در خاور نزدیک طی سالهای ۱۹۶۵-۱۹۶۱، ۱۹۹۰-۱۹۸۶ و ۲۰۰۹-۲۰۰۶ و تغییرات آنها به کیلوگرم(منبع:FAOSTAT, 2011 به نقل از Van de Steeg and Tibbo, 2012)

		تولیدات(تن)			میانگین محصولات/وزن گوشت(کیلوگرم بر دام)		
		۱۹۶۵- ۱۹۶۱	۱۹۹۰- ۱۹۸۶	۲۰۰۶-۲۰۰۹	۱۹۶۵- ۱۹۶۱	۱۹۹۰- ۱۹۸۶	۲۰۰۹- ۲۰۰۶
گوسفند	آفریقای شمالی	۱۰۵۴۹۲	۲۷۷۴۸۲	۴۰۸۶۵۳	۱۳۳	۱۴۶	۱۴۸
	خاورنزدیک آسیای شرقی	۲۲۸۳۲۴	۴۱۵۴۴۷	۶۸۱۴۳۹	۱۹۰	۱۸۵	۲۲۳
	استانهای خلیجی و یمن	۴۱۴۴۴	۱۵۹۱۴۴	۱۷۸۷۶۹	۱۷۹	۱۸۱	۱۸۰
	کل خاور نزدیک	۳۷۴۹۶۱	۸۵۲۰۷۳	۱۲۶۸۸۶۱	۱۶۷	۱۷۱	۱۸۴
بز	آفریقای شمالی	۳۶۳۶۷	۴۷۶۲۹	۷۴۳۷۲	۱۰۳	۱۲۷	۱۲۹
	خاورنزدیک آسیای شرقی	۹۲۶۰۷	۱۴۰۵۷۲	۱۸۱۸۰۳	۱۵۴	۱۶۷	۱۹۰
	استانهای خلیجی و یمن	۱۹۳۱۶	۴۲۶۵۶	۹۴۷۴۲	۱۵۲	۱۵۳	۱۵۴
	کل خاور نزدیک	۱۴۸۲۹۰	۲۳۰۸۵۷	۳۵۰۹۱۷	۱۳۷	۱۴۹	۱۵۸
رمه	آفریقای شمالی	۱۱۸۱۷۰	۲۸۹۳۰۱	۳۷۴۹۶۹	۱۱۶۴	۱۷۱۳	۱۷۹۸
	خاورنزدیک آسیای شرقی	۲۳۰۷۴۲	۴۱۹۰۸۸	۸۸۱۲۲۵	۱۱۸۱	۱۱۱۵	۱۸۶۹
	استانهای خلیجی و یمن	۲۷۳۸۴	۷۱۵۶۳	۱۲۵۱۲۸	۱۴۵۱	۱۵۵۵	۱۶۴۶
	کل خاور نزدیک	۳۷۶۲۹۵	۷۷۹۹۵۲	۱۳۸۱۳۲۲	۱۲۶۵	۱۴۶۱	۱۷۷۱
شتر	آفریقای شمالی	۱۹۱۰۷	۳۰۸۹۸	۳۵۱۶۰	۱۴۸۸	۱۵۷۰	۱۷۳۷
	خاورنزدیک آسیای شرقی	۲۱۲۸۰	۲۴۰۹۸	۴۶۸۷۶	۱۸۵۲	۱۹۴۴	۱۹۹۶
	استانهای خلیجی و یمن	۲۰۳۴۱	۴۷۵۳۴	۷۶۱۵۲	۲۱۴۲	۲۱۸۱	۲۱۲۲
	کل خاور نزدیک	۶۰۷۲۸	۱۰۲۵۳۰	۱۵۸۱۸۸	۱۸۲۷	۱۸۹۹	۱۹۵۱

در افق ۲۰۵۰، دامداری یکی از مصرف کننده‌های اصلی آب است. گرچه آب برای نوشیدن و نگهداری دام می‌تواند آشکارترین استفاده از آب در سیستم‌های تولید دام باشد، اما تنها بخشی جزئی از کل مصرف آب است (Peden et al.2007). اکثر آب مصرف شده توسط دام با انتقال آب برای تولید خوراک همراه است؛ این مقدار بیش از ۹۵ درصد از مجموع آب مصرفی است(Peden et al.2007). تغییر آب و هوا بی شک از طریق تأثیر بر روی مقدار تولید علوفه و خوراک مورد نیاز دام، دامپروری را تحت تأثیر قرار خواهد داد. دامهای کوچک در قبال خشکسالی آسیب پذیرتر از دامهای بزرگ هستند. دامهای سازگار با شرایط خشک و بیابانی مانند شتر، کمترین آسیب پذیری را دارند. میزان عرضه و تقاضا بین سالهای ۱۳۸۷ تا ۱۴۰۰ شمسی در جدول ۳-۸ قابل مشاهده است آنچه مشخص است این است که عرضه تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد این مورد در صورتی است که تقاضا به دلایلی از جمله رشد جمعیت و تغییر شیوه زندگی که در قسمتهای قبل نیز اشاره شد افزایش چشمگیری خواهد داشت.

جدول۳-۸: عرضه و تقاضای فراورده‌های پروتئینی تا سال ۱۴۰۰(خورسندی و همکاران،۱۳۹۴)

محصول	عرضه سرانه (کیلو گرم)		کل تقاضا (هزار تن)		درصد افزایش تقاضا
	۱۳۷۸	۱۴۰۰	۱۳۷۸	۱۴۰۰	
گوشت قرمز	۱۱/۴	۱۳	۷۲۱	۱۱۷۰	۶۲/۳
گوشت مرغ	۱۱/۷	۱۴	۷۲۵	۱۲۶۰	۷۳/۸
تخم مرغ	۷/۸	۱۰	۵۳۸	۹۲۷	۷۲/۳
شیر	۸۲/۵	۱۳۰	۵۵۶۲	۱۲۰۵۱	۱۱۶/۷
پروتئین	۸۹/۸	۹۱			

نواحی و جمعیت سیستم‌های تولیدات دامپروری و تولیدات آنها برای دوره‌ی ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ مطابق جدول۳-۹ و ۳-۱۰ است:

جدول۳-۹: مساحت و جمعیت سیستم‌های تولیدات دامپروری برای دوره آینده(Van de Steeg and Tibbo,2012)

سیستم تولیدی	جمعیت(میلیون نفر)		مساحت(میلیون کیلومتر مربع)	
	۲۰۰۰	۲۰۳۰	۲۰۰۰	۲۰۳۰
کشاورزی(مرتعی)	۱۳۵/۴	۲۴۱/۸	۱۰/۶	۱۰/۶
مختلط خیلی شدید	۴۵/۴	۶۲/۱	۰/۶	۰/۶
مختلط پتانسیلی تا شدید	۱۴۸/۴	۲۴۸/۶	۰/۶	۰/۶
دیگر موارد	۳۱/۲	۴۵/۳	۰/۲	۰/۲

جدول۳-۱۰: تولیدات دامپروری در سیستمهای تولیدکننده برای دوره آینده(Van de Steeg and Livestock unit= LU) (Tibbo,2012 به میلیون، Beefگوشت گاو به میلیون تن، Lamb گوشت بره به میلیون تن و milk شیر به میلیون تن)

سیستم تولیدی	تولیدات دامها					
	۲۰۰۰	۲۰۳۰	۲۰۰۰	۲۰۳۰	۲۰۰۰	۲۰۳۰
رمه ها	واحد دام(میلیون)		گوشت گاو (میلیون تن)		شیر (میلیون تن)	
کشاورزی(مرتعی)	۵/۶	۷/۱	۰/۸۳	۱/۵۱	۱۴/۶۵	۲۵/۸۴
مختلط خیلی شدید	۲	۲/۱	۰/۲۷	۰/۴۳	۴/۵۹	۶/۷۷
مختلط پتانسیلی تا شدید	۳/۲	۴	۰/۵۳	۱/۰۲	۵/۸۶	۹/۹۵
دیگر موارد	۰/۶	۰/۷	۰/۱۱	۰/۲	۱/۳	۲/۱۴
نشخوارکنندگان کوچک	واحد دام(میلیون)		گوشت بره (میلیون تن)		شیر (میلیون تن)	
کشاورزی(مرتعی)	۵۳/۲	۷۸/۸	۱/۲۱	۲/۳۹	–	–
مختلط خیلی شدید	۱۰/۴	۱۴/۸	۰/۲۸	۰/۴۷	–	–
مختلط پتانسیلی تا شدید	۱۱/۲	۱۶/۴	۰/۲۸	۰/۵۴	–	–
دیگر موارد	۲/۲	۳/۱	۰/۰۷	۰/۱۲	–	–

۳-۱۰- برنامه‌های سازگاری در بخش کشاورزی در کشور

- **سازگاری در بخش زراعت**

در ایران در بخش زراعت راههای زیر برای سازگاری پیشنهاد شده است که مشابهت زیادی به سازگاری در سراسر دنیا دارد(خورسندی و همکاران،۱۳۹۴):

۱-مدیریت خاک که شامل خاک‌ورزی حفاظتی، مدیریت حاصلخیزی خاک و کنترل شوری خاک است که این راهکارها به منظور بهبود حاصلخیزی خاک پیشنهاد شده است.

۲-مدیریت آب شامل کاهش تلفات آب، بهره‌برداری از آبهای نامتعارف مانند پسآبها، بهبود روشهای آبیار و استفاده از فناوری‌های جدید در این زمینه مورد بحث است

۳-مدیریت بذر و نهال شامل به نژادی با توجه به گونه‌های متحمل‌تر، به زراعی به‌منظور تغییر تاریخ کشت و استفاده از محصولات جدید مد نظر می‌باشد.

۴-مدیریت آفات،بیماری و علف‌های هرز

۵-انتخاب نوع محصول متناسب با زمینهای زراعی و دیم

- **سازگاری در بخش شیلات**

۱-شناسایی شیلات در دو قسمت آبزی پروری یا دریایی

۲-شناسایی خطرات مرتبط با تغییر آب و هوایی در دریاهای ایران

۳-تهیه برنامه ملی سازگاری با تغییر آب و هوایی فعالیتهای شیلات
۴-پایش مداوم دریا(تغییرات فیزیکی ،شیمیایی و ... بررسی شود)
۵-جلوگیری از روند تخریب محیطزیست دریایی
۶-برنامه‌های حفاظتی به منظور جلوگیری از ورود آلاینده‌های صیادی به آب
۷-حفظ و بهسازی محیط‌های زیست آبزیان و.....

- **سازگاری در بخش دامپروری**

در سازگاری با بخش دامپروری نیاز به یک پهنه‌بندی دقیق از مراتع ایران جز ضروری‌ترین گامهاست بدین صورت مراتع آسیب دیده تشخیص داده شوند و در آن گونه‌های مقاوم گیاهی کاشته شود اما از راههای سازگاری در بخش دامپروری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (خورسندی و همکاران،۱۳۹۴):

۱-تبدیل اراضی و مراتع مخروبه به مراتع خشک زی که باعث تقویت معیشت و دامپروری در این مناطق می‌شود.
۲-پرورش دامهای متحمل به خشکی و گرما مانند گاو سیستانی(به نژادی و اصلاح دام)
۳-استفاده از حیوانات مقاوم به خشکی و گرما مانند شتر مرغ
۴-حفاظت از تنوع زیستی نژادهای ایرانی
۵-توازن دام و مرتع
۶-توسعه سیستمهای تلفیقی تولید(زراعت-دام-درخت)
۷-مدیریت بیماری‌های دام

منابع فصل سوم

احمدی، ک، حشمت اله قلی زاده، حمیدرضا عبادزاده، فرشاد حاتمی، مصطفی فضلی استبرق، ربابه حسین پور، آرزو کاظمیان و مریم رفیعی،۱۳۹۵.آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳.جلد اول: محصولات زراعی، وزارت جهاد کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

اسدزاده، ب، ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات تغییر آب و هوا بر عملکرد گندم در ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، به راهنمایی دکتر منوچهر فرج زاده.

حسین پور، ر، آرزو کاظمیان و مریم رفیعی،۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳.جلد اول: محصولات زراعی، وزارت جهاد کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

خورسندی، ف، رضا شاهی فر و لیلا سرابیان، ۱۳۹۴. بخش چهارم: ارزیابی آسیب پذیری و سازگاری زیربخش: کشاورزی، دامپروری و شیلات، سومین گزارش ملی تغییر آب و هوا جهت ارائه به دبیرخانه کنوانسیون (UNFCCC).دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا.

زارع فیض آبادی، الف، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، ۱۳۸۵. بررسی روند ۵۰ ساله تغییرات سطح زیر کشت، عملکرد و تولید غلات در کشور و پیش بینی وضعیت اینده، مجله پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۴، شماره ۱، ص ۶۸-۴۹.

زرعکانی، ف، غلامعلی کمالی وامیرحسین چیذری، ۱۳۹۳. اثر تغییر آب و هوا بر اقتصاد گندم دیم (مطالعه موردی خراسان شمالی)، نشریه بوم شناسی کشاورزی، جلد۶، شماره ۲،صص۳۱۱-۳۰۱.

صداقت کردار،ع، رحیم زاده فاطمه، ۱۳۸۶. تغییرات طول دوره رشد گیاهی در نیمه دوم قرن بیستم در کشور، پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۷۵، ص ۱۹۲-۱۸۲.

عرفانیان، م، حسین انصاری؛ امین علیزاده؛ محمد بنایان اول، ۱۳۹۶. ریسک تولید گندم پائیزه متاثر از وقوع شرایط حدی آب و هوای ناشی از تغییر آب و هوا (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۷، ص ۱۹۴-۱۷۵.

عینی نرگسه، ح، رضا دیهیم فرد، سعید صوفی زاده؛ مسعود حقیقت، امید نوری، ۱۳۹۴. پیش‌بینی اثرات تغییر آب و هوا بر عملکرد گندم آبی استان فارس با استفاده از مدل APSIM، نشریه تولید گیاهان زراعی، دوره ۸، شماره ۴، ، ص ۲۲۴-۲۰۳.

کوچکی، ع، مهدی نصیری محلاتی، ۱۳۹۵. تاثیر تغییرآب و هوا بر کشاورزی ایران: ۲- پیش بینی تولید محصولات زراعی و راهکارهای سازگاری، نشریه پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۱۴، شماره ۱، ص ۲۰-۱.

کوچکی، ع، مهدی نصیری محلاتی، لیلا جعفری، ۱۳۹۴. تاثیر تغییراقلیم بر کشاورزی ایران: ۱- پیش بینی وضعیت اگروکلیماتیک آینده، نشریه پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۱۳، شماره ۴، ص ۶۶۴-۶۵۱.

لشکری، الف،امین علیزاده ،محمد بنایان اول.۱۳۹۰. بررسی امکان کاهش اثر تغییر پارامترهای آب و هوایی بر تولید ذرت دانه‌ای در شمال شرق ایران،نشریه‌ی آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی)،۲۵،شماره۴: ۹۳۹-۹۲۶.

Allison, E.H., A.L. Perry, M. Badjeck, W. Neil Adger, K. Brown, D. Conway, A.S. Halls, G.M. Pilling, J.D. Reynolds, N.L. Andrew, and N.K. Dulvy., 2009: Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. Fish and Fisheries, 10, 173-196.

Burke, L., K. Reytar, M. Spalding, and A. Perry., 2011: Reefs at Risk Revisited. Executive Summary. World Resources Institute, Washington, DC, USA, 10 pp.

Bell, J., M. Batty, A. Ganachaud, P. Gehrke, A. Hobday, O. Hoegh-Guldberg, J. Johnson, R. Le Borgne, P. Lehodey, J. Lough, T. Pickering, M. Pratchett, M. Sheaves, and M. Waycott., 2009: Preliminary Assessment of the Effects of Climate Change on Fisheries and Aquaculture in the Pacific. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia, 15 pp.

Cheung, W., V. Lam, J. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson, D. Zeller, and D. Pauly., 2010: Large scale redistribution of maximum fisheries catch in the global ocean under climate change. Global Change Biology, 16(1), 24-35.

Cochrane, K.L., N.L. Andrew, and A.M. Parma, 2011: Primary fisheries management: a minimum requirement for provision of sustainable human benefits in smallscale fisheries. Fish and Fisheries, 12, 275-288.

Craine, J.M., A.J. Elmore, K.C. Olson, and D. Tolleson., 2010: Climate change and cattle nutritional stress. Global Change Biology, 16, 2901-2911.

Esmaeili, A., 2009: Environmental change and fishery management in the northern Persian Gulf, Journal of Environmental Planning and Management ,Volume 52, 2009 – Issue 8.

FAOSTAT, 2006: FAOSTAT Agricultural Data. Available at: <http:// faostat.fao.org/> accessed 26 March 2007.

FAOSTAT, 2013: FAOSTAT database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: http: / / faostat.fao.org / .

FAO, 2001: Soil carbon sequestration for improved land management. World Soil Resources Reports No. 96. FAO, Rome, 58 pp.

FAO, 2003: World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO Perspective. FAO, Rome, 97 pp.

FAO, 2009a: Introduction. In: Climate Change Implications or Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge [Cochrane, K., C. De Young, D. Soto, and T. Bahri (eds.)]. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) Fisheries and Aquaculture Technical Paper 530, FAO, Rome, Italy, pp. 1-5.

FAO, 2009b: The State of Agricultural Commodity Markets 2009: High Food Prices and the Food Crisis –Experiences and Lessons Learned. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 63 pp.

FAO, 2012: The State of World Fisheries and Aquaculture 2012. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 209 pp.

Farag, A.A., A.A. Khalil, and M.K. Hassanein, 2010: Chilling requirement for deciduous fruit under climate change in Egypt. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, **6**, 815-822.

Huang, J., Pray, C., and Rozelle, S., 2002: Enhancing the crops to feed the poor. Nature, 418, pp. 678-684.

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance ClimateChange Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 582 pp.

Koocheki, A., M. Nassiri, A. soltani, H. Sharifi, R. Ghorbani., 2006: Effect of climate change on growth criteria and yield of sunflowers and chickpea crops in Iran, Climate Research, Vol. 30, P 247-253.

Lehodey, P., J. Hampton, R.W. Brill, S. Nicol, I. Senina, B. Calmettes, H. Portner, L. Bopp,T. Llyina, J.D. Bell, and J. Sibert., 2011: Vulnerability of oceanic fisheries in the tropical Pacific to climate change. In: Vulnerability of Tropical Pacific Fisheries and Aquaculture to Climate Change [Bell, J.D., J.E. Johnson, and A.J. Hobday (eds.)]. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia, pp. 433- 492.

Lloyd, S.J., R.S. Kovats, and Z. Chalabi., 2011: Climate change, crop yields, and malnutrition: development of a model to quantify the impact of climate scenarios on child malnutrition. Environmental Health Perspectives, 119(12), 1817-1823.

Lopes, Marta S., Conxita Royo, Fanny Alvaro, Miguel Sanchez-Garia, Emel Ozer, Fatih Ozdemir, Mehmet Karaman, Mozaffar Roustaii, Mohammad R. Jalal-Kamali and Diego Pequeno, 2018: Frontiers in plant science, doi: 10.3389/fpls.2018.00563.

Munday, P.L., G.P. Jones, M.S. Pratchett, and A.J. William., 2008: Climate change and the future for coral reef fishes. Fish and Fisheries, 9(3), 261-285.

Maddah, V, Soltani, A, Zeinali, E, Bannayan-Aval, M., 2015: Simulating climate change impacts on Wheat production in Gorgan, Iran, Bulletin of environment, pharmacology and life sciences, Vol. 4., Ni. 4., P 58-67.

Mesgaran, M, Madani,K, Hashemi, H, Azadi, P., 2016: Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran, Stanford Iran 2040 project.

Nelson, G.C., M.W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler, S. Msangi, A. Palazzo, M. Batka, M. Magalhaes, R. Valmonte-Santos, M. Ewing, and D. Lee., 2009: Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC, USA, 19 pp.

Nassiri M., A. koocheki, G. A. Kamali, H. Shahandeh, 2006: Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran, Archives of Agronomy and soil science, Vol. 52, No. 1, P 113-124.

Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B., and Travasso, M.I., 2014: Food security and food production systems. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.

Peden, D., Tadesse, G. & Misra, A., 2007: Water and livestock for human development. In D. Molden, ed. Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture. London, Earthscan, Colombo, IWMI.

Rezaie E. Eyshi, Mohammad Bannayan., 2012: Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran, Meteorological application, Vol. 19, P346-354.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko., 2007: Agriculture. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of theIntergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E. A. Elsiddig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N. H. Ravindranath, C. W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello., 2014a: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Schaefleitner, R., J. Ramirez, A. Jarvis, D. Evers, R. Gutierrez, and M. Scurrah., 2011: Adaptation of the potato crop to changing climates. In: Crop Adaptation to Climate Change [Yadav, S., B. Redden, J.L. Hattfield, and H. Lotze-Campen (eds.)]. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp. 287-297.

Tingem, M. and M. Rivington., 2009: Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 14, 153-168.

US-EPA, 2006: Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 19902020. United States Environmental Protection Agency, EPA 430-R-06-003, June 2006. Washington, D.C., < http://www.epa. gov/nonco2/econ-inv/downloads/GlobalAnthroEmissionsReport.pdf > accessed 26 March 2007.

Valizadeh J., S.M. Ziaei, S.M. Mazloumzadeh, 2014: Assessing climate change impacts on wheat production (a case study), Journal of the Saudi Society of agricultural sciences, Vol. 13, P 105-115.

Van de Steeg J, Tibbo M., 2012: Livestock and Climate Change in the Near East Region,Measures to adapt to and mitigate climate change, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Regional Office for the Near East, Cairo, 2012. ISBN 978-92-5-107217-2.

Xenopoulus, M.A., D.M. Lodge, J. Alcamo, M. Märker**,** K. Schulze, and D.P. Van Vuuren., 2005: Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. Global Change Biology, 11, 1557-1564.

Zwiers, F.W., X. Zhang, and Y. Feng., 2011: Anthropogenic influence on long return period daily temperature extremes at regional scales. Journal of Climate, 24(3), 881-892.

URL 3-1:http://ghi.ifpri.org

URL 3-2: http://wdronline.worldbank.org/

فصل چهارم

تغییر آب و هوا و سلامت

۴-۱- مقدمه

گزارش جهانی بهبود چشمگیری را در امید به زندگی در اکثر نقاط جهان در قرن بیست و یکم نشان می‌دهد و این روند در دهه‌ی اول قرن ۲۱ نیز ادامه داشته است(Wang et al., 2012). پیشرفت سریع در چند کشور (به‌ویژه چین) بر میانگین جهانی غالب شده است، اما اکثر کشورها کاهش قابل توجهی در مرگ و میر را نشان داده‌اند. نابرابری قابل ملاحظه‌ای در امید به زندگی در داخل و بین کشورها با توجه به تحصیل، درآمد و قومیت وجود دارد(Beaglehole and Bonita, 2008) و در برخی از کشورها، کیفیت و پوشش آمار رسمی بسیار ضعیف است که نتیجه‌گیری‌های ثابت در مورد روند سلامت را دشوار می‌سازد. اگر توسعه‌ی اقتصادی بر مبنای آنچه پیش‌بینی شده ادامه یابد نرخ مرگ و میر همچنان به روند کاهشی خود ادامه خواهد داد. سازمان جهانی سلامت تخمین زده است که بار بیماری‌ها به‌طور جهانی تا سال ۲۰۳۰ تا ۳۰ درصد در مقایسه با سال ۲۰۰۴ کاهش خواهد یافت (WHO, 2008)؛ اما ارتباط قابل توجهی نیز بین شرایط آب و هوایی، شرایط اقتصادی اجتماعی و سلامت وجود دارد. بیماری مالاریا و مواجهه با گرما در محیط‌های حرفه و شغل نمونه هایی از این ارتباط‌ها است. CAP[1]ها به شیوه‌های متفاوت از تغییر آب و هوایی بر روی سلامت تأثیر می‌گذارند،

[1] Climate altering pollutants

درست همانطور که دی اکسید کربن، باعث ایجاد تأثیر غیر آب و هوایی همانند اسیدی شدن اقیانوس‌ها می‌گردد. اثرات افزایش سطح CO2 بر کلسیفیه شدن گونه‌های دریایی به خوبی مستند شده است و خطرات تهدید کننده‌ی صخره‌های مرجانی در حال حاضر دقیق‌تر از گذشته مشخص شده است. تأثیرات بالقوه‌ای برای سلامت انسان مانند کمبود تغذیه در جمعیت ساحلی که به ذخایر ماهی محلی وابسته است، وجود دارد، اما تا کنون ارتباط بین سلامتی و اسیدی شدن اقیانوس‌ها دقیقاً مورد مطالعه قرار نگرفته است(Kite-Powell et al., 2008). CAPها مانند کربن سیاه و ازن تروپوسفری دارای اثرات قابل توجه، مستقیم و منفی بر سلامت انسان هستند. در این فصل رابطه سلامت و تغییر آب و هوایی و راه‌های سازگاری در این بخش مورد توجه قرار می‌گیرد.

۴-۲- چگونگی اثر گذاری تغییر آب و هوا بر سلامت

سه مسیر برای تاثیر تغییر آب و هوا بر روی سلامت انسان وجود دارد:

۱-تأثیرات مستقیم که عمدتاً مربوط به تغییرات در فراوانی وقایع حدی آب و هوایی، از جمله گرما، خشکسالی و بارانهای سنگین است.

۲-اثرات متصور از طریق سیستم‌های طبیعی، به عنوان مثال، بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین، بیماری‌های منتقل شده از آب و آلودگی هوا.

۲- اثراتی که به شدت توسط سیستم‌های انسانی ایجاد می‌شوند، به عنوان مثال، اثرات شغلی، سوء تغذیه و استرس ذهنی.

اثرات منفی تغییر آب و هوا از طریق بهبود خدمات سلامت، مدیریت بهتر بیماری‌ها، کاهش فقر و... کاهش می‌یابد.

گزارش جهانی توسعه‌ی سال ۲۰۱۰ به این نتیجه رسید که همه‌ی مناطق در حال توسعه به آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از تغییر آب و هوایی به دلایل مختلف، آسیب‌پذیر هستند (بانک جهانی، ۲۰۱۰). برای مثال، عوامل بحرانی برای کشورهای جنوب صحرای آفریقا، فشارهای جوی فعلی به ویژه خشکسالی و سیل است که ممکن است در بخش‌هایی از مناطق تحت تغییر آب و هوایی، زیرساخت‌های کم و وابستگی شدید به منابع طبیعی تقویت شود. از سوی دیگر، در آسیا و اقیانوس آرام، تعداد بسیار زیادی از مردم ساکن مناطق فقیرنشین در معرض خطر سیل هستند.

موقعیت محل تأثیر مهمی در پتانسیل خسارت به سلامت ناشی از تغییر آب و هوایی دارد. افرادی که در خارج از منزل کار می‌کنند، اگر در کشورهایی باشند که درجه حرارت در گرمترین ساعات سال خارج از محدوده تحمل بشر باشد به شدت تحت تأثیر گرم شدن بیشتری نسبت به کارگرانی هستند که در کشورهای خنک‌تر کار می‌کنند. ساکنان جزایر مرجانی کم عمق به سیل، آلودگی آبهای شیرین به دلیل افزایش سطح دریا و شور شدن خاک، بسیار حساس هستند و این امر می‌تواند تأثیرات مهمی در سلامت داشته باشد. جمعیت‌های روستایی که بر کشاورزی در مناطق کم باران تکیه می‌کنند، در

صورت خشکسالی در معرض خطر کمبود غذا و بیماری‌های مرتبط با آب قرار می‌گیرند، اگر چه این آسیب‌پذیری به شدت ممکن است با عوامل محلی مانند دسترسی به بازارها و امکانات آبیاری اصلاح شود. زندگی در مناطق روستایی و دورافتاده ممکن است به دلیل دسترسی محدود به خدمات و به‌طورکلی سطح بالاتری از زیانهای اجتماعی و اقتصادی، افزایش خطر بیماری را به وجود آورد. جمعیت‌هایی که نزدیک به محدوده‌های فعلی بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین[1] هستند، به تغییرات انتقال این بیماری‌ها در اثر افزایش دما و الگوهای تغییر بارندگی، آسیب‌پذیری بیشتری دارند، به خصوص زمانی که سیستم‌های کنترل بیماری ضعیف است. در شهرها، کسانی که در جزایر حرارتی زندگی می‌کنند، به علت وقایع حدی گرما، بیشتر در معرض خطر بیماری هستند.

وقایع حدی آب و هوایی می‌تواند انتقال برخی بیماری‌های عفونی را ترویج کند و آسیب‌پذیری جمعیت به این بیماری‌ها به سطوح پایه پاتوژن‌ها و انتقال آنها بستگی خواهد داشت. به عنوان مثال، بیماری‌های آربو ویروس[2] مانند دنگی[3]، در مقایسه با تجربه‌ی موجود در سایر نقاط آمریکای شمالی، به ندرت پس از سیلاب در ایالات‌متحده آمریکا دیده می‌شود. از سوی دیگر، شیوع بالای عفونت اچ آی وی در جمعیت بسیاری از مردم مناطق افریقای زیر صحرا، به دلیل تعامل بین بیماری‌های مزمن، فقر، حوادث حدی آب و هوایی و ناتوانی در تغذیه می‌باشد(Ramin and McMichael, 2009). بیماری‌های مزمن مانند دیابت و بیماری‌های قلبی ایسکمیک[4]، خطر مرگ یا بیماری‌های شدید مرتبط با دماهای بالا را افزایش می‌دهد.

کودکان، جوانان و سالخوردگان در معرض خطر آسیب‌زای بیماری‌های مرتبط با آب و هوا قرار دارند، به عنوان مثال، به علت حساسیت فیزیولوژیکی، در حال حاضر کودکان در معرض اثرات نامطلوب مالاریا، اسهال و سوء تغذیه هستند. در اصل کودکان با توجه به نسبت توده بدنی و جسمی کوچکشان به بیماری‌های مرتبط با گرما آسیب‌پذیرترند اما مرگ و میر ناشی از گرما در این گروه سنی با موارد دیگر ترکیب شده است. در هنگام محدود بودن مواد غذایی، کودکان در معرض خطر بیشتری هستند. خانواده‌های با درآمد پایین‌تر از حد متوسط و با عدم امنیت غذایی با طیف وسیعی از پیامدهای بهداشتی در کودکان، مرتبط هستند. افراد مسن‌تر در معرض خطر بالاتری از توفان، سیل، امواج گرما و دیگر رویدادهای حدی هستند. ارتباط بین جنس افراد و آسیب‌پذیری بسیار دشوار و پیچیده است. به‌طور جهانی مرگ و میر ناشی از بلایای طبیعی، از جمله خشکسالی، سیل و توفان، در میان زنان بیش از مردان است(WHO, 2011). با این حال، در نواحی مختلف، تنوع وجود دارد. در ایالات‌متحده، مردان در معرض خطر بالاتری از مرگ در اثر سیل هستند (Jonkman and Kelman, 2005). در موج

[1] vector-borne diseases
[2] arboviral
[3] dengue
[4] ischemic

گرمای سال ۲۰۰۳ پاریس، به طور کلی مرگ و میر در زنان بیشتر بود، اما مرگ و میر بیش از حد در میان مردان در طول سن کار (۲۵ تا ۶۴) احتمالاً به دلیل مواجهه با گرما در محیط‌های شغلی نیز دیده شد (Fouillet et al., 2006).

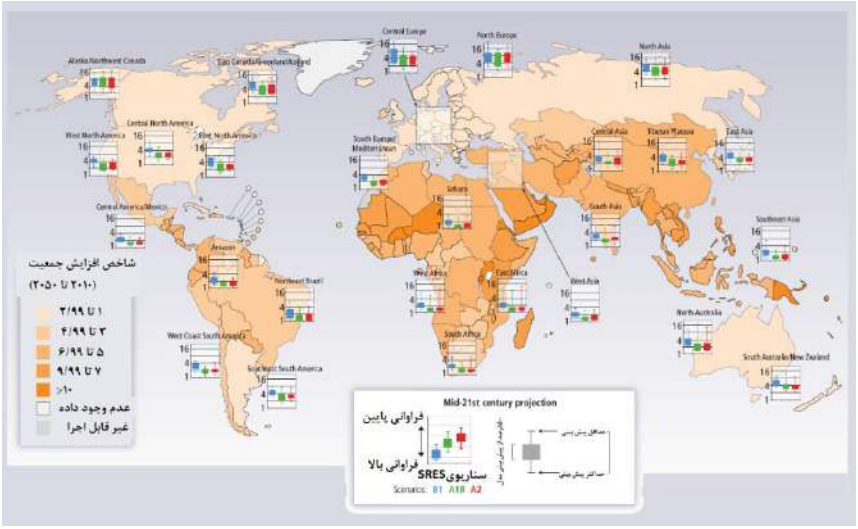
کشورها و مناطق فقیرتر عموماً بیشتر از آسیب‌های ناشی از شرایط حدی آب و هوایی و تغییر آب و هوایی، در معرض خطر هستند، همچنین، توسعه‌ی سریع اقتصادی ممکن است خطرات مربوط به مسائل سلامت مرتبط با آب و هوا را افزایش دهد. بررسی روند جهانی در سیکلون‌های گرمسیری در طی سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۹ نشان داد که خطر مرگ و میر در سطح کشور به شدت به سه عامل بستگی دارد: شدت توفان، کیفیت حکومت‌داری و سطح فقر (Peduzzi et al., 2012). نژاد و قومیت در بسیاری از کشورها نشانه‌های قدرتمندی از وضعیت سلامتی و آسیب‌های اجتماعی است. به عنوان مثال، در ایالات‌متحده گزارش شده است که در ارتباط با مرگ و میرهای ناشی از گرما، آمریکایی‌های سیاه‌پوست نسبت به گروه‌های نژادی دیگر آسیب‌پذیرتر هستند(Basu and Ostro, 2008).

جمعیت‌هایی که به مراقبت‌های بهداشتی با کیفیت خوب و خدمات بهداشت عمومی و ضروری دسترسی ندارند، بیشتر از تغییرپذیری آب و هوایی و تغییر آب و هوایی متأثر هستند. شرایط سخت اقتصادی در اروپا از سال ۲۰۰۸ منجر به کاهش خدمات بهداشتی در برخی کشورها شد و پس از آن دوباره بیماری‌های عفونی حساس به آب و هوا مانند مالاریا شیوع پیدا نمود (Karanikolos et al. 2013). وضعیت زیرساخت‌های فیزیکی که از سکونتگاه‌های انسانی پشتیبانی می‌کند نیز بر خطرات بهداشت تأثیر می‌گذارد. در کوبا (کشوری با سیستم پیشرفته‌ی بهداشت عمومی) تب دنگی در شهرهای بزرگ در بسیاری از محله‌ها به علت عدم تأمین آب آشامیدنی، مشکلی اساسی است.

رشد جمعیت به آسیب‌پذیری از تغییر آب و هوایی پیوند خورده است. اگر هیچ چیز دیگری تغییر نکند، افزایش تعداد افراد در مکانهایی که در حال حاضر منبع فقر هستند و تحت تأثیر خطرات آب و هوایی قرار دارند، تأثیرات مضر را افزایش خواهد داد. تقریباً تمام رشد پیش‌بینی شده در جمعیت‌ها در شهرک‌های شهری اتفاق می‌افتد، اغلب در کشورهای داغ و بزرگ عرض‌های پایین که در آنها بخش زیادی از نیروی کار در خارج از منزل با حفاظت کمی از گرما به کار گرفته می‌شوند. حدود ۱۵۰ میلیون نفر در حال حاضر در شهرهای تحت تأثیر کمبود مزمن آب زندگی می‌کنند و تا سال ۲۰۵۰، این تعداد به حدود یک میلیارد خواهد رسید مگر اینکه بهبود سریع در محیط‌های شهری وجود داشته باشد(McDonald et al., 2011). تحت سناریوی «کسب و کار طبق معمول[1]» با رشد متوسط جمعیت، سازمان همکاری اقتصادی و توسعه پیش‌بینی کرد که در سال ۲۰۵۰ حدود ۱/۴ میلیارد نفر بدون دسترسی به بهداشت عمومی خواهند بود(OECD, 2012). ساختار سنی جمعیت نیز دارای پیامدهای آسیب‌پذیری است(شکل ۴-۱). انتظار می‌رود نسبت سنین بالای ۶۰ سال در سراسر جهان، از حدود

[1] business as usual

۱۰ درصد در حال حاضر به حدود ۳۲ درصد در پایان قـرن افـزایش یابـد (Lutz et al., 2008). شـیوع اضافه وزن و چاقی که با تحمل حرارتی نسبتاً پایین همراه است، در ۲۰ سال گذشته تقریباً در همه جا افزایش یافته است و در بسیاری از کشورها این روند همچنان ادامه دارد (Finucane et al., 2011).



شکل۴-۱: افزایش وقایع حدی گرمایی که با افزایش تعداد افراد مسن کـه در شـهرها زنـدگی مـی‌کننـد، ترکیب خواهد شد. این افراد به طور ویژه‌ای از این وقایع آسیب‌پذیرند(Smith et al., 2014b).

۴-۳- اثرات مستقیم مشاهداتی و آینده‌ی آب و هوا روی سلامتی

اگر چه شواهد فراوانی در مـورد اثـرات آب و هـوا و شـرایط آب و هـوایی بـر سـلامتی وجـود دارد، مطالعات اندکی درباره‌ی تأثیرات تغییر آب و هوایی انجام شده است. با وجود این، ارتباط بین اثرات آب و هوا و سلامت اغلب به اندازه کافی مستقیم است تا بتواند نتیجه‌های قوی در مورد علت و معلول ایجاد کند. مهم‌تر از همه، ارتباط بین روزهای گرم (معمولاً از طریق صدک حداکثر دمـای روزانـه بـرای یـک مکان خاص مشخص می‌شود) و افزایش مرگ و میر، بسیار قـوی اسـت. گـزارش ویـژه IPCC در مـورد رویدادهای حدی (SREX[1]) نتیجه گرفته است که احتمالاً به طور کلی، کاهش تعداد روزهـا و شـبهای سرد و افزایش روزافزون تعداد روزها و شب‌های گرم در مقیاس جهانی دیده می‌شود. اگر حداکثر دمای روزانه افزایش یابد، احتمال مرگ و میر ناشی از گرما نیز افزایش می‌یابـد. مـوج گرمـا در سـال ۲۰۰۳، رویدادی از این دست است؛ بنابراین، احتمال اینکه موج گرمای خاصی را بتوان بـه تغییـر آب و هـوایی نسبت داد، ۷۵ درصد یا بیشتر است و بر این اساس، احتمـال مـرگ و میـر بـیش از حـد (تنهـا حـدود ۱۵۰۰۰ مرگ و میر در فرانسه) به موج گرمای ناشی از تغییر آب و هوایی انسان منشأ نسبت داده شده

[1] Special Report on Extreme Events

است. افزایش حداقل دما، ممکن است موجب کاهش مرگ و میر ناشی از دوره‌های سرد شود. با این حال، تأثیر عوامل فصلی غیر از درجه حرارت در مرگ و میر زمستانی، نشان می‌دهد که این تأثیرات بر سلامت از طریق وقایع حدی گرم با فراوانی بیشتر، بیش از مزایای روزهای اندک سرد است (Kinney et al., 2012).

فرآیندهای اساسی تنظیم گرما در انسان به خوبی درک شده است. اگر درجه حرارت بدن بالاتر از ۳۸ درجه سانتیگراد باشد (خستگی ناشی از گرما[1])، عملکرد فیزیکی و شناختی مختل می‌شود؛ در دمای بیش از ۴۰/۶ درجه سانتیگراد (گرمازدگی[2])، خطر آسیب به اندام، از دست دادن هوشیاری و مرگ و میر به شدت افزایش می‌یابد. ارتباطات دقیق مواجهه با گرما و پاسخ به آن، از مدت‌ها پیش توصیف شده است، اما این روابط در مکانهای مختلف و برای گروه‌های سنی و جنسی هنوز مشخص نشده است. مطالعات اولیه با تجربیات اخیر و مطالعات میدانی نشان می‌دهند که اثرات قابل توجهی از استرس گرما در مقایسه با دمای بدن بیش از ۴۰ درجه سانتیگراد وجود دارد و آسیب‌پذیری شدید در افراد مبتلا به بیماری را مشخص می‌کند. در دمای بالا، جابجایی خون در سطح بدن ممکن است به Collapse منجر شود. شرایط حرارتی داخلی، از جمله تهویه، رطوبت، تابش از دیواره‌ها یا سقف و یا وجود یا عدم وجود تهویه، در تعیین اینکه آیا حوادث رخ می‌دهد مهم است، اما این متغیرها به ندرت در مطالعات اپیدمیولوژیک اندازه‌گیری می‌شوند.

امواج گرما تعریف‌های مختلفی دارد و مرگ و میر در طول دوره امواج گرما افزایش می‌یابد. موج گرمای شدید در اروپا در سال ۲۰۰۳ منجر به مطالعات اپیدمیولوژیک متعددی شد. گزارش‌ها از فرانسه نتیجه‌گیری کردند که بیشتر موارد مرگ و میر در سالمندان رخ می‌دهد (۸۰ درصد از کسانی که جان باختند بیش از ۷۵ سال داشتند). در آن زمان پرسش‌هایی مطرح شد که چرا این رویداد تا به حال چنین اثر ویرانگری داشته است. مطالعات متعدد در مورد بیماری‌های مرتبط با دما، بر اساس پذیرش بیمارستان و یا مراجعه‌ی اضطراری، افزایش حوادث ناشی از بیماری‌های قلبی عروقی، تنفسی و کلیه را گزارش نموده‌اند (Hansen et al., 2008)، اثراتی که مرتبط با شدت و طول امواج گرما است. در حال حاضر شواهدی وجود دارد که هر دو سطح متوسط و زیاد تغییرات دما، تأثیرات مهمی در سلامت انسان دارند. گرما همچنین در ارتباط با بارش کم، بر خطر آتش‌سوزی تأثیر می‌گذارد. در استرالیا در سال ۲۰۰۹، ثبت درجه حرارت بالا، همراه با خشکسالی بلندمدت، باعث آتش‌سوزی شدید و بی‌سابقه و مرگ و میر ۱۷۳ نفر ناشی از سوختگی و آسیب شد (Teague et al., 2010). دود ناشی از آتش‌سوزی‌های جنگل در سایر نقاط با افزایش مرگ و میر و عوارض آن مرتبط شده است.

در افق ۲۰۵۰، سناریوهای تغییر آب و هوایی، افزایش دمای هوا و افزایش فراوانی و شدت امواج گرما را نشان می‌دهد. مشخص نیست به چه میزان انعطاف‌پذیری ممکن است اثرات منفی روی سلامت

[1] heat exhaustion
[2] heat stroke

انسان را کاهش دهد. معلوم نیست که آیا مرگ و میر زمستانه در شرایط آب و هوایی گرمتر، اما با تغییرپذیری بیشتر، کاهش می‌یابد یا خیر. به طور کلی، نتیجه گیری شده است که افزایش مرگ و میر مرتبط با گرما تا اواسط قرن، به دلیل دوره‌های سرد کمتر، به ویژه در کشورهای در حال توسعه‌ی گرمسیری با ظرفیت‌های سازگاری محدود و جمعیت زیاد در معرض خطر، افزایش خواهد داشت(Wilkinson et al., 2007b).

در افق ۲۱۰۰، در استرالیا، روزهای «خطرناک داغ»، زمانی که درجه حرارت هسته بدن ممکن است تا ۲ درجه سانتیگراد افزایش یابد و فعالیت در فضای باز خطرناک باشد، پیش‌بینی می‌شود که از ۴ تا ۶ روز در سال به ۳۳ تا ۴۵ روز در سال تا سال ۲۰۷۰ برای جمعیت‌هایی که انعطاف‌پذیری ندارند، افزایش یابد. در میان افراد انعطاف‌پذیر، انتظار می‌رود که این روزهای داغ از ۱ تا ۵ روز در سال به ۵ تا ۱۴ روز در سال افزایش یابد(Hanna et al., 2011).

سیل یکی از فراوان‌ترین نوع وقایع حدی است. در سال ۲۰۱۱، از هر ۱۰ وقایع طبیعی بزرگ با توجه به افراد متأثر از آن (۱۱۲ میلیون نفر) و جان‌باختگان (۳۱۴۰ نفر)، ۶ واقعه مربوط به سیل بود(Guha- Sapir et al., 2011). در سطح جهانی، وقایع سیلاب رودخانه‌ای افزایش یافته است و همچنین زیانهای اقتصادی به دلیل گسترش جمعیت در دشت‌های سیل‌خیز، زیاد بوده است. اطلاعات اندکی در مورد روند سلامتی مربوط به سیل وجود دارد که البته اطلاعات در مورد مرگ و میر مرتبط با آن مناسب است و بین کشورها، تفاوت‌های زیادی در خطر مرگ و میر وجود دارد. مرگ و میر ناشی از وقوع سیل و توفان به طور کلی کاهش می‌یابد، اما شواهد خوبی وجود دارد که خطر مرگ و میر با رشد اقتصادی، ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، مهاجرت به محله‌های فقیرنشین در شهرهای ساحلی، می‌تواند میزان جمعیت در معرض سیل را با سرعت بیشتری افزایش دهد، قبل از آنکه اقدامات کاهش، آن را جبران نماید.

سیلاب و توفانها از طریق غرق شدن، صدمات، هیپوترمی و بیماری‌های عفونی (مانند بیماری اسهال، لپتوسپیروز[1]، بیماری منتقله از طریق ناقلین و بیماری وبا) بر سلامت اثر می‌گذارند. شواهد بیشتری در مورد پیامدهای درازمدت (ماه‌ها یا سال‌ها) سیل برای سلامتی وجود دارد. سیلاب و توفان ممکن است تأثیرات عمیقی بر سلامت روانی مردم داشته باشند. شیوع علائم روان‌شناختی (اضطراب و افسردگی روان‌شناختی)، به میزان دو تا پنج برابر در میان افرادی بیشتر بود که آب سیلاب را در خانه گزارش کرده بودند. نسبت دادن مرگ و میر به حوادث سیل، پیچیده است؛ اکثر گزارش‌های مربوط به مرگ و میر ناشی از سیل، تنها مرگ و میرهای فاجعه بار است که بدین معنی است که میزان مجموع مرگ و میر گزارش نشده است.

[1] leptospirosis,

در افق ۲۰۵۰، در بیشتر سناریوهای تغییر آب و هوا انتظار می‌رود که رخدادهای حدی بارندگی در اکثر نقاط جهان در آینده رخ دهد(IPCC, 2012) اگر این اتفاق بیافتد، سیلابها در حوضه‌های کوچک بیشتر خواهد شد، اما نتیجه در حوضه‌های بزرگ‌تر نامشخص است. از نظر در معرض قرار گرفتن، انتظار می‌رود که بیشتر مردم در آسیا، آفریقا و آمریکای مرکزی و جنوبی در معرض سیل قرار گیرند.

در افق ۲۱۰۰، وقایع سیکلون‌های حدی نیز در اواخر قرن ۲۱ افزایش خواهد داشت. برآورد شده است که حدود ۲/۸ میلیارد نفر در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ تحت تأثیر سیل قرار گرفتند و بیش از ۵۰۰ هزار نفر کشته در این رابطه ثبت شده است(Doocy et al., 2013). در ۸۴ کشور در حال توسعه، ۵۲ میلیون نفر دیگر و ۳۰ هزار کیلومتر مربع زمین تا سال ۲۱۰۰ تحت تأثیر سیل قرار خواهند گرفت.

سطح اشعه ماوراءبنفش (UV[1]) و دمای حداکثر روز هنگام تابستان به شیوع سرطان پوست غیر ملانوم و آب مروارید در چشم مرتبط است. در یک مطالعه در ایالات‌متحده آمریکا، تعداد موارد سرطان سلول سنگ فرشی[2]، ۵/۵ درصد و سرطان سلول پایه‌ای[3] ۲/۹ درصد به ازای هر یک درجه سانتیگراد افزایش در میانگین درجه حرارت، بالاتر بوده است. این مقادیر مربوط به افزایش دوز مؤثر به میزان دو درصد UV برای هر یک درجه سانتیگراد است (Van der Leun et al., 2008).

با این حال، قرار گرفتن در معرض آفتاب، تأثیرات مثبتی بر سنتز ویتامین D و عواقب مهمی برای سلامتی دارد. بر این اساس، تعادل سود و زیان ناشی از افزایش اشعه ماوراءبنفش با توجه به موقعیت، شدت قرار گرفتن در معرض نور و سایر عوامل (مانند رژیم غذایی) که بر میزان ویتامین D تأثیر می‌گذارند، متفاوت است(Lucas et al., 2013).

۴-۴- اثرات اکوسیستمی مشاهداتی و آینده‌ی تغییر آب و هوا بر سلامت

- **ناقلین**

منتقله از طریق ناقلین: بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین از آن دست بیماری‌های عفونی است که توسط خون و نیش حشرات نظیر پشه و کنه منتقل می‌شود. مطالعات خوبی در ارتباط با تغییر آب و هوایی روی این نوع بیماری‌ها وجود دارد. جدول ۴-۱ تأثیر آب و هوا را بر این بیماری‌ها نشان می‌دهد.

[1] Ultra Violet
[2] squamous cell carcinoma
[3] basal cell carcinoma

جدول۴-۱: تأثیر آب و هوا بر بیماری‌های عفونی(Smith et al., 2014b)

بیماری	ناحیه	مورد درسال	حساسیت آب و هوایی و اطمینان از اثرات آب و هوایی	منبع
بیماریهای منتقل شده از پشه				
مالاریا	افریقا و آسیای جنوبشرقی	حدود ۲۲۰ میلیون		WHO (2008); Kelly-Hope et al. (2009); Alonso et al. (2011); Omumbo et al. (2011)
دنگی	۱۰۰کشور بویژه آرام آسیا	حدود ۵۰ میلیون		Beebe (2009); Pham et al. (2011); Astrom et al. (2012); Earnest et al. (2012); Descloux (2012)
بیماری های منتقل شده توسط کنه				
آنسفالیتهای منتقل شده از کنه	اروپا، روسیه ، مغولستان و چین	حدود ۱۰۰۰۰		Tokarevich et al. (2011)
لیم	نواحی معتدل اروپا، آسیا و امریکای شمالی	حدود ۲۰۰۰۰ در ایالات متحده آمریکا		Bennet (2006); Ogden et al. (2008)
دیگر بیماریهای منتقل شده توسط ناقلین				
تب هموراژیک با سندروم کلیوی	جهانی	۰/۲-۰/۱۵ میلیون		Fang et al. (2010)
طاعون	بومی در بسیاری از نواحی جهان	حدود ۴۰۰۰۰		Stenseth et al. (2006); Ari et al. (2010); Xu et al. (2011)

مالاریا عمدتاً توسط پنج گونه متمایز از انگل پلاسمودیوم که توسط پشه‌های آنوفل[1] بین افراد منتقل می‌شود، ایجاد می‌شود. در سال ۲۰۱۰ در سراسر جهان حدود ۲۱۶ میلیون نفر در معرض مالاریا قرار داشتند که بیشتر در میان کودکان زیر ۵ سال در منطقه آفریقا بودند(WHO, 2010). تعداد مرگ و میر جهانی مالاریا در سال ۲۰۱۰ به میزان ۱۲۳۸۰۰۰ نفر برآورد شده است (Murray et al. 2012b). در سراسر جهان، در ۲۰ سال گذشته پیشرفت‌های قابل توجهی در کنترل مالاریا صورت گرفته است (Feachem et al., 2010). به نظر می‌رسد تأثیر دما بر رشد مالاریا غیرخطی است(Alonso et al., 2011). با افزایش تغییرات در دما، زمانی که این دمای حداکثر به محدوده‌ی بالایی برای پاتوژن نزدیک است، تمایل به کاهش انتقال وجود دارد، در حالی که افزایش تغییرات میانگین دمای روزانه در نزدیکی مرز حداقل، انتقال را افزایش می‌دهد(Paaijmans et al., 2010). پاسخ شدید غیرخطی به درجه حرارت به این معنی است که در صورتی که شرایط دیگر مناسب باشد، حتی گرم شدن متوسط نیز ممکن است باعث افزایش قابل توجهی در انتقال مالاریا شود (Pascual et al., 2006)، از سوی دیگر، در دمای نسبتاً زیاد، گرمایش اندک می‌تواند توانایی انتقال مالاریا را کاهش دهد(Lunde et al., 2013).

[1] Anophelin

دنگی سریع‌ترین بیماری پخش شونده‌ی ویروسی منتقل شده از پشه است که نشان‌دهنده افـزایش ۳۰ درصدی در جهان در ۵۰ سال گذشته است(WHO, 2013). هر سال حـدود ۳۹۰ میلیـون عفونـت دنگی در سراسر جهان اتفاق می‌افتد که در حدود ۹۶ میلیون نفر از افراد با علائم ظاهر می‌شود (Bhatt et al., 2013). این بیماری به‌طور فضایی و زمانی مرتبط با تغییر آب و هوا است. ناقله‌هـای اصـلی ایـن بیماری- Aedes aegyptiو Ae. Albopictus- به آب و هوا بسیار حساس‌اند.

آنسفالیت[1] ناقله از کنه (TBE[2]) ناشی از ویروس آنسفالیت تلقی می‌شود و بومی مناطق معتدل اروپا و آسیا نیز هست. بیماری لایم[3] یک بیماری عفونی حاد است که توسط بـاکتری Spirochaete Borrelia burgdorferi به وجود آمده و در اروپا، ایالات‌متحده آمریکا و کانادا گزارش شده است. بورلیا[4] توسط گزش کنه‌های آلـوده متعلق به چند گونه از جنس Ixodes («سفت کنه[5]») به انسان منتقل می‌شود. در دهـه ۱۹۷۰ مـیلادی در اروپای شرقی و مرکزی افزایش قابل توجهی در موارد TBE وجود داشت. در اواخر دهه ۱۹۸۰ میزان دمـای حداکثره بهاره بالا رفت که برای افزایش انتقال ویروس TBE کافی بود. به عنوان مثال، در جمهـوری چـک، بین سال‌های ۱۹۷۰ و ۲۰۰۸، نشانه‌هایی از طولانی‌تـر شـدن فصـل انتقـال در ارتبـاط بـا گرمـایش وجـود دارد(Kriz et al., 2012).

تب خونریزی دهنده با سندرم کلیوی (HFRS[6]) یک بیماری انتقالی از حیـوان بـه انسـان ناشـی از ویروس هانته[7] است و هرساله حدود ۲۰۰۰۰۰ مورد بستری را به همراه دارد. وقوع این بیماری بـا دمـا، رطوبت نسبی و بارش مرتبط است (Pettersson et al., 2008). طاعون، یکی از قدیمی‌ترین بیماری‌های شناخته‌شده بشریت، در بسیاری از نقاط جهان همچنان ادامـه دارد. شـیوع آنهـا بـا تغییـرات فصـلی و چندساله در آب و هوا ارتباط دارد (Stenseth et al., 2006).

در افق ۲۰۵۰، با استفاده از سناریوهای تغییر آب و هوا، بژون و همکـاران جمعیتـی را کـه در معـرض خطر مالاریا قرار دارند را تا ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ پیش‌بینی کردند(Béguin et al., 2011) . این مدل پیش‌بینـی نمود از جمعیت پیش‌بینی شده ۸/۵ میلیارد نفـری جهـان، ۵/۲ میلیـارد نفـر در سـال ۲۰۵۰ در معـرض خطرند. با توجه به اینکه شرایط آب و هوایی ثابت بماند و با توجه به رشد اقتصادی قوی همراه بـا توسـعه اجتماعی، این مدل پیش‌بینی کرد که ۱/۷۴ میلیارد نفر (حدوداً نصف تعداد فعلی در معرض خطر) تا سال ۲۰۵۰ در معرض خطرند. در یک بررسی سیستماتیک در مورد توزیع دنگی و تـأثیر احتمـالی تغییـر آب و هوایی، وان کلیف و همکاران به این نتیجه رسیدند که مناطقی که از لحاظ جوی برای دنگی مناسب بـود، در اکثر مناطق افزایش می‌یابد، اما امکان پیش‌بینی برای آن وجود نداشت(Van Kleef et al.,2010).

---

[1] encephalitis
[2] tick-borne encephalitis virus
[3] Lyme
[4] Borrelia
[5] Hard ticks
[6] Hemorrhagic fever with renal syndrome (HFRS)
[7] Hanta virus

در مورد افق ۲۱۰۰ اطلاعاتی در دسترس نیست اما با توجه به مطالعات صورت گرفته مشخص است روند مشابهی با افق ۲۰۵۰ طی خواهد نمود.

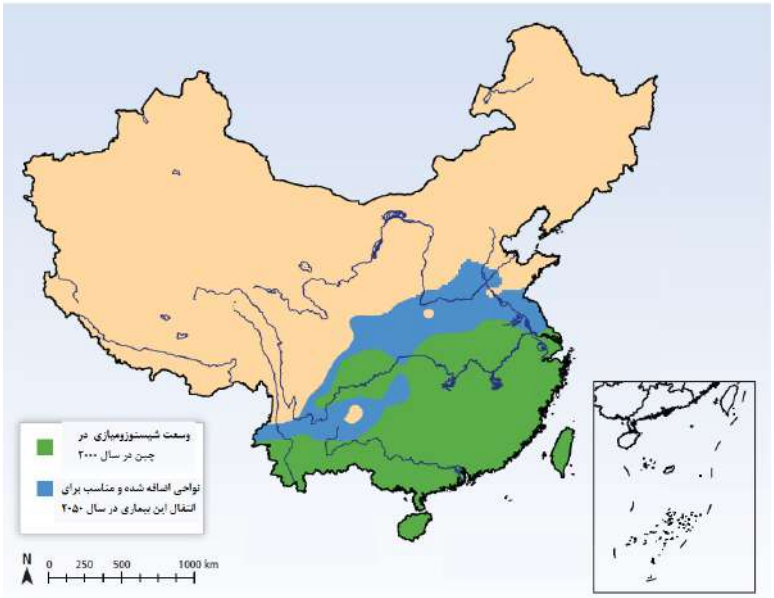
ناقلین از طریق غذا و آب: ویبریو[1] یک جنس از باکتری‌های بومی دریایی است که شامل تعدادی از پاتوژن‌های انسانی، به ویژه V. cholerae که باعث وبا می‌شود می‌باشد. cholerae ممکن است با آب آشامیدنی یا تماس با محیط آب دریا و غذاهای دریایی انتقال یابد؛ دیگرگونه‌های Vibrio تنها با آب دریا و صدف انتقال می‌یابند. این گونه‌ها شامل V. parahaemolyticus و V. vulnificus و V. alginolyticus است(Weis, 2011). خطر ابتلا به عفونت تحت تأثیر دما، بارش و تغییرات همراه با شوری در آب شیرین، افزایش کربن آلی یا سایر مواد مغذی یا تغییرات PH می‌باشد. در کشورهایی که بیماری وبا وجود دارد، ارتباط قوی بین دما و بیماری مشاهده شده است (Islam, 2009). علاوه بر این، هنگامی‌که در کشورها، دفع زباله‌های مدفوعی ایمن و مناسب نباشد، بارانهای سنگین باعث انتقال پاتوژن‌ها می‌شود، شیوع بیماری‌های وبا با تغییرات دما و بارندگی و سایر متغیرها شامل سطح دریا و رودخانه، محتویات کلروفیل دریایی و سیانوباکتریایی، رویدادهای اقیانوس هند (IOD[2]) و نوسانات انسو پیوند خورده است(DeMagny et al., 2008).

انواع دیگر اسهال با دمای بالا مرتبط است. در میان ویروس‌های روده‌ای، الگوهای فصلی متمایز در عفونت وجود دارد که می‌تواند به طور غیرمستقیم به دما مربوط باشد. عفونت Enterovirus در ایالات‌متحده در ماه‌های تابستان و پاییز به اوج می‌رسد (Khetsuriani et al., 2006). دما به طور مستقیم با خطر ابتلا به بیماری‌های روده در جوامع قطب شمال ارتباط دارد، زیرا ذوب شدن پرمافراست، انتقال فاضلاب را (که اغلب در تالاآبهای کم‌عمق می‌باشد) به آبهای زیرزمینی، منابع آب آشامیدنی یا دیگر آبهای سطحی تسریع می‌کند(Martin et al., 2007). بارش نیز با عفونت‌های روده همراه است. پاتوژن‌های باکتریایی بیشتر در شرایط تولید محصول (مانند کاهو) در شبیه‌سازی شرایط گرمتر رشد می‌کنند (Liu et al., 2013).

در افق ۲۰۵۰، کولستاد و جانسون، با استفاده از سناریوی آب و هوایی و ۱۹ مدل آب و هوایی جوی اقیانوسی، افزایش خطر ۸ الی ۱۱ درصد در اسهال در مناطق گرمسیری و جنب حاره را در سال ۲۰۳۹ به دلیل تغییر آب و هوا پیش‌بینی کردند(Kolstad and Johansson, 2011). ژو و همکاران تأثیر آب و هوا بر انتقال شیستوزومیازی ناشی از S. japonicum در چین را بررسی کردند (Zhou et al., 2008). آنها نتیجه گرفتند که تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۷۸۴۰۰۰ کیلومتر مربع برای انتقال شیستوزومایا در چین مناسب خواهد بود، زیرا خط انجماد در اواسط زمستان به سمت شمال حرکت می‌کند(شکل ۴-۲).

[1] Vibrio
[2] Indian Ocean Dipole

در افق ۲۱۰۰، استفاده از مدل‌های تغییر آب و هوای ریزمقیاس نشان می‌دهد که سرریز فاضلاب به داخل حوزه آبخیز شیکاگو تا سال ۲۱۰۰ به میزان ۵۰ تا ۱۲۰ درصد افزایش می یابد که به دلیل بارندگی‌های مکرر و شدید است (Patz et al., 2008) . این مورد سبب ایجاد بیماری‌های ناقل از طریق آب و غذا خواهد شد.



شکل۴-۲: اثر افزایش دما در انتقال شیستوزومیازی (Zhou et al., 2008)

- **کیفیت هوا**

تقریباً تمام آلاینده‌های تغییردهنده‌ی آب و هوا به طور مستقیم یا با کمک آلاینده‌های ثانویه در جو به سلامت آسیب می‌زنند.

ازن تروپوسفری از طریق واکنش‌های فتوشیمیایی تشکیل می‌شود که اکسید نیتروژن (NOx)، مونوکسید کربن (CO)، متان (CH4) و ترکیبات آلی فرار (VOCs[1]) در حضور نور خورشید و درجه حرارت بالا را درگیر می‌کند؛ بنابراین، در صورت افزایش دما، بسیاری از مدل‌های آلودگی هوا، افزایش ازن به خصوص در داخل و اطراف مناطق شهری را پیش‌بینی نموده‌اند. درجه حرارت بالا نیز تخریب ازن را تسریع می‌بخشد و به نظر می‌رسد تأثیر مستقیم و خالص تغییر آب و هوایی بر غلظت‌های ازن در سرتاسر جهان، کاهشی است. با این حال، بعضی از سناریوها نشان می‌دهند که ازن‌های تروپوسفری بیشتر از انتشار متان شبیه‌سازی شده توسط تغییر آب و هوایی افزایش یابد. مدل‌ها همچنین نشان می‌دهند که تغییرات محلی می‌توانند نشانه‌های مختلفی برای تغییرات جهانی داشته باشند(Selin et

[1] volatile organic compounds

al., 2009). حتی افزایش اندکی در غلظت ازن اتمسفر سطح زمین ممکن است روی سلامت تأثیر بگذارد.

آتش‌سوزی‌هایی که بیشتر به دلیل امواج گرما و خشکسالی اتفاق می‌افتد، ذرات ریز و مواد سمی دیگر را که ممکن است بر تعداد زیادی از مردم در طول روزها و ماه‌ها تأثیر بگذارد، آزاد می‌کنند. در یک آتش‌سوزی در نزدیکی دنور (ایالات‌متحده آمریکا) در ژوئن ۲۰۰۹، غلظت یک ساعته ذرات با قطر آیرودینامیکی کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر (PM_{10}[1]) و ذرات با قطر آیرودینامیکی کوچک‌تر از ۲/۵ میکرومتر (PM2.5) به ترتیب به ۳۷۰ میکروگرم در مترمکعب و ۲۰۰ میکروگرم در مترمکعب و غلظت متوسط ۲۴ ساعته به ترتیب به ۹۱ میکروگرم در مترمکعب و ۴۴ میکروگرم در مترمکعب رسید(Vedal and Dutton, 2006) که در مقایسه با اندازه مصوب ۲۴ ساعته‌ی کیفیت هوا در سازمان بهداشت جهانی که به ترتیب ۵۰ و ۲۵ میکروگرم در مترمکعب است، بسیار بالا بوده است.

بیماری‌های آلرژیک، شایع و برخی از آنها حساس به آب و هوا هستند. شرایط گرمتر به طور کلی باعث تولید و انتشار آلرژی‌های با منشأ هوایی (مانند اسپور قارچی و گرده گیاه) می‌شود و در نتیجه می‌تواند بر آسم و دیگر بیماری‌های تنفسی آلرژیک مانند؛ آلرژی رینیت[2] (بویایی) و همچنین روی ملتحمه و درماتیت (التهاب پوست) تأثیر بسیاری بگذارد(Beggs, 2010). کودکان بیشتر از این بیماری‌ها متأثرند. اگر میزان بالای دی اکسید کربن باعث تحریک رشد گیاه شود، انتشار آلرژن‌ها ممکن است افزایش یابد. نظارت و آزمایش‌های بصری نشان داده است که افزایش دمای هوا موجب گلدهی زودرس گل سرخ می‌شود.

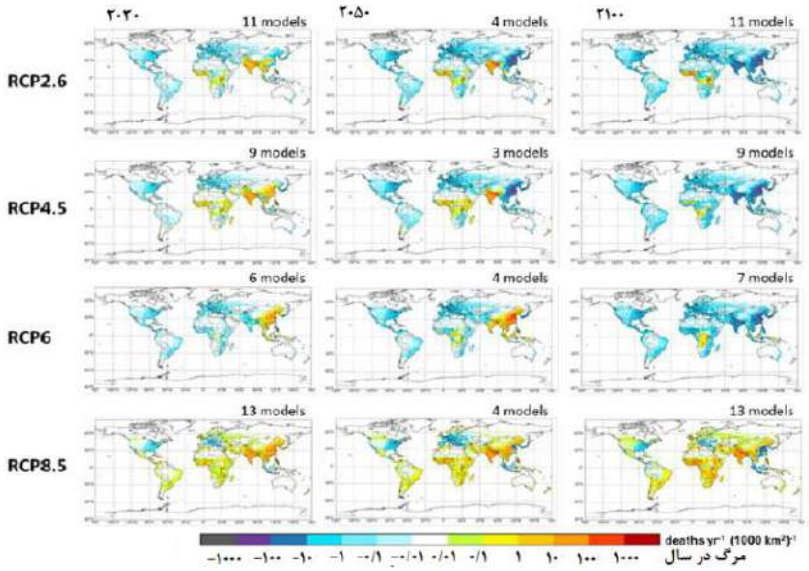
خشکسالی و باد شدید می‌تواند گرد و غبار و سایر مواد جیوه‌ای که حاوی گرده و اسپور هستند را تولید کند و این آلرژی‌ها را به مناطق جدید انتقال دهد.

در افق ۲۰۵۰، کارگروه IPCC پیش‌بینی می‌کند که تغییر آب و هوایی می‌تواند بر کیفیت هوای آینده، از جمله سطوح اکسیدآنهای فتوشیمیایی و با قطعیت کمتر، بر ذرات ریز (PM2.5) تأثیر بگذارد. اگر این اتفاق بیافتد، عواقب زیادی برای سلامت انسان خواهد داشت (Bell et al., 2006). دمای بالا نیز ممکن است اثرات ازن را افزایش دهد (Ren et al., 2008). بر اساس یک سناریوی کاهش قابل ملاحظه‌ی دی اکسید کربن، پیش بینی می‌شود که در سال ۲۰۳۰، از ۴۶۰۰۰۰ مرگ و میر زودرس مرتبط با ازن، به ویژه در آسیای جنوبی جلوگیری می‌شود (West et al., 2007).

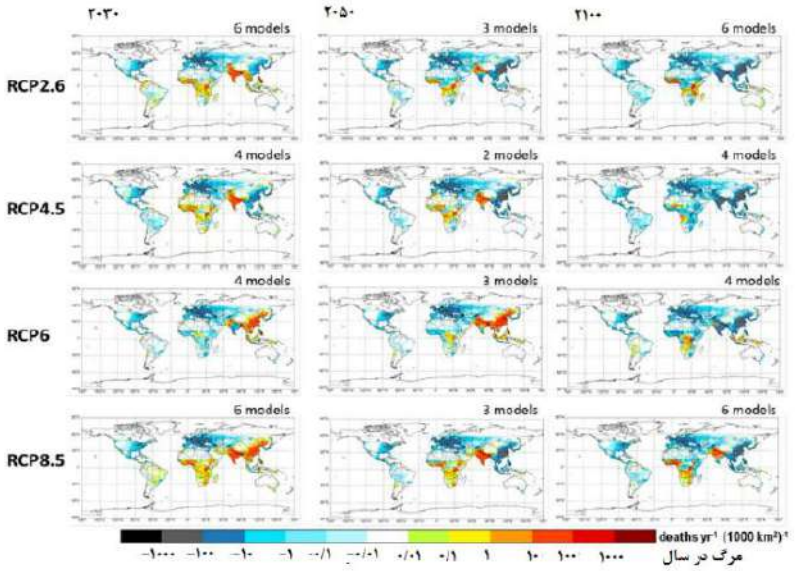
در افق ۲۱۰۰، مطالعه‌ای که به‌طور جهانی و با شبیه‌سازی مجموعه مدل شیمی ACCMIP – مدل‌های آب و هوایی که غلظت ازن و PM2.5 را شبیه‌سازی می‌کنند- آلودگی و میزان مرگ و میر مرتبط با آن را طی دوره آینده مورد بررسی قرار داده، مشخص نموده است که با شبیه‌سازی سناریوی RCP8.5 در ارتباط با غلظت ازن تا سال ۲۱۰۰، هر ساله ۳۱۶ هزار مرگ و میر پیش بینی می‌شود که

[1] particulate matter (PM)
[2] rhinitis

در آنها اثر افزایش متان و تغییر آب و هـوا در نظـر گرفتـه شـده است(شـکل ۴-۳) در مـورد PM2.5 ، میزان مرگ و میر برای هر چهار سناریو، از ۱/۷ میلیون تلفات در سال از سال ۲۰۰۰ به ۰/۹۶ تـا ۱/۵۵ میلیون نفر در سال تا سال ۲۱۰۰ کاهش خواهد یافت(شکل ۴-۴)(Silva et al., 2016).



شکل۴-۳: مرگ و میر ناشی از ازن در همه سناریوهای RCP در سه دوره آینده(Silva et al., 2016)



شکل۴-۴: مرگ و میر ناشی از PM2.5 در همه سناریوهای RCP در سه دوره آینده(Silva et al., 2016)

۴-۵- اثرات مشاهداتی و آینده‌ی سلامتی متاثر از سیستم‌های انسانی

تغذیه: تغذیه تابعی از تولیدات کشاورزی، عوامل اقتصادی-اجتماعی مانند قیمت و دسترسی به مواد غذایی و بیماری‌های انسانی، به خصوص آنهایی که بر اشتها، جذب مواد مغذی و کاتابولیسم تأثیر می‌گذارند، است. فرایندهایی که می‌تواند تغذیه‌ی انسان را تحت تأثیر قرار دهد بسیار پیچیده است. درجه حرارت بالاتر و تغییرات بارش ممکن است کمیت و کیفیت مواد غذایی را کاهش دهد. میزان کاهش و تخمین پیش‌بینی شده در بازدهی محصولات کشاورزی به دلیل افزایش دما و تغییرات بارش، ممکن است با تغییراتی نظیر افزایش برداشت به علت پیشرفت دانش و فناوری کشاورزی، میزان خوراک دام، استفاده برای سوخت‌های زیستی، مصرف بیش از حد نیاز به دلیل سوءتغذیه و ... مرتبط باشد. شواهد خوبی وجود دارد که افزایش قیمت مواد غذایی محلی، اثرات منفی بر مصرف غذا و درنتیجه سلامتی دارد.

در افق ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰، نلسون[1] و همکاران (۲۰۰۹ و ۲۰۱۰) دو مطالعه را با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی محصول (DSSAT) و یک مدل تجاری کشاورزی جهانی (IMPACT 2009) برای برآورد تولید محصول (با و بدون غنی‌سازی دی‌اکسید کربن)، در دسترس بودن کالری، کمبود وزن کودکان و هزینه‌های سازگاری انجام دادند(Nelson et al., 2009: Nelson et al, 2010). در مطالعه اول تغییر آب و هوا را در نظر نگرفتند و در مطالعه دوم تغییر آب و هوا را در نظر گرفتند که نتایج در جدول ۴-۲ قابل مشاهده است:

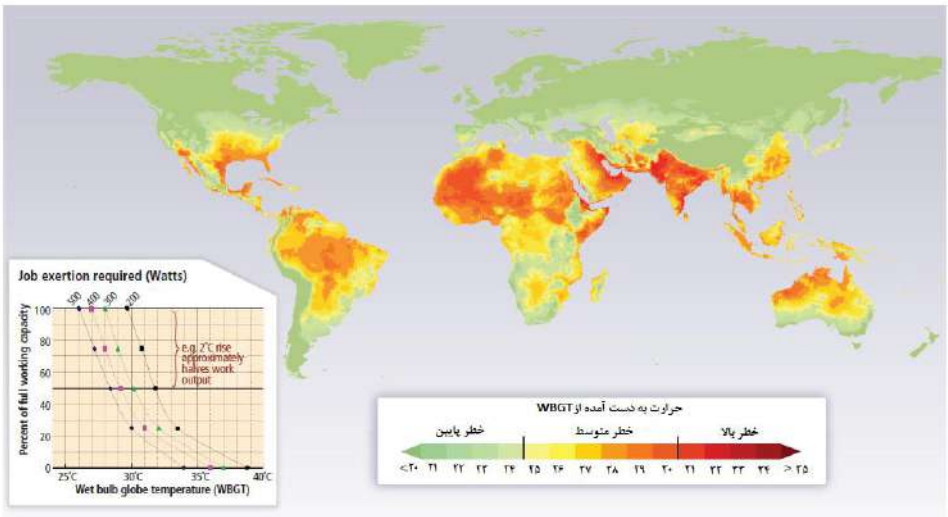
جدول۴-۲: مطالعه نلسون و همکاران ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰

سناریو		آسیای جنوبی	آسیای شرقی/آرام	اروپا و آسیای مرکزی	آمریکای لاتین و کارائیب	خاورمیانه و افریقای شمالی	آفریقای زیر صحرا	همه کشورهای توسعه یافته
۲۰۰۰		۷۵/۶	۲۳/۸	۴/۱	۷/۷	۳/۵	۳۲/۷	۱۴۷/۹
۲۰۵۰	بدون تغییر آب و هوا	۵۲/۳	۱۰/۱	۲/۷	۵	۱/۱	۴۱/۷	۱۱۳/۳
	با تغییر آب و هوا	۵۹/۱	۱۴/۵	۳/۷	۶/۴	۲/۱	۵۲/۲	۱۳۸/۵

[1] Nelson

مشخص است با در نظر گرفتن سناریوی اول، تولید محصول و کالری به ازای سرانه در کشورهای در حال توسعه کاهش خواهد یافت که کودکان را درگیر خواهد نمود اما در سناریوی دوم (با در نظر گرفتن تغییر آب و هوایی) روند کاهشی بسیار بالایی رخ خواهد داد. آنها تخمین زده‌اند که تا سال ۲۰۵۰، با رشد متوسط تا شدید اقتصادی و در مقایسه با آینده‌ی بدون تغییر آب و هوا، ممکن است افزایش نسبی در عدم رشد کودکان از ۳۱ تا ۵۵ درصد در مناطق جنوب صحرای آفریقا و ۶۱ درصد در جنوب آسیا وجود داشته باشد. به طور خلاصه مشخص شده است که تغییر آب و هوایی تأثیر منفی بر روی (۱) در دسترس بودن کالری سرانه؛ (۲) سوءتغذیه در دوران کودکی، به ویژه از نوع شدید؛ و (۳) مرگ و میر کودکان مرتبط با سوء تغذیه خواهد داشت.

سلامت حرفه و شغل: در سراسر جهان، بیش از نیمی از ساعت‌های کار خارج از منزل، عمدتاً در بخش کشاورزی و ساخت و ساز (ILO, 2013)، استفاده می‌شود. افرادی که موظف به کار در خارج از محیط کار در شرایط گرم، بدون دسترسی به سایه یا آب کافی هستند، در معرض خطر افزایش فشار قرار دارند. خطرات سلامتی با سطح اعمال فیزیکی افزایش می‌یابد یعنی هر چه کار بیشتری انجام شود خطرات بیشتری سلامتی را تهدید می‌کند؛ بنابراین، کشاورزان و کارگران ساختمانی در کشورهای توسعه‌یافته گرمسیری در معرض خطر بیشتری قرار دارند، اما تنش گرما برای کسانی که در محیط‌های کاری هستند که تحت کنترل دما قرار نمی‌گیرند و حتی برای بعضی از کارگران در کشورهای دارای درآمد بالا مانند ایالات‌متحده آمریکا نیز موضوع مهمی است (Luginbuhl et al., 2008) (شکل۴-۵).



شکل۴-۵: میانگین ماه‌های گرم طی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۸۰ (این میانگین توسط web bulb globe temperature (WBGT) که دما، رطوبت و دیگر فاکتورها را برای ایجاد شاخصی برای ارزیابی ظرفیت کار ترکیب می‌نماید، اندازه گیری شده است)(Smith et al., 2014b).

در افق ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰، اثرات آینده‌ی دما بر از کارافتادگی بدن، پیش‌بینی شده است (Kjellstrom et al., 2009). دما و رطوبت در مدل گنجانده شده است و این مدل‌سازی، تغییراتِ توزیع نیروی کار مرتبط با فعالیت بدنی را در نظر گرفته است. در آسیای جنوب شرقی، در سال ۲۰۵۰، این مدل نشان می‌دهد که بیش از نیمی از ساعت کار بعد از ظهر به علت نیاز به استراحت کاهش خواهد یافت.

تا سال ۲۱۰۰، تحت RCP4.5، دان[1] و همکاران کاهش ۲۰ درصدی بهره‌وری در سطح جهانی را پیش‌بینی نمودند(Dunne et al, 2013).

امروزه استانداردهای بین‌المللی برای مشخص نمودن حداکثر زمان قرار گرفتن در معرض گرما در محل کار و زمان استراحت ساعتی برای افراد انعطاف‌پذیر و غیرقابل انعطاف وجود دارد. در کشورهای گرم در طول فصل داغ، نسبت بزرگی از نیروی کار تحت تأثیر گرما قرار می‌گیرند و ممکن است تأثیرات اقتصادی همانند کاهش ظرفیت کاری (از کار افتادگی) و به تبع آن به خطر افتادن معیشت را در پی داشته باشد.

شرایط آب و هوایی سخت‌تر مانند سیل، خشکسالی و امواج گرما موجب افزایش استرس بر تمام کسانی که در حال حاضر مبتلا به بیماری روانی هستند می‌شود و ممکن است سبب ایجاد استرس کافی برای افرادی باشند که هنوز به بیماری مبتلا نشده‌اند. تظاهرات مربوط به ترومای روانپزشکی مرتبط با فاجعه شامل واکنش اضطرابی شدید (مانند استرس پس از سانحه) و اثرات بلندمدت مانند اضطراب عمومی، افسردگی، پرخاشگری و روانپزشکی، پیچیده می‌باشد. شرایط آب و هوایی بسیار حدی ممکن است اثرات غیرمستقیمی از طریق تأثیرات بر بهره‌وری کشاورزی، ماهیگیری، جنگلداری و سایر فعالیت‌های اقتصادی را بر افراد مبتلا به بیماری‌های روحی داشته باشد. بلایای طبیعی مانند سیکلون ها، امواج گرما و سیل‌های بزرگ نیز ممکن است در شهرها اثر مخربی داشته باشد.

۴-۶- سیاست‌های سازگاری در بخش سلامت در مقیاس جهانی

تهیه نقشه‌ی آسیب‌پذیری: نقشه‌ی آسیب‌پذیری به‌طور فزاینده‌ای برای درک بهتر خطرات دوره حال و آینده‌ی مرتبط با تغییر آب و هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. چهار عاملی که تغییرات این آسیب پذیری‌ها را بیشتر توجیه می‌کنند عبارت‌اند از ترکیبی از عوامل اجتماعی و محیطی، انزوای اجتماعی، شرایط آب و هوایی و نسبت جمعیتی که سالمند یا دیابتی هستند، می‌باشد. اکنون فنّاوری‌های سنجش از دور به اندازه کافی برای نمایش نقشه آسیب‌پذیری‌های محلی مناسب هستند. به عنوان مثال، این فناوری‌ها می‌تواند برای نشان دادن اثرات دمای سطح و اثرات جزیره حرارتی شهر در محدوده کوچک‌مقیاس مورد استفاده قرار گیرد و این نشان می‌دهد که در کجاها فضای سبز شهری و دیگر اقدامات خنک‌سازی شهری می‌تواند بیشترین تأثیر را داشته باشد و هشدار مقاماتِ بهداشت عمومی به جمعیت‌هایی که بیشترین خطر را در رابطه با امواج گرما دارند را تسهیل می‌نماید. نقشه‌برداری در مقیاس‌های منطقه‌ای و بزرگ ممکن است برای هدایت اقدامات سازگاری مفید باشد. در

[1] Dunne

پرتغال، مدل‌سازی بیماری لایم نشان می‌دهد که شرایط آینده برای انتقال بیماری در جنوب، مطلوبیت کمتری خواهد داشت، اما در مرکز و بخش شمالی کشور مطلوب‌تر است (Casimiro et al., 2006).

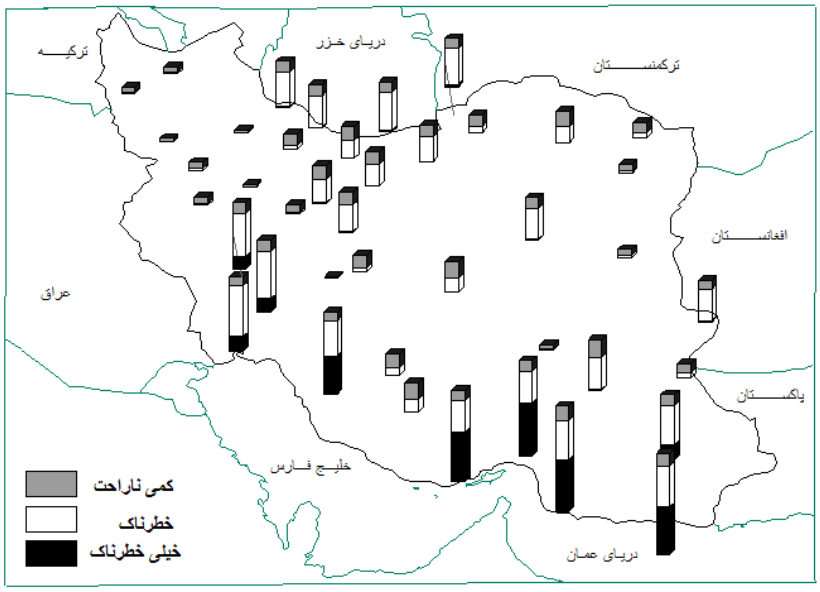
سیستم‌های هشدار اولیه: سیستم‌های هشدار اولیه در بسیاری از مناطق به منظور جلوگیری از تأثیرات منفی بهداشتی از طریق هشدار دادن به مقاماتِ بهداشت عمومی و عموم مردم در مورد خطرات بهداشتی مربوط به آب و هوا توسعه یافته است. سیستم‌های هشداردهنده‌ی مؤثر، طیف وسیعی از عواملی را در نظر می‌گیرند که می‌توانند محرک خطر باشند و در همکاری با کاربران نهایی توسعه یافته‌اند. اجزای سیستم‌های مؤثر هشدار اولیه عبارت‌اند از: پیش‌بینی شرایط آب و هوایی مرتبط با افزایش میزان مرگ و میر، پیش‌بینی نتایج احتمالی سلامت، شناسایی عوامل مؤثر در برنامه‌های واکنش سریع در جمعیت آسیب‌پذیر موردنظر، خطرات و واکنش‌های پیشگیرانه و ارزیابی و تجدیدنظر سیستم برای افزایش اثربخشی در شرایط تغییر آب و هوایی(Lowe et al., 2011). سیستم‌های هشداردهنده‌ی اولیه‌ی امواج گرما به‌طور فزاینده‌ای در درجه‌ی اول در کشورهای با درآمد بالا اعمال می‌شود. از هفت مطالعه‌ی اثربخشی سیستم‌های هشداردهنده امواج گرمایی و یا اقدامات پیشگیری از گرما برای کاهش مرگ و میر مرتبط با گرما، شش مورد از مطالعات، میزان مرگ و میر کمتری را در طول امواج گرمایی پس از اجرای این سیستم گزارش نموده‌اند (Palecki et al., 2001). یک ارزیابی ملی نشان داد که تلفات کمتر به موارد زیر مرتبط می‌شود: آگاهی عموم مردم نسبت به خطرات سلامتی امواج گرما، بهبود خدمات بهداشتی و معرفی سیستم هشداردهنده اولیه امواج گرما در سال ۲۰۰۴.

۴-۷- اثرات موج‌های گرمای ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور

افزایش دما به عنوان نماد مشخص از شواهد تغییر آب و هوا در سطح جهان و کشور محسوب می‌شود. علاوه بر افزایش دما، افزایش فراوانی رخداد موج‌های گرما نیز از وقایعی است که در طی سالهای اخیر در مناطق مختلف آب و هوایی خود را نشان داده است. منظور از موج‌های گرما افزایش ناگهانی، غیر منتظره و خارج از قاعده طبیعی دما است که مدتی را در یک منطقه تداوم داشته باشد. هرچند که رخداد موج گرما در فصول سرد سال می‌تواند شرایط دلپذیری را از نظر آب و هوا و زیست انسانی داشته باشد اما در کل می‌تواند اثرهای ناگواری همچون ذوب یک‌باره و ناگهانی برف‌های انباشته شده در مناطق کوهستانی را به دنبال داشته باشد که موجب بروز سیل‌های ویرانگر در مناطق شود. درعین حال رخداد موج‌های گرما در فصول گرم شرایط طاقت فرسایی را حاکم می‌کند که در صورت فقدان امکانات و تجهیزات لازم برای خنک‌سازی محیط می‌تواند تلفات انسانی گسترده را همانند آنچه در تابستان سال ۲۰۰۳ در اروپا شاهد آن بودیم ایجاد کند. در زمان فوق بیش از هزاران نفر جان خود را از دست دادند.

ویژگی‌های آماری تعداد روزهای همراه با موج گرما در شکل ۴-۶ ارائه شده است. شاخص مورد استفاده در این شکل طبقه‌بندی موج‌های گرما بر اساس شاخص دما و رطوبتی است(humidex) که به گروه‌های خیلی ناراحت تا راحت تقسیم‌بندی شده است. بر اساس این شکل نواحی جنوبی که از

رطوبت و دمای زیادی برخوردار است شرایط بالقوه‌ای را برای موج‌های گرمای بیشتری دارد و به تدریج که به طرف عرض‌های شمالی پیش می‌رویم از مقدار آن کاسته می‌شود. شرایط وقوع امواج گرمایی در کشور بسیار متنوع می‌باشد؛ در حالی که ایستگاه‌هایی مانند سنندج، سقز، کرمانشاه، شهرکرد، ارومیه و تبریز بالای ۳۴۰ روز در سال دارای شرایط راحت هستند و فقط ۲۰ روز از سال دارای روزهای همراه با شرایط گرمای ناراحت کننده هستند (البته ممکن است از حدود ۳۴۰ روز ذکرشده روزهایی با شرایط سرمایی ناراحت کننده وجود داشته باشد که در موضوع امواج سرمایی قابل مطالعه است) در کنار این شرایط، ایستگاههایی مانند آبادان، اهواز، ایرانشهر، بوشهر، طبس، دزفول، بندرلنگه و بندرعباس وجود دارند که حدود نیمی از سال یا حدود ۱۸۰ روز از سال در آنها شرایط راحت از نظر دماهای ناراحت کننده وجود دارد و بقیه ایام سال در شرایط حرارتی نامساعد قرار می‌گیرند. علاوه بر دو رده مذکور ایستگاههایی مانند رامسر، بابلسر، بندر انزلی، زابل، سبزوار، قم و یزد، حدود ۲۵۰ روز از سال دارای شرایط آسایش حرارتی بوده و گرمای ناراحت کننده فقط در حدود ۱۱۰ روز از سال در آنها قابل مشاهده است. شرایط حرارتی خطرناک و خیلی خطرناک فقط در ایستگاههای محدودی مانند آبادان، اهواز، ایرانشهر، بندرعباس، بندرلنگه، بوشهر، جاسک و چابهار که همگی در نواحی جنوبی کشور قرار گرفته‌اند مشاهده می‌گردد. در کل توزیع جغرافیایی رده‌های حرارتی بیانگر این موضوع است که در نواحی معتدل کشور در شمالغرب، شمالشرق و غرب کشور، تنش حرارتی ناراحت کننده بسیار کم است و نواحی جنوبی سواحل دریای خزر دارای شرایط متوسط و نواحی جنوبی کشور، مناطق اصلی هستند که شرایط ناراحت کننده دمایی را تجربه می‌کنند.



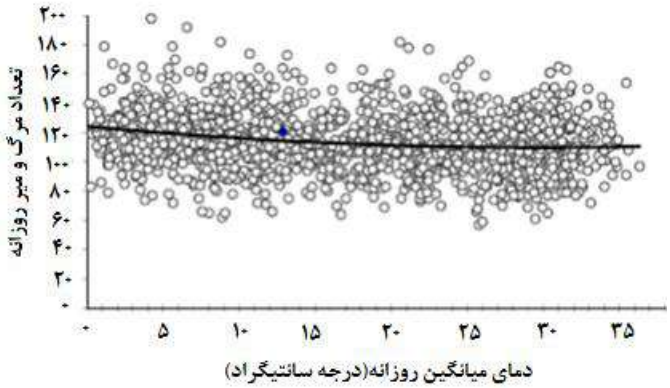
شکل۴-۶: پراکندگی شدت امواج گرما در کشور بر درصد روزهای ایام سال (۲۰۰۷-۱۹۷۴) (فرج زاده، ۱۳۹۲)

جدول ۴-۳ نشان دهنده تغییرات زمانی امواج گرما در طی سه دهه مورد بررسی در ایستگاهها می‌باشد. جدول مذکور بیانگر میانگین روزهای همراه با موج گرما بالاتر از شرایط کمی ناراحت تا خیلی خطرناک می‌باشد، یعنی روزهای همراه با شرایط راحت در این بررسی در نظر گرفته نشده است. بررسی جدول نشان می‌دهد که تغییرات زمانی از نظام خاصی تبعیت نمی‌کند، درحالی که در برخی از ایستگاهها مانند آبادان و ایرانشهر در دهه دوم کاهش محسوسی قابل مشاهده است، در دهه سوم افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. در برخی ایستگاهها مانند اهواز افزایش قابل ملاحظه‌ای از دهه اول تا سوم مشاهده می‌گردد. در ایستگاههایی که از نظر آب و هوایی معتدل محسوب می‌شوند تعداد روزهای موج گرما تغییرات محسوسی نداشته و در مواردی کاهش چند روزه‌ای را نشان می‌دهد.

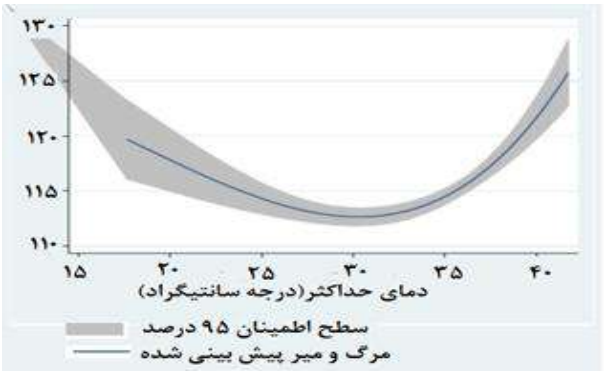
جدول۴-۳: میانگین تعداد روزهای با موج گرما (شرایط کمی ناراحت تا خیلی خطرناک) در طی سه دهه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه (فرج زاده، ۱۳۹۲)

ایستگاه	میانگین روزهای همراه با موج گرما (۱۹۸۲-۱۹۷۲)	میانگین روزهای همراه با موج گرما (۱۹۹۳-۱۹۸۳)	میانگین روزهای همراه با موج گرما (۲۰۰۴-۱۹۹۴)	ایستگاه	میانگین روزهای همراه با موج گرما (۱۹۸۲-۱۹۷۲)	میانگین روزهای همراه با موج گرما (۱۹۹۳-۱۹۸۳)	میانگین روزهای همراه با موج گرما (۲۰۰۴-۱۹۹۴)
آبادان	۱۸۵	۱۶۶/۸	۱۸۲	زابل	۱۱۰	۱۲۴/۱	۱۲۴/۱
اراک	۸/۱	۲/۳	۴/۹	زاهدان	۱۷/۶	۸	۱۱
ارومیه	۱/۶	۲/۵	۲/۳	زنجان	۱/۶	۰/۵	۰/۰۹
اصفهان	۹/۹	۱۳	۱۴	سبزوار	۳۵/۷	۴۴/۵	۵۳/۱
اهواز	۱۶۷/۲	۱۶۰/۶	۱۷۳/۷	سقز	۲	۳/۲	۰/۱
ایرانشهر	۱۶۲/۳	۱۴۳/۹	۱۴۲/۳	سمنان	۷۰/۴	۶۵/۳	۶۹/۸
بابلسر	۱۰۸/۵	۱۰۸/۹	۱۱۱	سنندج	۴/۳	۳/۷	۱۰/۸
بم	۶۸/۸	۹۴/۱	۹۲/۴	شاهرود	۱۳/۴	۱۵/۶	۲۱/۲
بندر انزلی	۹۵/۸	۹۷/۴	۹۴/۹	شهرکرد	۱/۵	۰/۴	۰/۲
بندر عباس	۲۴۸/۵	۲۲۱	۲۳۲/۵	شیراز	۷/۴	۲۲/۵	۳۳/۱
بندر لنگه	۲۳۲/۴	۲۱۴/۸	۲۲۸/۸	طبس	۱۰۱/۸	۱۰۳	۵۹/۲
بوشهر	۲۱۱	۱۹۳	۲۰۰	فسا	۴۲/۲	۲۸/۲	۳۹
بیرجند	۴/۶	۴	۸	قزوین	۹/۷	۸/۹	۱۵/۹
تبریز	۷/۸	۱۲/۴	۰	قم	۹۱/۱	۴۷/۲	۵۸
تربت حیدریه	۴/۶	۴/۱	۵/۹	کاشان	۹۱/۱	۵۵/۵	۷۴/۷
تهران مهرآباد	۳۲/۴	۴۶/۸	۶۶/۹	کرمان	۱/۱	۱/۴	۲/۵
جاسک	۲۵۰/۹	۲۴۶	۲۵۸/۶	کرمانشاه	۲/۴	۱/۸	۹/۴
چابهار	۲۵۸/۲	۲۵۶/۶	۲۲۰/۸	گرگان	۱۰۳/۳	۱۰۶	۱۱۰/۸
دزفول	۱۵۲/۹	۱۵۱/۴	۱۵۸/۷	مشهد	۶/۸	۱۴/۴	۲۱/۶
دوشان تپه	۵۲/۹	۶۰/۶	۵۷/۸	همدان	۰/۶	۰/۰۹	۱/۲
رامسر	۸۵/۴	۸۰/۰۹	۸۹/۱	یزد	۳۲	۴۲/۱	۴۲/۶

مطالعات اندکی به اثرهای موج‌های گرما و فشارهای حرارتی روی سلامت و مرگ و میر ایرانیان انجام شده است. به نظر می‌رسد مشکل اصلی در این نوع تحقیق نیز عدم وجود داده مناسب برای مطالعه این اثرات است. در برخی از کشورهای دنیا مانند امریکا داده‌های منسجمی در این خصوص در هنگام مراجعه بیماران به بیمارستان ثبت و ضبط می‌شود که از طریق آنها می‌توان تحلیل‌های مربوطه را انجام داد. در ایران مطالعات انجام گرفته به صورت موردی بوده است. مطالعات فرج زاده و دارند (۲۰۰۹) نشان می‌دهد که دمای مرگ و میر برای شهر تهران ۲۸/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد که در بالاتر یا پایین‌تر از آن بر میزان مرگ و میر افزوده می‌شود (شکل ۴-۷). مطالعه احمد نژاد و همکاران (۲۰۱۳) نیز بر مبنای مطالعه ارتباط موج‌های گرما با مرگ و میر شهر تهران انجام گرفته نیز این موضوع را تائید می‌کند (شکل ۴-۸). نتایج مطالعه آن بیانگر این است که حدود ۳ تا ۹ درصد میزان مرگ و میر در زمان رخداد موج‌های گرما فزایش پیدا می‌کند. البته مطالعه ارتباط بین موج‌های گرما و مرگ و میر ارتباط مستقیمی با چگونگی تعریف موج گرما و شاخص مورد استفاده دارد(Xu et al., 2016).



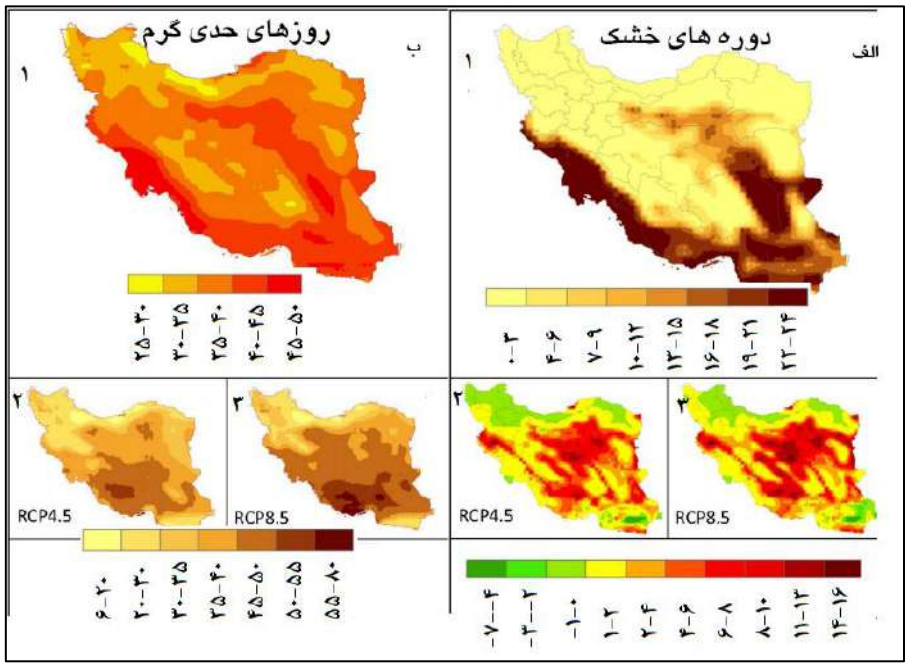
شکل۴-۷: دمای مرگ و میر برای شهر تهران(فرج زاده و دارند، ۲۰۰۹)



شکل۴-۸: رابطه بین مرگ و میر و دماهای حداکثر در طی تابستان در شهر تهران (احمد نژاد و همکاران، ۲۰۱۳)

گرمازدگی نیز از بیماری‌های شایع در زمان رخداد موج‌های گرما می‌باشد که صدها نفر را روانه بیمارستان می‌کند؛ ولی چون آمار قطعی در این خصوص وجود ندارد نمی‌توان به‌طور قطعی در مورد میزان بیماران صحبت نمود.

در افق ۲۰۵۰، نتایج مدل‌ها نشان می‌دهد طی دوره آینده و با استفاده از شبیه سازی‌های سناریوهای جدید، تعداد روزهای گرم حدی ۳۰ تا ۹۰ روز در سال در بیابانهای ایران افزایش خواهد یافت(شکل۴-۹). این افزایش ملموس دارای روندی معنی دار بوده است. دوره‌های خشک با بارش کمتر از ۲ میلیمتر و حداکثر دمای بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد نیز افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهند(Ashraf Vaghefi et al., 2019).



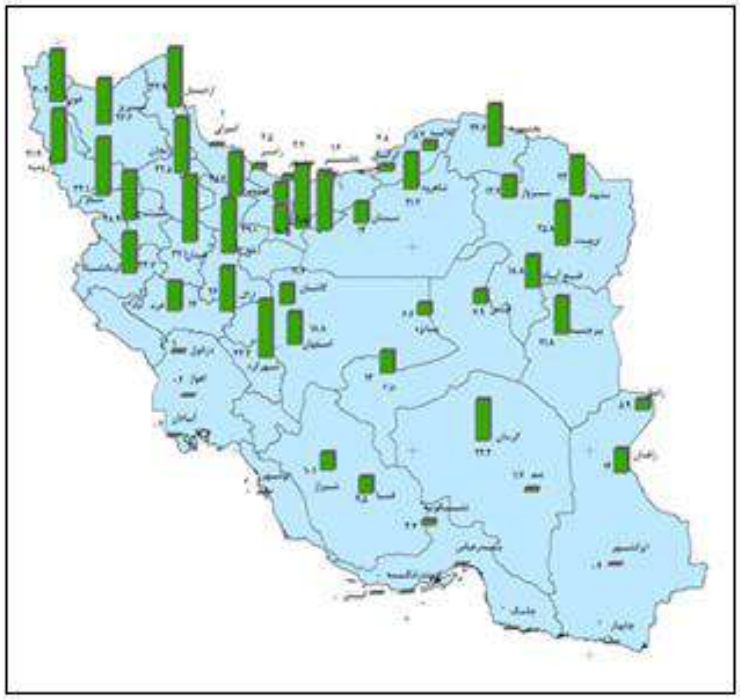
شکل۴-۹: (الف)-دوره‌های خشک برای بیش از ۱۲۰ روز متوالی، با بارش کمتر از ۲ میلیمتر و حداکثر دمای بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد، ۱ : دوره مشاهداتی، ۲ و ۳ : دوره آینده تحت دو سناریوی RCP4.5 ,8.5 ، (ب)-روزهای حدی گرم با صدک ۹۵صدم طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۴ (۱) و روزهای حدی گرم تحت سناریوهای RCP4.5 ,8.5 طی دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۴۹ (۲ و۳) (Ashraf Vaghefi et al., 2019)

۴-۸- اثرات موج‌های سرمای ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور

موج‌های سرما همانند موج‌های گرما از وقایع غیرمنتظره آب و هوایی مناطق مختلف جغرافیایی هستند که می‌توانند اثرهای مختلفی را در این مناطق به دنبال داشته باشند. در برخی مناطق

مخصوصاً مناطقی که دارای آب و هوای کوهستانی است این پدیده می‌تواند از شدت بیشتری برخوردار باشد. شدت موج‌های سرما ارتباط مستقیمی با فراوانی افت دما به دماهای حداقل دارد، دوره تداوم آن، منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از مهمترین تأثیرات تغییر آب و هوا بر ویژگی‌های امواج سرد در مناطق است. رخداد گرمایش جهانی باعث شده است میانگین دمای جهانی افزایش معنی‌داری را پیدا کند. در کنار این موضوع مناطقی که در گذشته روزهای بسیار سردی را تجربه می‌کردند امروزه از تعداد روزهای سرد کاسته شده و حداقل‌های مطلق دما نیز از افزایش قابل توجهی برخوردار گردیده است. به این ترتیب از میزان موج‌های سرما نیز در اغلب مناطق دنیا کاسته شده است. این موضوع می‌رساند که انتظار می‌رود به دنبال کاهش رخداد موج‌های سرما و یا حداقل کاهش شدت آن، اثرهای آن بر حوزه‌های سلامت انسانی، گیاهی و جانوری نیز در مقایسه با گذشته کاهش یابد.

شکل ۴-۱۰ میانگین، فراوانی و درصد میانگین روزهای یخبندان را نشان می‌دهند(نتایج تحقیقات نگارندگان). همان‌طور که شکل نشان می‌دهد از تعداد ۵۴ ایستگاه منتخب، ایستگاههای بندر عباس، بندرلنگه، بوشهر، جاسک، چابهار و کیش در کل دوره‌ی آماری مورد مطالعه (۲۰۰۴-۱۹۷۴)، فاقد یخبندان بوده‌اند. در طول ۳۱ سال دوره‌ی آماری ایستگاههای مورد مطالعه ایران، میانگین ۶۲ روز یخبندان را در طول دوره در هر ایستگاه دارای یخبندان، تجربه کرده است. که از این میان همدان با میانگین ۱۴۳ روز، ۳۹/۱ درصد، و اهواز با میانگین ۱روز، ۰/۲درصد، بالاترین و پایین‌ترین میانگین روزهای یخبندان را به خود اختصاص داده‌اند. پس از همدان به ترتیب ایستگاههای آبعلی با میانگین ۱۳۷، اردبیل با میانگین ۱۲۸، همند آبسرد با ۱۲۷، شهر کرد با ۱۲۵ و سقز با ۱۲۴ روز، بیشترین میانگین روز یخبندان را داشته‌اند. با نگاهی اجمالی می‌توان توزیع پراکندگی ایستگاهها را با توجه به میانگین و تعداد روزهای یخبندان آنها، مشخص نمود. بدین صورت که بیشتر ایستگاههای بالای میانگین ۶۰ روز یخبندان در غرب، شمال‌غرب، دامنه‌های جنوبی البرز و شمال شرق واقع شده‌اند، ایستگاههای با میانگین ۶۰-۳۰ روز به صورت پراکنده در شرق، غرب و مرکز ایران مشخص هستند. همچنین ایستگاههای با میانگین کمتر از ۳۰روز یخبندان در شمال، جنوب غرب، جنوب شرق و مرکز کشور دیده می‌شوند. نزدیک به نیمی از ایستگاههای دارای یخبندان با بیشترین میانگین و تعداد روزهای یخبندان در غرب، شمال غرب، دامنه‌های جنوبی البرز و شمال شرق ایران واقع شده‌اند پس می‌توان این چنین نتیجه گرفت که این مناطق نسبت به دیگر مناطق، از لحاظ وقوع یخبندان مستعدتر هستند. ماههای دارای بیشترین میانگین روزهای یخبندان در تمامی ایستگاهها در طول دوره، ماه ژانویه (دی‌ماه) است.



شکل۴-۱۰: میانگین فراوانی روزهای یخبندان(فرج زاده، ۱۳۹۲)

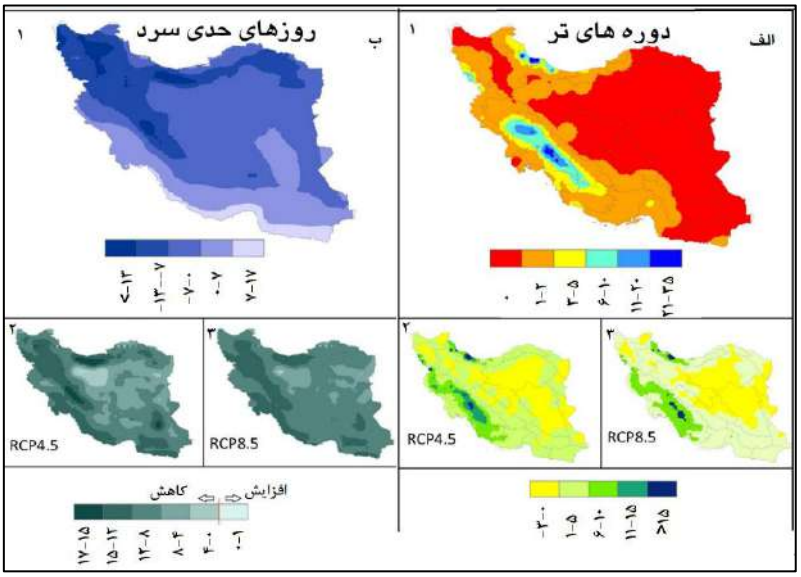
از نظر روند تغییرات یخبندان در ایران از نظر سیر صعودی یا نزولی و پراکنش مکانی یخبندان در طی سالهای مورد مطالعه، آنها به ۵ دوره‌ی آماری ۶ ساله (۲۰۰۴-۱۹۹۹)، (۱۹۹۸-۱۹۹۳)، (۱۹۹۲-۱۹۸۷)، (۱۹۸۶-۱۹۸۱)، (۱۹۸۰-۱۹۷۵) تقسیم‌بندی شدند (جدول۴-۴). بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که در گذار از دوره اول به دوره‌ی دوم با ۲ روز افزایش در میانگین روزها، دوره‌ی دوم به سوم با ۳ روز، دوره‌ی سوم به چهارم با ۵ روز و دوره‌ی چهارم به پنجم با ۵ روز کاهش در میانگین روزها مواجه بوده‌ایم. بیشترین میانگین روزهای یخبندان در دوره‌ی دوم (۱۹۸۶-۱۹۸۱) با میانگین ۵۷ روز رخ داده است و کمترین آن در دوره‌ی پنجم (۲۰۰۴-۱۹۹۹) با میانگین ۴۴ روز بوده است. با این توضیح می‌توان گفت که از دوره‌ی اول به دوم با افزایش محدودی در میانگین روزهای یخبندان مواجه هستیم اما از این دوره به بعد کاهش نسبتاً محسوسی را داریم. به این صورت که از دوره‌ی دوم به بعد با کاهش مشابهی در میانگین روزهای یخبندان روبرو هستیم. این کاهش در دوره‌ی پنجم نسبت به دوره‌ی اوج یخبندان، به طور میانگین ۱۱ روز تفاوت دارد. از لحاظ دمای میانگین دوره، دوره‌ی (۱۹۹۲-۱۹۸۷) با ۴/۸- درجه سانتیگراد سردترین دوره بوده و پس از آن دوره دوم با دمای ۴/۵- درجه قرار دارد. از دوره‌ی اول تا سوم که نقطه‌ی اوج از نظر دمای میانگین به حساب می‌آید با کاهش دما روبروییم و پس از آن افزایش نامحسوس دما را داریم. اختلاف بین دمای میانگین دوره‌ها زیاد به نظر نمی‌رسد.

جدول۴-۴: توزیع فراوانی روزهای یخبندان در دوره‌های مطالعاتی(فرج زاده، ۱۳۹۲)

دوره‌ها	میانگین روز	میانگین دما
۱۹۷۵ - ۱۹۸۰	۵۵/۲	-۴/۲
۱۹۸۱ - ۱۹۸۶	۵۷	-۴/۵
۱۹۸۷ - ۱۹۹۲	۵۴/۳	-۴/۸
۱۹۹۳ - ۱۹۹۸	۴۹/۲	-۴
۱۹۹۹ – ۲۰۰۴	۴۴	-۳/۸

مشکل پیش گفته شده در خصوص موج‌های گرما در مورد موج‌های سرما وجود دارد و به دلیل نبود داده‌های منسجم نمی‌توان در مورد اثرهای آن بر سلامت و مرگ و میر افراد اظهار نظر نمود؛ ولی نکته‌ای که مشخص است این است که هرساله افراد زیادی به دلیل گرفتار شدن در برف و بورانهای کوهستانها دچار صدمه جانی و مرگ و میر می‌شوند. از طرفی باید گفت که رخداد گرمایش جهانی سبب شده است از فراوانی و شدت سرماهای زمستانی کاسته شود و از این رو انتظار می‌رود برخلاف موج‌های گرما که در حال فزونی است موج‌های سرما از سیر کاهشی برخوردار باشد. نکته مهم دیگر این است که علی‌رغم تلفات انسانی کمتر ناشی از موج‌های سرما، سرماهای بهاره اثرهای زیادی روی عملکرد محصولات زراعی و باغی دارد.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به دو سناریوی شبیه سازی شده RCP4.5 ,8.5 روزهای حدی سرد طی دوره ۲۰۵۰ کاهش خواهد یافت (شکل۴-۱۱) (Ashraf Vaghefi et al., 2019).



شکل۴-۱۱: (الف)- دوره‌های تر برای کمتر از ۳ روز متوالی، با بارش بیش از ۱۱۰ میلیمتر (راست) ۱: دوره مشاهداتی ، ۲ و ۳: دوره آینده تحت دو سناریوی RCP4.5 ,8.5، (ب)- روزهای حدی سرد با صدک ۵ صدم طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۴ (۱) و روزهای حدی سرد تحت سناریوهای RCP4.5 ,8.5 طی دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۴۹ (۲ و۳) (Ashraf Vaghefi et al., 2019)

۴-۹- اثر تغییرات تابش‌های ماوراءبنفش خورشیدی ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور

لایه ازن در ارتفاع حدود ۲۰ تا کیلومتری از سطح زمین و در لایه استراتوسفر یعنی یکی از مهمترین لایه‌های جو است که امکان حیات بشر را در کره زمین فراهم نموده است. چراکه در نبود آن تابش‌های زیانبار ماوراءبنفش خورشیدی خود را به زمین می‌رسانند و می‌توانستند باعث بروز بیماری مختلفی برای انسانها، گیاهان و جانوران شوند. ارتباط بین لایه ازن با تغییر آب و هوا در این است که عامل اصلی برای تخریب لایه ازن و یا کاهش آن همان گازهایی مانند کلرو فلورو کربن‌ها و هالونها هستند که خود جزو گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شوند. در نتیجه افزایش گازهای فوق‌الذکر در سطح زمین ضمن ایجاد گرمایش زمین، می‌توانند خود را به ارتفاعات بالا در محل قرارگیری لایه ازن رسانده و باعث تخریب گاز ازن شوند و به این ترتیب امکان عبور تابش ماوراءبنفش بیشتری به سطح زمین را فراهم می‌کنند. در عین حال افزایش و یا کاهش دمای زمین بر فعالیت لایه ازن نیز مؤثر است؛ هرچند اطلاعات دقیقی در این زمینه وجود ندارد ولی می‌توان گفت واکنش‌های فتوشیمیایی لایه بالایی جو در شکل دادن و تجزیه ازن به‌طور خاص به دما وابسته است. به‌واسطه افزایش گازهای گلخانه‌ای گرمای بیشتری در اتمسفر به دام خواهد افتاد، گرمایش تروپوسفری، لایه تروپوپاز را به بالا هدایت می‌کند و در ادامه ازن بیشتری درون استراتوسفر به‌صورت فتوشیمیایی تجزیه می‌شود (Varotsos et al., 2004). تغییر آب و هوایی در نواحی قطبی (نظیر دمای سطحی) به عنوان یک بخش مهم در جابجایی توده‌های هوا داخل سیستم گردش عمومی جو قادر می‌باشد در مراحل بعدی منجر به تغییراتی در خصوصیات جو زمین و حتی ستون ازن استراتوسفری شود. از سوی دیگر تغییر در میزان ازن منجر به تغییر دمای استراتوسفر می‌شود و در نهایت به تغییر گردش عمومی جو و آب و هوا کمک می‌کند. ازن استراتوسفر با جذب انرژی ورودی خورشید و امواج تابشی فروسرخ از زمین گرم می‌شود. بیشترین سهم سرمایشی که در چند دهه اخیر(۰/۱۵-۰/۱۷ W/m2) در لایه استراتوسفر گزارش شده به کاهش ازن ارتباط داده می‌شود (Varotsos et al., 2004). بنابراین اگر ضخامت ازن در آینده به‌سوی مقادیر بالا حرکت کند، لایه مذکور به سمت گرم‌شدن و چنانچه متمایل به مقادیر کم گردد به سمت سردشدن پیش خواهد رفت.

در بعضی مواقع موضوع حفره ازن با مسئله گرم شدن عمومی کره زمین اشتباه گرفته می‌شود. هر چند میزان ازن در جو روی اثر گلخانه‌ای تأثیر می‌گذارد و بین این دو رابطه‌ای وجود دارد، اما پدیده حفره ازن، موضوعی جدا از گرمایش زمین می‌باشد. در واقع حفره ازن به معنی کاهش ضخامت لایه ازن نسبت به متوسط درازمدت آن در مکان و زمان مشخص است. این برداشت از ویژگی‌های ازن استراتوسفری ما را قادر می‌کند تا بتوان دسته‌بندی‌هایی بر اساس شاخص‌هایی نظیر مساحت، مقدار و موقعیت جغرافیایی داشته باشیم.

تابش UVB (۳۱۵-۲۸۰ نانومتر) نقش مهمی در فرایندهای بیولوژیکی ایفا می‌کند این باند تابشی به‌طور فزاینده‌ای توسط ازن اتمسفر جذب می‌شود. کاهش در ازن استراتوسفری به جهت افزایش

تطابقی تابش UVB روی سطح زمین اهمیت زیادی دارد. در حالی که مقدار کمی از اشعه UV برای تولید ویتامین D و درمان برخی بیماری‌ها مانند نرمی استخوان و اگزما مفید و ضروری می‌باشد، اما قرار گرفتن زیاد در برابر تابش فرابنفش باعث آسیب‌رسانان به پوست، چشم و سیستم ایمنی بدن انسان و سایر موجودات می‌گردد.

بیشترین نگرانی از اثرات زیست‌محیطی کاهش لایه ازن روی افزایش تابش فرابنفش و اثر آن روی انسان است. بیش از ۹۵٪ از این پرتوها در طیف UVA قرار دارند. هدف اغلب ضدآفتابها این پرتوها هستند؛ با وجود این، پرتوهایUVB، بیشترین تأثیر سرطان‌زایی را بر سلول‌های پوستی دارند. آنها به صورت مستقیم به DNA[1] و سازوکارهای مرمتDNA آسیب می‌رسانند و ایمنی سلولی را سرکوب می‌کنند. تصور می‌شود پرتوهای UVA، قدرت تخریب UVB را افزایش می‌دهند (Arora & Attwood., 2009).

شناخته شده‌ترین اثرات ناشی از تابش فرابنفش التهاب پوست یا همان قرمز شدن پوست است که آفتاب‌سوختگی نامیده می‌شود. شواهد قابل ملاحظه‌ای دال بر مشارکت یا دخالت تابش فرابنفش خورشید روی پیشرفت انواع سرطانهای پوستی ملانوما و غیر ملانومایی وجود دارد(فرج زاده و ودودی مفید، ۱۳۹۳). بررسی‌ها در استرالیا، کانادا و ایالات متحده نشان داد بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۰۰ شیوع آن بیش از دو برابر رسیده است (EPA, 2005). سرطان‌های پوستی غیرتوموردار اغلب در بخش‌هایی از بدن که در معرض خورشید هستند مانند صورت، گوش‌ها، گردن و روی ساعد دست شایع‌تر است. این مسئله نشان می‌دهد که قرار گرفتن طولانی و مکرر در معرض تابش فرابنفش دلیل عمده‌ای در ایجاد آن خواهد بود.

قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض خورشید می‌تواند منجر به تغییرات بافت پوست و خشن شدن آن گردد. در حدود ۹۰ درصد تغییرات مشاهده شده روی پوست در اثر بالا رفتن سن ناشی از رویاروئی با خورشید می‌باشد. همچنین خورشید عامل بدرنگ شدن پوست با ایجاد خال‌های قرمز، زرد، خاکستری یا قهوه‌ای نیز می‌تواند باشد.

چشم توسط برجستگی پیشانی، ابروها و مژه‌ها محافظت می‌شود. اثرات حاد قرار گرفتن در معرض تابش فرابنفش شامل التهاب قرنیه و التهاب ملتحمه می‌باشد. این واکنش‌های التهابی شبیه آفتاب‌سوختگی پوست برای بافت‌های بسیار حساس کره چشم هستند و معمولاً طی چند ساعت قرار گرفتن در معرض خورشید ظاهر می‌شود. هر دو آسیب می‌توانند بسیار دردناک باشند اما برگشت‌پذیر بوده و منجر به اثرات درازمدت در چشم یا دید نمی‌شوند. حالت شدید التهاب قرنیه، قوز قرنیه و برف‌کوری هستند. آب مروارید یکی از عوامل اصلی کوری در جهان است. پروتئین‌ها در عدسی چشم، دانه‌های رنگی را از هم باز می‌کنند، به هم می‌پیچند و انباشته می‌کنند که باعث تار شدن عدسی‌ها و در نهایت

[1] Deoxyribonucleic Acid

کوری می‌شود. اگرچه آب مروارید با توجه به بالا رفتن سن در درجات مختلف برای افراد ظاهر می‌شود، قرار گرفتن در معرض خورشید، به‌ویژه UVB عامل اصلی خطر برای پیشرفت آب مروارید است.

مطالعات گسترده‌ای پیرامون نقش منفی تابش فرابنفش روی محصولات کشاورزی و آبی در نتیجه تخریب ازن انجام یافته هست. کاهش فیتوپلانکتونها در سطح آب اقیانوسها و دریاها، واکنش منفی محصولات زراعی و باغی و واکنش‌های منفی گیاهان هنگام دریافت تابش خورشید برای عملیات فتوسنتز بخشی از اثرات مخرب تابش UVB می‌باشند. مکانیسم اثرگذاری تابش فرابنفش روی گیاهان ممکن است بیش از تأثیرگذاری بر فرایند فتوسنتز باشد. تابش فرابنفش قادر به تغییرات افزایش یا کاهشی اثرات آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های آبی است. مطالعه بین تابش فرابنفش و چهار ترکیب سمی در سازوکار رشد جلبکها اثرات بازخوردی مثبت و منفی را آشکار کرده است(Regier et al., 2015).

در جامعه مدرن امروزه تولیدات و محصولات فراوانی وجود داشته که به تابش فرابنفش خورشید حساس هستند و نهایتاً این تابش می‌تواند بر عمر مفید آنها اثر منفی برجای بگذارد. استقرار طولانی مدت این لوازم بخصوص در نواحی در معرض تابش شدید و مستقیم خورشید به‌طور محسوسی در مستهلک شدن و کاهش عمر مفید آنها دخالت خواهد داشت. رنگ روی بدنه خودروها و سایر سطوح در محیط‌های باز، انواع پلاستیک‌ها از جمله موارد مورد اشاره از اثرات منفی آن هستند که در حال حاضر تلاش برای ارتقاء کمی و کیفی مواد مقاوم در برابر تابش فرابنفش برای استفاده در فضای باز در حال انجام می‌باشد (باقری و عزتیان، ۱۳۹۰).

اطلاعات آماری تغییرات ستون کلی ازن استراتوسفری (TOC[1]) روی ایران به‌صورت ماهانه در جدول۴-۵ گردآوری شده است. بر اساس اطلاعات مندرج، در انتهای فصل زمستان و ابتدای بهار بیشترین میزان ازن استراتوسفری و در انتهای تابستان و ابتدای فصل پاییز کمترین مقدار برای دوره آماری ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۱ (۳۴ سال) مشخص شده است. همچنین بیشترین نوسانات میزان ازن به دوره سرد سال با متوسط ۳۲ دابسون (DU) و کمترین تغییرات نیز به دوره گرم سال با ۷/۵ دابسون اختصاص یافته است. این تغییرات فصلی ازن با الگوی دینامیک جو ارتباط بسیار نزدیکی دارد. افزایش زمستانه ازن روی عرض‌های متوسط زمانی که سیستمهای همدیدی از تحرک و فعالیت بیشتری برخوردار هستند، از گردش نصف‌النهاری قطب‌سو چرخه بروئر- دابسون از منطقه حاره در لایه‌های استراتوسفر پایینی منشأ می‌گیرد؛ اما در فصل تابستان با تضعیف گردش عمومی جو، کاهش شکل-گیری اغتشاشات جوی و اختلاط توده‌های هوای عرضهای بالا و متوسط، امکان شکل‌گیری حوضه‌ای از هوای انباشته شده ازن کم در قطب را فراهم می‌سازد. همین عامل نقش مهمی در کاهش تابستانه و پاییزه ازن روی عرض‌های متوسط و بالا را دارد.

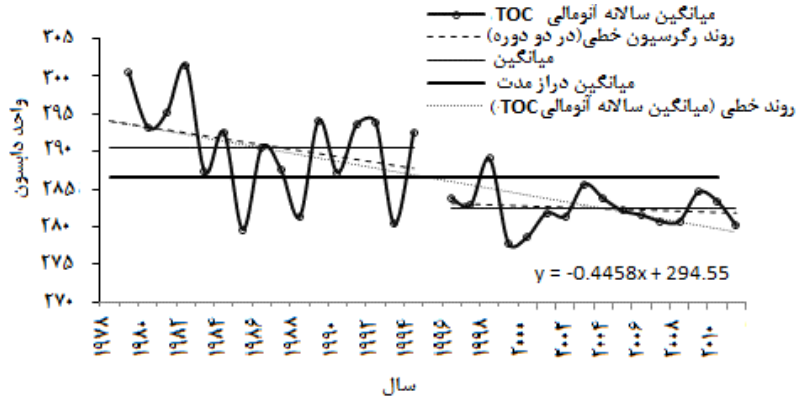
[1] Total Ozone Column

شکل ۴-۱۲ نوسانات سالانه ستون کلی ازن، میانگین درازمدت و روند خطی رگرسیون TOC طی طول دوره مورد بررسی همراه با دو دوره مجزا (۱۹۹۴-۱۹۷۸ و ۲۰۱۱-۱۹۹۶) را نشان داده است. بررسی‌های روند تغییرات ستون کلی ازن روی ایران مرکزی کاهش عمومی را در میانگین سالانه آن نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود در نیمه دوم تقریباً بیشتر مقادیر ازن کلی زیر سطح میانگین درازمدت(۲۸۶ دابسون) واقع شده است و در همین دوره کمترین میزان آن با مقدار ۲۷۸ دابسون به سال ۱۹۹۹ و بیشترین میزان آن با مقدار ۳۰۱ دابسون به سال ۱۹۸۲ اختصاص داشته است.

شکل ۴-۱۲ به خوبی نشان می‌دهد اگرچه در نیمه دوم بیشترین کاهش متوسط مقادیر با ۲۸۲/۴ دابسون (۸/۱ DU) نسبت به دوره اول) اتفاق افتاده است اما شیب کاهشی ازن استراتوسفری نسبت به دوره اول بسیار ضعیفتر شده که می‌توان به آغاز روند بهبودی ازن در طی همین دوره اشاره داشت. سازمان هواشناسی جهانی (WMO, 2011) با مقایسه روند بهبودی ازن بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ و ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۷ در فاصله عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ}N$- $60^{\circ}N$ نشان داده است که لایه ازن در پوشن سپهر بالایی (حدود km۴۳) بیشترین سرعت در افزایش ضخامت ازن (تقریباً چهار دابسون بر هر دهه) را دارد. در پوشن سپهر میانی (حدود km۲۸) کاهش حدود ۰/۵ دابسونی و در پوشن‌سپهر پایینی (حدود km۱۸) روند بهبودی ازن تقریباً در حدود ۰/۲ دابسون بر هر دهه اتفاق افتاده است.

جدول۴-۵: اطلاعات آماری ستون کلی ازن (TOC) به دابسون روی ایران مرکزی همراه با مقادیر منفی دو برابر انحراف معیار هر ماه(Mousavi et al., 2014).

	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین	۲۹۶	۳۰۳	۳۱۰	۳۰۳	۲۹۴	۲۸۵	۲۷۹	۲۷۶	۲۷۳	۲۶۶	۲۷۱	۲۸۱
انحراف معیار	۲۸	۳۲	۲۱/۵	۱۷	۱۵	۹/۵	۸/۵	۷/۵	۸	۱۱/۵	۱۷	۲۴,۵
میانگین حداقل	۲۵۷	۲۶۳	۲۶۹	۲۷۷	۲۷۲	۲۷۳	۲۶۷	۲۶۷	۲۶۳	۲۵۱	۲۴۷	۲۴۶
میانگین حداکثر	۳۵۲	۳۵۳	۳۶۳	۳۵۱	۳۲۶	۳۰۲	۲۹۰	۲۸۵	۲۸۵	۲۸۵	۲۹۸	۳۲۳
حداقل مطلق	۲۲۱	۲۲۴	۲۴۷	۲۵۶	۲۵۰	۲۶۱	۲۶۰	۲۵۷	۲۴۶	۲۲۸	۲۱۶	۲۲۰
حداکثر مطلق	۴۳۳	۴۳۳	۴۵۴	۴۰۴	۳۸۸	۳۴۵	۳۰۹	۳۱۰	۳۰۶	۳۰۱	۳۳۲	۳۹۰

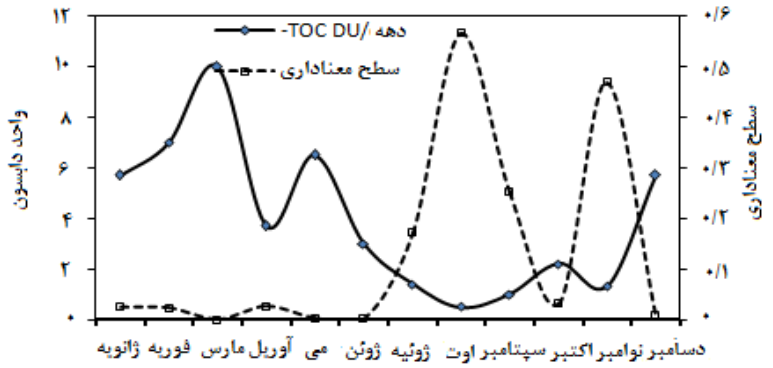


شکل۴-۱۲: مقادیر تغییرات ستون کلی ازن روی ایستگاه اصفهان برای دوره (۲۰۱۱-۱۹۷۸)، نوسانات سالانه (منحنی همراه با دایره)، خطوط مستقیم بدون بریدگی (متوسط دراز مدت تمامی سالها و دو دوره مجزای اول و دوم)، روند درازمدت برای دوره ۳۴ ساله (نقطه چین) و روندهای کوتاه مدت دو دوره (۱۹۹۴-۱۹۷۸ و ۲۰۱۱-۱۹۹۶) (خطوط بریده بزرگ)(Mousavi et al., 2014).

در کل استفاده از منابع این داده‌ها از دو ابزار اندازه‌گیری TOC شامل TOMS[1] و OMI[2] (دوره‌های ۲۰۰۴-۱۹۷۸و ۲۰۱۱-۲۰۰۵) جهت تحلیل سری زمانی تغییرات بهره گرفته شده است. همان گونه که در بالا نیز اشاره شد در لایه استراتوسفر پایینی (km ۲۵-۱۵) روی عرض‌های متوسط بعد از روند کاهشی درازمدت ازن (۱۹۹۵-۱۹۸۰) از آغاز سال ۲۰۰۰ میلادی ضخامت لایه ازن در همین ارتفاع ثابت مانده است. اما با توجه به تحلیل رگرسیون خطی در طول دوره مورد بررسی، میزان ازن بر هر دهه حدود ۴ دابسون (۱/۴ درصد) روی سطح منطقه کاهش نشان داده که همین نرخ با تمرکز در هر کدام از ماه‌های سال از تنوع چشمگیری برخوردار بوده است.

شکل ۴-۱۳ روند کاهش ازن در هریک از ماه‌های سال طی دوره مورد بررسی را نشان می‌دهد. مقادیر به دابسون در هر ده سال محاسبه شده که به همراه سطح معنی‌داری آن مشخص می‌شود. همانگونه که در شکل دیده می‌شود در بعضی از ماهها (فصول زمستان و بهار) شدت کاهش چشمگیرتر(۲/۲٪ بر هر دهه) و در ماههای دیگر (فصول تابستان و پاییز) بسیار ناچیز (۰/۵٪ بر هر دهه) و بدون معنی‌داری آماری است. ماه مارس حدواسط فصول زمستان و بهار بیشترین مقدار کاهش را به خود اختصاص داده (۳/۲٪ بر هر دهه) و در مقابل ماه اوت کمترین نرخ را داشته است.

[1] Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)
[2] Ozone Monitoring Instrument (OMI)

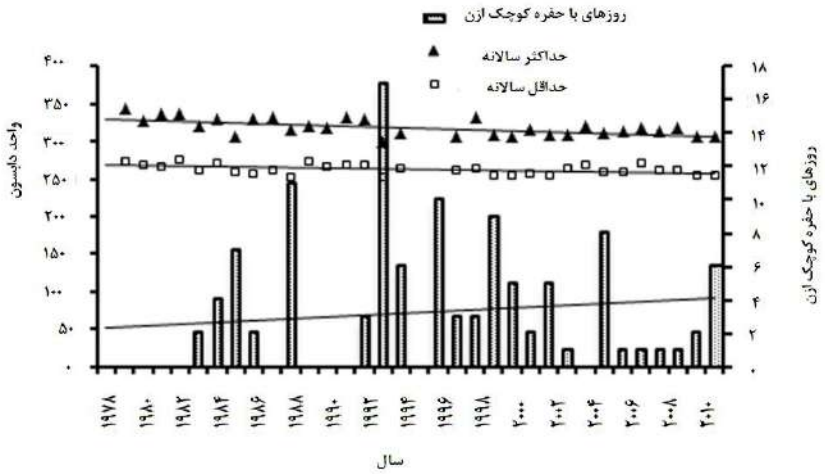


شکل۴-۱۳: نرخ کاهش ازن به دابسون بر هر دهه روی اصفهان، فلات مرکزی ایران (محور سمت راست) و سطح معنی‌داری تغییرات ازن (محور سمت چپ)(Mousavi et al., 2014)

متوسط سالانه حداکثر و حداقل ازن و تعداد وقوع رخداد LOEs[1] همراه با تغییرات روند دراز مدت در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است. در اولین نگاه روی روند تغییرات می‌توان به افزایشی بودن رخداد حادثه‌های حفره کوچک ازن و شیب کاهشی مقادیر متوسط حداقل و حداکثر اشاره نمود. هر چند در تحلیل روند رخداد حفره‌های کوچک ازن روی فلات مرکزی ایران معنی‌داری قابل قبولی در سطح ۹۵٪ از خود نشان نداده است اما دو شیب روند کاهشی حداکثر و حداقل ستون کلی ازن از سطح معنی‌داری ۹۵٪ برخوردار بوده‌اند. بیشترین همبستگی منفی در این مطالعه روی نواحی جنوب‌غربی اروپا متمرکز شده که با حرکت به سمت شرق، روی ایران شدت این رابطه به‌تدریج تضعیف شده است. بیشترین رخداد مشاهده شده LOEs در شکل مربوط به سال ۱۹۹۳ بوده است. کرزسین به این مسأله اشاره داشته که به احتمال زیاد شدیدترین کاهش ازن در سالهای ۱۹۹۳-۱۹۹۲ با انفجار آتشفشان کوه پیناتوبو[2] فیلیپین در ۱۵ ژوئن ۱۹۹۱ (دومین آتشفشان بزرگ در قرن بیستم) و تزریق بیش از ۲۵۰ مگاتن گاز (۱۵ تا ۳۰ مگاتن SO2) درون اتمسفر قطب شمال و تشدید کاهش شیمیایی ازن و فرایندهای گردشی جو بالا ارتباط داشته اس(Krzy´scin, 2002) . در همین رابطه می‌توان مشاهده نمود بیشتر تمرکز رخدادهای حادثه تا ۱۳ مورد (۷۳٪) در تابستان سال ۱۹۹۳به وقوع پیوسته است. در مجموع از سال ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷ که سطح تراز ازن نیز از لحاظ مقدار روی قطب شمال در مقادیر پایین‌تر قرار داشته است (حدود ۳۳۰ دابسون در بهار)، ۳۲ رخداد حفره کوچک ازن از بین ۴۷ حادثه مشاهده شده در فصل تابستان در ماههای اوت و سپتامبر به وقوع پیوسته است. تمرکز رخداد LOEs در این فصل و دوره مورد بررسی بیانگر نقش کاهش شیمیایی ازن قطب شمال در شکل‌گیری حوادث فوق روی سایر نواحی عرض‌های پایین روی فلات مرکزی ایران بوده است. اما بعد از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ ما تنها شاهد یک حادثه تابستانه در ۲۴ اوت ۲۰۰۱ بوده‌ایم و بیشتر رویدادها به ترتیب مربوط به فصول پاییز (۲۱ مورد)، زمستان (هفت مورد) و بهار (چهار مورد) بوده است. با مشاهده دقیق روی همین تصویر می‌توان دریافت دامنه اختلاف بین مقادیر حداقل و حداکثر

[1] low-ozone episodes
[2] Pinatubo

ستون ازن روند کاهشی داشته که سهم قابل توجه‌ای از آن به مقادیر حداکثری مربوط می‌شود. همچنین با تحلیل روند انجام گرفته در بخش قبلی بیشتر این کاهش اختصاص به اواخر فصل زمستان و بهار داشته است.

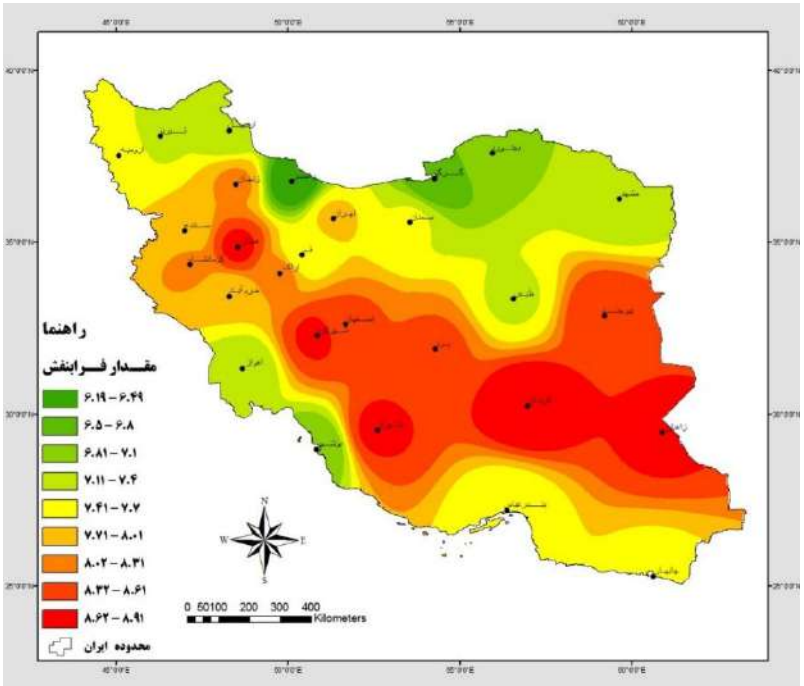


شکل۴-۱۴: متوسط حداکثر و حداقل سالانه ازن و تعداد وقوع رخداد LOEs همراه با تغییر روند دراز مدت (سال ۱۹۹۵ داده‌های ماهواره‌ای ازن وجود نداشته است) (Mousavi et al., 2014)

برای ارزیابی میزان اثر تابش فرابنفش از شاخص ویژه‌ای استفاده می‌شود. شاخص فرابنفش (UVI) یک مقداری است که شدت اشعه UV را در محل و منطقه مورد نظر مشخص می‌کند. این شاخص میزانی است برای تشعشعات مخرب پوست که میزان تابش فرابنفش خورشیدی را در سطح زمین توصیف می‌کند. بر اساس این شاخص غلظت UV در یک مقیاس ۱ تا ۱۱+ تقسیم بندی می‌شود. یعنی هرچه میزان این شاخص بیشتر شود، قدرت تخریب پوست و چشم بیشتر بوده و زمان کمتری برای تخریب لازم است. مقدار این شاخص در زمآنهای مختلف روز متفاوت است ولی در گزارش شاخص، تأکید بر حداکثر روزانه شاخص می‌باشد که در ۴ ساعت پیرامون ظهر در هر محل اتفاق می‌افتد و اغلب در فاصله ظهر تا ساعت ۲ بعد از ظهر است. شکل۴-۱۵ طبقه بندی استاندارد شاخص جهانی UV را نشان می‌دهد.

شکل۴- ۱۵: طبقه‌بندی جهانی شاخص تابش فرابنفش خورشیدی

شکل ۴-۱۶ میانگین ده ساله تابش فرابنفش در ماه اوت (مرداد) را نشان می‌دهد. همانطوری که از این نقشه بر می‌آید کمترین میزان تابش فرابنفش در این ماه عدد ۶/۱۹ و مربوط به قسمت‌های شمالی، جنوب و جنوب غرب کشور و بیشترین میزان آن ۸/۹۱ و مربوط به نقاط مرکزی و زاگرس مرکزی می‌باشد که با توجه به تقسیم بندی میزان شاخص تابش فرابنفش به ترتیب مشخصه‌های خطر زیاد تا خطر بسیار زیاد را برای این نقاط در بر دارد. منطقه تابشی که در این نقشه دیده می‌شود شامل زاگرس جنوبی، دشت لوت، چاله جاز موزیان و ارتفاعات بشاگرد می‌باشد اما در توضیح این پدیده باید گفت که در این مناطق، اثر دریاها بسیار کمتر بوده و ارتفاع از سطح دریا کم، عرض جغرافیایی پایین و همچنین بیشتر اوقات اسمان صاف است. در نتیجه، بالاترین مقدار انرژی تابشی روزانه را دریافت می‌کنند. همچنین تشکیل بخار آب در سواحل شمالی و جنوبی تا حدی توانسته است میزان تابش تابش فرابنفش را تعدیل ببخشند.



شکل۴-۱۶: متوسط تابش فرابنفش مرداد ماه (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰) (فرج زاده و همکاران، ۱۳۹۳)

متأسفانه اطلاعات اندکی در خصوص میزان اثر و پیامدهای تخریب لایه ازن و افزایش ورود تابش‌های فرابنفش خورشیدی در ایران وجود دارد و این مطالعات محدود به مقالاتی است که در این زمینه انتشار یافته است. مطالعه میرزایی و همکاران (۱۳۹۳) در مورد میزان و روند سرطان پوست در شهر تهران مطابق جدول ۴-۶ نشان می‌دهد که میزان بروز سرطان از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ در بین مردان حدود سه برابر

افزایش یافته است و از حدود ۶۰۸ مورد در سال ۱۳۸۳ به ۱۵۱۴ مورد در سال ۱۳۸۷ در بین مردان و از حدود ۳۵۵ مورد در سال ۱۳۸۳ به ۸۱۶ مورد در سال ۱۳۸۷ در بین زنان رسیده است. به نظر این نویسندگان مهمترین عامل خطرساز در بروز این سرطان، اشعه فرابنفش خورشیدی بوده است.

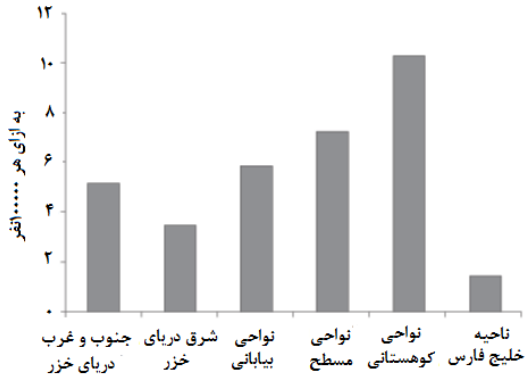
جدول۴-۶: میزان بروز و فروانی سرطان پوست طی سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ در استان تهران به تفکیک سال و جنس(میرزایی و همکاران، ۱۳۹۳)

سال	میزان بروز به‌ازای ۱۰۰،۰۰۰ نفر جمعیت		میزان بروز خام		میزان بروز تطبیق‌یافته (استانداردشده) براساس سن	
	مرد	زن	مرد	زن	مرد	زن
۱۳۸۳	۶۰۸ (۱۵/۷۸)	۳۵۵ (۱۰/۸۴)	۹/۶۱	۶/۲۱	۱۱/۵۲	۸/۹۹
۱۳۸۴	۷۷۰ (۱۶/۸۹)	۴۱۳ (۱۰/۴۲)	۱۲/۲۲	۶/۹۱	۱۶/۳۳	۱۰/۱۷
۱۳۸۵	۹۴۹ (۱۶/۱۹)	۵۳۷ (۱۱/۳۰)	۱۳/۸۸	۸/۳۷	۱۸/۶۷	۱۲/۰۶
۱۳۸۶	۹۶۶ (۱۸/۴۴)	۵۰۱ (۱۰/۷۸)	۱۴/۱۳	۷/۷۲	۱۸/۷۲	۱۱/۰۲
۱۳۸۷	۱۵۱۴ (۱۴/۴۵)	۸۱۶ (۹/۴۴)	۲۲/۱۴	۱۲/۵۷	۲۸/۱۶	۱۸/۰۳

مطالعه حیدری و نجفی (۲۰۱۳) در مورد بروز سرطان پوست در شش ناحیه جغرافیایی کشور (جدول ۴-۷ و شکل ۴-۱۷) نشان می‌دهد که بیشترین میزان سرطان در مناطق کوهستانی کشور مشاهده می‌گردد که با نظریه بیشتر بودن تابش ماوراءبنفش خورشیدی در این مناطق انطباق دارد.

جدول۴-۷: روند تغییرات سالانه سرطان پوست در شش ناحیه جغرافیایی کشور به تفکیک جنسیت (Heidari and Najafi,2013).

ناحیه		تعداد رخداد به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر(سطح اطمینان ۹۵درصد)							
		۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	شیب	مقادیر P
جنوب و غرب دریای خزر	مرد	(۲/۴-۳/۹)۳/۲	(۰/۹-۱/۹)۱/۴	(۳/۲-۴/۸)۴	(۵/۵-۷/۸)۶/۵	(۸/۷-۱۱/۳)۱۰	(۹/۱-۱۱/۷)۱۰/۴	۰/۳	<۰/۰۰۱
	زن	(۱/۴-۲/۶)۲	(۰/۷-۱/۶)۱/۱	(۲/۲-۳/۶)۲/۹	(۴/۵-۶/۶)۵/۵	(۶-۸/۲)۷/۱	(۶/۴-۸/۶)۷/۵	۰/۳۳	۰/۰۰۵
	مجموع	(۲/۱-۳/۱)۲/۶	(۰/۹-۱/۶)۱/۳	(۲/۹-۴)۳/۴	(۵/۳-۶/۷)۶	(۷/۷-۹/۴)۸/۶	(۹/۱-۹/۸)۸/۹	۰/۳	۰/۰۰۲
شرق دریای خزر	مرد	(۰/۱-۱/۷)۰/۹	(۴-۸/۲)۶/۱	(۰/۵-۲/۸)۱/۶	(۲/۶-۶/۵)۴/۶	(۳/۹-۸/۳)۶/۱	(۴/۳-۸/۹)۶/۶	۰/۲	۰/۰۷
	زن	(۰/۱-۱/۷)۱/۱	(۲/۷-۶/۵)۴/۶	(۰/۱-۱)۰/۵	(۰/۵-۲/۶)۱/۶	(۰/۹-۳/۴) ۲/۱	(۳/۶-۷/۸)۵/۷	۰/۱۸	۰/۲
	مجموع	(۰/۴-۱/۶)۱	(۴-۶/۹)۵/۴	(۰/۴-۱/۷)۱	(۲-۴/۲)۳/۱	(۲/۸-۵/۴)۴/۱	(۴/۶-۷/۷)۶/۱	۰/۲	۰/۱
نواحی بیابانی	مرد	(۶/۴-۷/۸)۷/۱	(۲/۹-۳/۸)۳/۳	(۴/۲-۵/۳)۴/۸	(۴/۷-۵/۲)۴/۷	(۶/۸-۸/۲)۷/۵	(۱۴-۱۵/۹)۱۵	۰/۱	۰/۰۲
	زن	(۳/۹-۵)۴/۵	(۲-۲/۸)۲/۴	(۲/۸-۳/۷)۳/۳	(۳/۸-۴/۳)۴/۸	(۴/۷-۵/۸)۵/۳	(۹-۱۰/۶)۹/۸	۰/۲	۰/۰۴
	مجموع	(۵/۳-۶/۲)۵/۸	(۲/۶-۳/۲)۲/۹	(۳/۷-۴/۴)۴	(۳/۸-۴/۶)۴/۲	(۵/۹-۶/۸)۶/۴	(۱۱/۴-۱۳)۱۲/۴	۰/۲	۰/۰۱
نواحی مسطح	مرد	(۱/۹-۲/۴)۲/۳	(۳/۸-۴/۸) ۴/۳	(۴/۴-۴/۴)۳/۹	(۹/۷-۱۱/۴)۱۰/۶	(۱۲/۳-۱۴/۲)۱۳/۳	(۱۷/۶-۱۹/۷)۱۸/۷	۰/۴	<۰/۰۰۱
	زن	(۱/۶-۴/۲)۲	(۲/۹-۳/۹)۳/۴	(۲/۲-۳/۱)۲/۷	(۵/۴-۶/۷)۶/۱	(۷/۸-۹/۳)۸/۵	(۱۰/۶-۱۲/۳)۱۱/۵	۰/۳	۰/۰۰۷
	مجموع	(۱/۹-۲/۴)۲/۲	(۳/۵-۴/۲)۳/۹	(۲/۹-۳/۶)۳/۳	(۷/۸-۸/۹)۸/۳	(۹/۳-۱۱/۵)۱۰/۹	(۱۴/۴-۱۵/۸)۱۵/۱	۰/۳	<۰/۰۰۱
نواحی کوهستانی	مرد	(۴/۸-۶/۲)۵/۵	(۷/۹-۹/۷)۸/۸	(۹/۷-۱۱/۷)۱۰/۶	(۱۱/۶-۱۳/۸)۱۲/۷	(۱۵/۸-۱۸/۲)۱۷	(۱۸/۴-۲۱)۱۹/۷	۰/۲	۰/۰۰۱
	زن	(۳-۴/۱)۳/۵	(۵/۴-۶/۹)۶/۱	(۶/۹-۸/۶)۷/۸	(۸/۲-۹/۱)۸/۲	(۱۰-۱۲)۱۱	(۱۱/۴-۱۳/۵)۱۲/۵	۰/۲	۰/۰۱
	مجموع	(۴/۱-۵)۴/۵	(۶/۹-۸/۱)۷/۵	(۸/۶-۹/۹)۹/۲	(۹/۹-۱۱/۲)۱۰/۵	(۱۳/۱-۱۴/۷)۱۴	(۱۴/۹-۱۶/۶)۱۶/۱	۰/۱۸	۰/۰۲
نواحی اطراف خلیج فارس	مرد	(۰/۰۱-۱)۰/۰۴	(۰/۲-۰/۷)۰/۵	(۰/۵-۱/۴)۱	(۱/۳-۲/۶)۲	(۱/۷-۳/۱)۲/۴	(۲/۲-۳/۸)۳	۰/۴۷	۰/۰۲
	زن	(۰/۰۱-۱)۰/۰۵	(۰/۱-۰/۷)۰/۴	(۰/۴-۱/۴)۰/۹	(۱/۳-۲/۶)۱/۹	(۱/۱-۲/۳)۱/۷	(۳/۹-۶/۹)۲/۹	۰/۵۳	۰/۰۲
	مجموع	(۰/۰۱-۱)۰/۰۵	(۰/۲-۰/۶)۰/۴	(۰/۲-۰/۶)۰/۴	(۱/۵-۲/۴)۱/۹	(۱/۶-۲/۵) ۲/۱	(۲/۴-۳/۵)۳	۰/۴۷	۰/۰۳
کل نواحی	مرد	(۴/۳-۴/۸)۴/۵	(۴-۴/۵)۴/۳	(۷/۳-۷/۹)۷/۶	(۱۱/۵-۱۲/۳)۱۱/۹	(۱۳/۱-۱۴)۱۳/۶	(۱۵/۶-۱۶/۵)۱۶	۰/۲۷	<۰/۰۰۱
	زن	(۲/۸-۳/۲)۳	(۳-۳/۵)۳/۲	(۴/۸-۵/۳)۵	(۷/۲-۷/۸)۷/۵	(۸/۲-۸/۹)۸/۵	(۹/۴-۱۰/۱)۹/۸	۰/۲۵	۰/۰۱
	مجموع	(۳/۶-۳/۹)۳/۸	(۳/۶-۳/۶)۳/۸	(۶/۱-۶/۵)۶/۳	(۹/۵-۱۰)۹/۸	(۱۰/۸-۱۱/۴)۱۱/۱	(۱۲/۷-۱۳/۲)۱۳	۰/۲۶	۰/۰۰۲



شکل۴-۱۷: فراوانی سرطان پوست در هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در شش ناحیه جغرافیایی کشور در طی سالهای ۲۰۰۰تا ۲۰۰۵ (Heidari and Najafi, 2013)

در مجموع می‌توان گفت در کشور ایران نیز سرطان پوست شایع‌ترین نوع سرطان‌ها می‌باشد و در بعضی شهرها حدود نصف سرطان‌های مردان را نوع پوست به خود اختصاص داده است. گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد شیوع سرطان پوست در کشور ایران میان مردان و زنان به ترتیب از رتبه‌های اول و دوم برخوردار می‌باشد.

۴-۱۰- اثرهای بیماری‌های منتقله توسط ناقلین ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور

بیماری‌های عفونی مختلفی در سراسر جهان انتشارمی یابد که بخشی از آنها نتیجه انتقال بیماری توسط پشه‌ها و کنه‌ها است. همه شرایط زیست این ناقلین توسط عامل آب و هوا تحت تأثیر قرار می‌گیرد. آب و هوا با تأثیر خود می‌تواند ضمن افزایش ناقلین، توزیع جغرافیایی آنها را نیز تحت تأثیر قرار دهد. برای مثال در مناطق کوهستانی به دلیل برودت هوا امکان فعالیت حشراتی همچون مالاریا وجود نداشت و یا تعداد بسیار کمی بود. تاثیر افزایش دما می‌تواند شرایط مطلوبتری را برای فعالیت این حشره فراهم نماید و از این‌رو انتظار می‌رود در این مناطق بیماری شیوع بیشتری را داشته باشد. علاوه بر تأثیر دما برای فعالیت انواع ناقلین، رخداد بارش‌های اتفاقی هم می‌تواند شرایط زیست بهتری را برای رشد و تکثیر انواع لاروهای پشه را در برخی مناطق فراهم نماید.

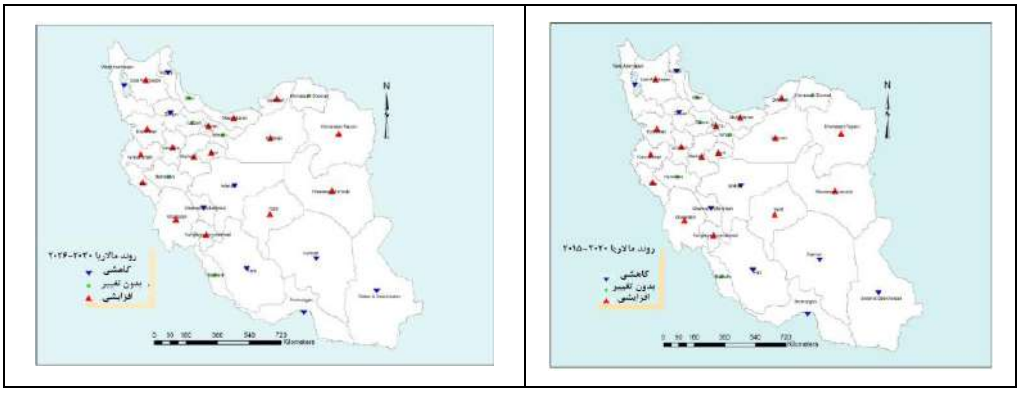
بیماری‌های غیر واگیر مهمترین علت مرگ و میر در دنیا هستند. حدود ۴۴ درصد از مرگ و میرها در جهان ناشی از بیماری‌های غیر واگیر است و این آمار به حدود ۴۸ درصد در کشورهای کمتر توسعه یافته می‌رسد.

۱۹ عامل مرگ در دنیا شناخته شده است که از جمله آنها می‌توان به فشار خون، مصرف دخانیات، چاقی و ... اشاره کرد. ۱۰ عامل از این تعداد مربوط به تغذیه است یعنی بیش از ۵۰ درصد از عوامل مرگ و میرها ریشه در تغذیه دارد. در ایران در سال ۱۳۸۰ حدود ۵۸ درصد از مرگ‌ها مربوط به

بیماری‌های غیر واگیر بود و این آمار در سال ۹۰ به حدود ۷۴ درصد رسیده است. همچنین مرگ و میر ناشی از بیماری‌های واگیر در سال ۸۰ حدود ۲۶ درصد بود که با افزایش سطح آگاهی و بهداشت در دهه ۹۰ به ۱۱ درصد رسیده است. در ایران ۷۶ درصد مرگ‌ها به دلیل بیماری‌های غیر واگیر است. ۱۰ عامل اصلی مرگ در ایران وجود دارد که مورد اول آن الگوی نامناسب و غذای ناسالم است. ۵۸ درصد مردم ایران اضافه وزن دارند که این آمار در زنان حدود ۶۲ درصد و در مردان حدود ۵۷ درصد است. البته چاقی شکمی در مردان بالاتر است که از عوامل اصلی بیماری‌های قلبی و عروقی است.

در افق ۲۰۵۰، دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا برای بررسی آینده بیماریهای منتقله توسط ناقلین و منتقله توسط آب و غذا، سه دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۵ ، ۲۰۲۵ -۲۰۲۱ و۲۰۲۶ تا ۲۰۳۰ را با استفاده از مدلهای رگرسیون غیرخطی و تنها با در نظر گرفتن تغییرات دما پیش‌بینی نموده است که نتایج تفاوت‌هایی را برای سه دوره نمایش می‌دهند (احمد نژاد، ۱۳۹۳).

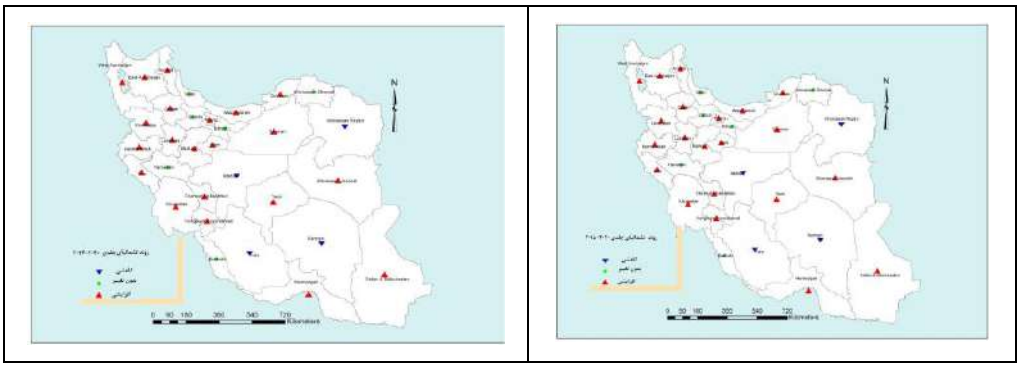
در خصوص مالاریا نتایج پیش‌بینی‌ها با در نظر گرفتن تغییرات دما و با استفاده از مدلهای رگرسیون غیر خطی طی بازه‌های زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۵، و ۲۰۲۶ تا ۲۰۳۰ (شکل ۴-۱۸) نشان‌دهنده نتایج متفاوتی است که در نقشه ارائه شده است. تعداد کل موارد رخداد مالاریا ۱۷۷۴۹ مورد در سال پایه(سال۲۰۰۰) در کشور می‌باشد. بیشترین تعداد موارد، از استانهای سیستان و بلوچستان و هرمزگان به ترتیب با تعداد ۷۱۷۹ و ۴۴۶۱ می‌باشد. افزایش بیماری در اکثر نقاط کشور و کاهش آن در استانهای ذکر شده به گونه‌ای خواهد بود که تعداد مبتلایان به این بیماری از ۱۷۷۴۹ نفر در سال ۲۰۰۰ به ۲۰۰۰۰ نفر تا سال ۲۰۳۰ خواهد رسید.



شکل۴-۱۸: روند ابتلا به مالاریا طی دوره آینده: ۲۰۱۵تا۲۰۲۰(سمت راست) و ۲۰۲۶ تا ۲۰۳۰ (سمت چپ) (احمد نژاد، ۱۳۹۳)

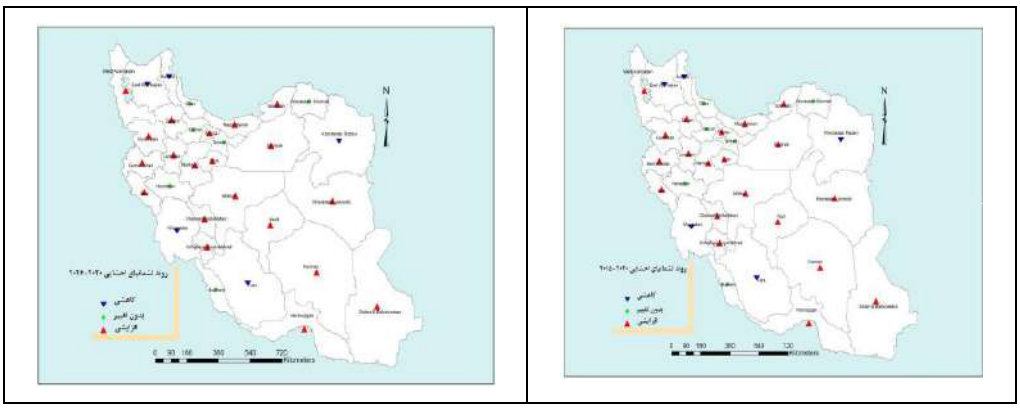
تعداد کل موارد رخداد لشمانیای جلدی ۱۴۱۱۷ مورد در سال پایه بود، نتایج در مورد استانهای انتخاب شده نشان می‌دهد که بیشترین تعداد موارد از خراسان رضوی و فارس با تعداد ۴۸۴۸ و ۳۳۵۷ گزارش شده است با توجه به دخالت دادن دما و مدل‌های رگرسیون غیر خطی تعداد این مبتلایان

۱۴۱۱۷ نفر در سال ۲۰۰۰ به ۱۵۰۰۰ نفر تا سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت. شکل۴-۱۹ روند این بیماری را برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۶ تا ۲۰۳۰ نشان می‌دهد.



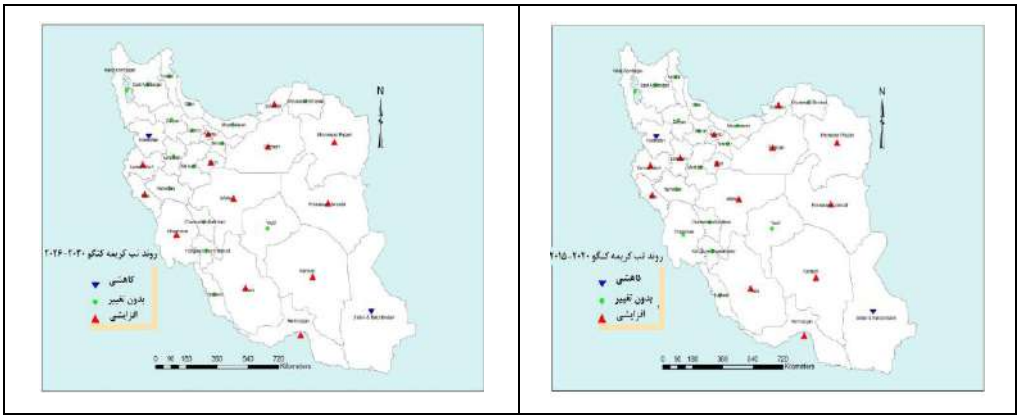
شکل۴-۱۹: روند ابتلا به لشمانیای جلدی طی دوره آینده: ۲۰۱۵تا۲۰۲۰ (سمت راست) و ۲۰۲۶تا۲۰۳۰(سمت چپ) (احمد نژاد، ۱۳۹۳)

تعداد کل موارد رخداد لیشمانیای احشایی ۵۰۱ مورد در سال پایه، در استانهای انتخاب شده بود. بیشترین تعداد موارد از خوزستان و اردبیل به ترتیب با تعداد ۱۸۳ و ۱۳۳ مورد گزارش شده است. با توجه به دخالت دادن دما و مدل‌های رگرسیون غیر خطی تا سال ۲۰۳۰ کل مبتلایان به ۵۰۰ نفر خواهند رسید. شکل ۴-۲۰ روند این بیماری را برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۶ تا ۲۰۳۰ نشان می‌دهد.



شکل۴-۲۰: روند ابتلا به لشمانیای احشایی طی دوره آینده: ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰(سمت راست) و ۲۰۲۶تا۲۰۳۰ (سمت چپ) (احمد نژاد، ۱۳۹۳)

در مورد تب کریمه کنگو، روند این بیماری در سه دوره ذکر شده با استفاده از مدلهای رگرسیونی نشان از افزایش و بعضا کاهش آن در برخی استانهای کشور دارد. تعداد کل موارد در دوره پایه ۲۲ نفر بوده است (شکل ۴-۲۱).



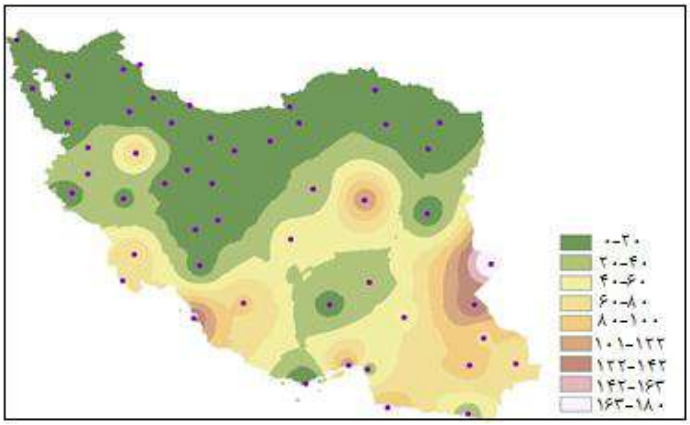
شکل۴-۲۱: روند ابتلا به تب کریمه کنگو طی دوره آینده: ۲۰۱۵تا۲۰۲۰(سمت راست) و ۲۰۲۶ تا۲۰۳۰(سمت چپ) (احمد نژاد، ۱۳۹۳)

۴-۱۱- اثرات آلودگی هوا ناشی از تغییرات آب و هوا بر سلامت کشور

بر مبنای مطالعات انجام شده حدود ۷۰ درصد از گازهای گلخانه‌ای که گفته می‌شود مسئولیت اصلی را برای گرمایش جهانی بر عهده دارند مربوط به استفاده از سوخت‌های فسیلی است که عمدتاً در سامانه‌های حمل و نقل و نیروگاهها صورت می‌گیرد. در کنار افزایش گازهای گلخانه‌ای، این گازها باعث آلودگی هوای شهرها نیز می‌شوند؛ مخصوصاً شهرهایی که در موقعیت توپوگرافی خاص قرار می‌گیرند و اصطلاحاً در آنها وارونگی دمایی صورت می‌گیرد از آلودگی بیشتری رنج می‌برند. علاوه بر این گرمایش جهانی و رخداد خشکسالی‌ها و شیوه‌های کشت نادرست باعث می‌شود چسبندگی بین ذرات خاک از بین رفته و آنها را در برابر جریان بادها برای حرکت مستعد سازد. همه این موضوعات باعث گردیده میزان آلودگی هوا در کشور از افزایش قابل توجهی برخوردار باشد. شاخص‌های مختلفی برای سنجش میزان آلودگی هوا در محیط‌های باز و بسته مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله مهمترین آنها می‌توان به میزان گاز دی اکسید کربن، انتشارات ذرات ویژه (particulate matter) با قطر ۲/۵ و ۱۰ میکرون اشاره نمود.

آلودگی هوا در ایران در دو حالت هوای آزاد و درون خانه‌ها قابل بررسی است. در شرایط هوای آزاد نیز می‌توان آلودگی هوا را هم به صورت نقطه‌ای و هم به صورت منطقه‌ای مطالعه نمود. در شرایط منطقه‌ای، آلودگی هوا ناشی از قرار گرفتن بخش عمده‌ای از مساحت کشور در مسیر سیستم جوی است که تحت عنوان توفانهای گرد و غبار از آن یاد می‌شود و در ایستگاههای سینوپتیک هواشناسی با کدهای مختلف هواشناسی طبقه‌بندی و در آمار دیده‌بانی ایستگاهها به فاصله سه ساعت ثبت می‌شود. در همین زمینه کدهای ۶، ۷ و ۹ بیانگر گرد و غبار معلق در هوا است که تحت تأثیر شرایط محلی در

پیرامون ایستگاه قابل مشاهده است، در حالی که کدهای ۳۰، ۳۱ و ۳۲ بیانگر توفان گرد و غبار ملایم است که خود را از یک منطقه دیگر به محدوده ایستگاه سنجش رسانده‌اند. کدهای ۳۳، ۳۴ و ۳۵ بیانگر توفان گرد و غبار شدیدی هستند که همانند گروه قبلی از منطقه دیگر به منطقه سنجش آمده‌اند. این گروه از توفان باعث کاهش قدرت دید شده و در مواردی آن را به زیر هزار متر می‌رسانند که آسیب‌های جدی را به سلامت افراد، گیاهان و ابنیه وارد می‌سازند. در ایستگاههای سینوپیتیک این روزهای تحت عنوان روزهای گرد و غباری ثبت می‌شوند. پوشش این نوع از توفانهای گرد و غبار منحصر به منطقه محدودی نبوده و ممکن است منطقه گسترده‌ای شامل چند استان را در بر بگیرند. شکل۴-۲۲ نشان‌دهنده توزیع جغرافیایی میانگین مجموع فراوانی کدهای نه گانه فوق‌الذکر در کشور است که بیانگر آن است که در مناطق شمالی کشور تعداد فروانی‌ها کمتر از ۲۰ روز بوده و در مناطق جنوب غربی و جنوب شرقی حتی به ۱۸۰ روز از سال یعنی در نیمی از روزهای سال می‌رسد(فرج زاده، ۱۳۹۲). هرچند که شکل فوق نشانگر تمامی کدها می‌باشد ولی آنچه دارای اهمیت بیشتری است تعداد روزهای همراه با توفانهای گرد و غبار ملایم و شدید است که آمار آن برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۴-۸ ارائه شده است. همانطور که در جدول زیر ملاحظه می‌گردد این ارقام برای زاهدان به ترتیب ۸۰۱ و ۱۲ روز در طی ۱۸ سال دوره آماری برای توفانهای ملایم و شدید می‌باشد. با توجه به موارد فوق تعداد روزهایی با توفانهای ملایم و شدید نیز با حداکثر فروانی در جنوبغرب و جنوب شرق کشور قابل مشاهده است که در زمان رخداد، چالش‌های اصلی را برای مناطق ایجاد می‌کند.

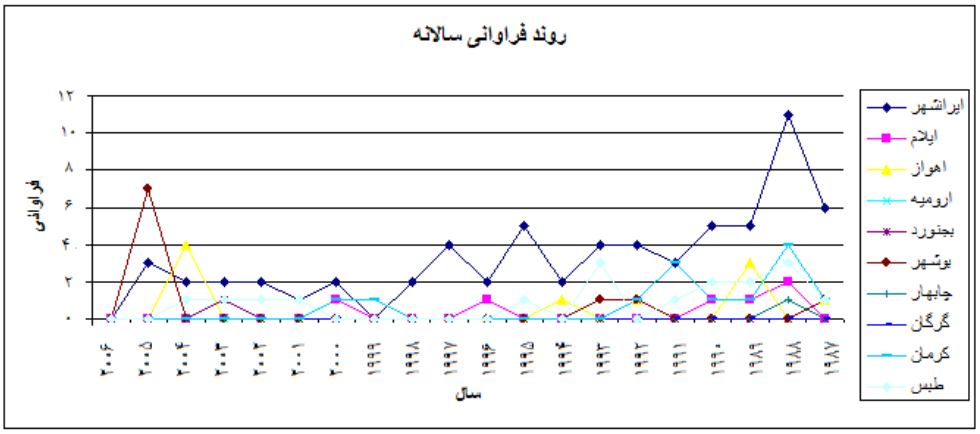


شکل۴- ۲۲: میانگین فراوانی روزهای گرد و غبار بر اساس کدهای نه گانه هواشناسی (فرج زاده، ۱۳۹۲)

جدول۴-۸: مجموع فراوانی سالانه برای کدهای توفانهای گرد و غبار ملایم و شدید طی دوره آماری(۲۰۰۶-۱۹۸۷)

نام ایستگاه	۳۲-۳۱-۳۰	۳۵-۳۴-۳۳	نام ایستگاه	۳۲-۳۱-۳۰	۳۵-۳۴-۳۳	نام ایستگاه	۳۲-۳۱-۳۰	۳۵-۳۴-۳۳
آبادان	۳	۱	آستارا	۰	۰	اهواز	۹	۱
اراک	۰	۰	اردبیل	۸	۲	اصفهان	۲	۰
ایلام	۰	۰	ایرانشهر	۵۶	۳	ارومیه	۰	۰
بم	۲	۳	بندرعباس	۴	۶	بوشهر	۱	۰
بیرجند	۱	۰	بجنورد	۲	۳	تبریز	۴	۱
تهران	۱	۰	تربت حیدریه	۰	۰	جاسک	۱	۰
چابهار	۱	۰	خرم آباد	۰	۰	خاش	۱۳	۲
خوربیابانک	۹	۰	رامسر	۱	۰	رامسر	۱	۰
زابل	۸۰۱	۱۲	زاهدان	۳۳	۱۶	زنجان	۰	۰
سراوان	۲	۰	سیرجان	۲	۰	سمنان	۱	۱
سنندج	۰	۰	سقز	۰	۰	سبزوار	۲	۰
شاهرود	۰	۰	شیراز	۰	۰	شهرکرد	۱	۰
طبس	۱۲	۳	قم	۸	۳	قزوین	۰	۰
کاشان	۰	۱	کرمانشاه	۰	۰	کرمان	۷	۶
گرگان	۰	۰	گرمسار	۲	۱	مشهد	۱	۲
میناب	۳	۰	ماکو	۱	۰	همدان	۰	۰
یزد	۲۳	۳	یاسوج	۱	۰	-	-	-

روند فراوانی سالانه توفانها (کدهای۰۹،۳۰،۳۱،۳۲،۳۳،۳۴،۳۵) در شکل ۴-۲۳ برای برخی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که روزهای همراه با توفانهای گرد و غبار در طی سالهای اخیر روند افزایشی به خود گرفته است. همان‌طور که در شکل ۴-۲۳ مشاهده می‌شود روند سالیانه توفانهای گردوخاک به این صورت است که سال ۱۹۸۸ با فراوانی ۲۱ روز توفانی در طی سال و سال ۲۰۰۶ با فراوانی صفر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین فراوانی در طی دوره آماری مورد مطالعه می‌باشند و ایستگاههای ایرانشهر با فراوانی ۶۶ روز توفانی و گرگان و ارومیه با فراوانی صفر نیز در بین ۱۰ ایستگاه انتخابی در کل دوره آماری به ترتیب دارای بیشترین و کمترین فراوانی‌ها می‌باشند.



شکل۴-۲۳: روند فراوانی سالانه توفانها (کدهای۳۴،۳۳،۳۲،۳۱،۳۰،۰۹و۳۵)طی دوره آماری(۲۰۰۶-۱۹۸۷) (فرج زاده، ۱۳۹۲)

علاوه بر پوشش منطقه‌ای که ذکر گردید شهرها به عنوان کانون‌های اصلی استقرار جمعیت به صورت نقطه‌ای آلودگی شدید هوا را تجربه می‌کنند که در این میان شهرهای اصلی با جمعیت زیاد و صنعتی شامل شهرهای تهران، تبریز، مشهد، اصفهان، اهواز و زاهدان کانون اصلی مطرح هستند که برخی از آنها به دلیل شرایط خاص توپوگرافی همانند تهران و تبریز از آلودگی به مراتب بیشتری رنج می‌برند. در شهرهای اصلی کشور در طی سالهای اخیر میزان آلودگی در مناطق مختلف شهر با استقرار ایستگاههای سنجش ثبت می‌شود که شامل ۶ نوع آلودگی منواکسید کربن، ازن، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد و ذرات معلق با قطر ۲/۵ و ۱۰ میکرون به صورت جداگانه می‌باشد. برای سنجش میزان خطرآمیز بودن این آلوده کننده‌ها از روش‌های استانداردی از طریق شاخص کیفیت هوا استفاده می‌شود که در پنج گروه مختلف با علائم هشدار دهنده و رنگ‌های مختلف قادر است اقدامات اجرایی لازم را تبیین نماید. برای نمونه مقادیر داده‌های میانگین و حداکثر هریک از آلاینده‌های فوق در جدول ۴-۹ برای شهر تهران ارائه شده است. بررسی ارقام جدول بیانگر این نکته است که وجود مقادیر آلاینده در تمامی سال و با مقادیر بالاتر از شرایط هوای سالم برای تنفس آدمها وجود دارد و جدول ۴-۱۰ نشان می‌دهد که تعداد روزهای پاک به صورت میانگین ۱۵ روز در سال است که در طی سالهای اخیر بنا به دلایل مختلف در حال کاهش می‌باشد. همین شرایط برای سایر شهرهای صنعتی و پرجمعیت کشور قابل مشاهده است که متأسفانه هنوز آمار متقنی برای آنها انتشار نیافته است ولی بر اساس اطلاعات رسانه‌های جمعی در برخی مواقع متأسفانه آمار پنجاه برابری ذرات با قطر ۲/۵ میکرون شرایط استاندارد برای شهرهای اهواز و زابل نیز گزارش می‌شود.

جدول۴-۹: میانگین و حداکثر آلاینده‌های مختلف برای شهر تهران بر اساس داده‌های اخذ شده از سازمان محیط زیست

سالها	PM2.5		PM10		SO2		NO2		O3		CO	
	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین
۱۳۸۷	-	-	۲۱۷	۷۲/۴	۹۷	۴۷/۸	۸۹	۳۴/۱	۱۱۶	۶۰/۰۳	۱۴۰	۵۲/۲
۱۳۸۸	-	-	۳۸۱	۶۴/۲	۹۷	۴۱/۰۸	۸۹	۲۷/۰۵	۱۳۰	۵۲	۱۴۰	۵۷/۳
۱۳۸۹	۱۷۷	۱۰۵/۷	۳۸۱	۶۵/۶	۹۷	۴۲/۰۲	۱۱۰	۴۷/۱	۱۳۰	۴۵/۹	۱۴۰	۵۲/۸
۱۳۹۰	۲۰۴	۹۰	۳۸۱	۵۲/۵	۹۷	۳۲	۱۱۰	۶۷/۵	۱۳۰	۵۲/۵	۱۴۰	۴۷
۱۳۹۱	۱۹۲	۸۲/۵	۲۰۱	۵۷/۵	۵۰	۳۰/۵	۷۸	۵۱	۷۰	۴۳	۶۵	۳۷/۵
۱۳۹۲	۱۹۲	۸۲	۲۰۱	۴۹	۵۰	۲۵/۵	۹۵	۵۰	۷۰	۳۶/۵	۷۶	۳۶
۱۳۹۳	۱۹۲	۶۳/۵	۲۰۱	۳۶/۵	۵۰	۲۳/۵	۹۷	۴۶/۵	۷۰	۲۹	۷۷	۳۶
۱۳۹۴	۱۹۲	۸۸/۹	۲۵۲	۵۸,۲	۵۰	۲۳/۶	۹۷	۵۹/۸	۷۴	۳۳/۳	۷۷	۳۶
۱۳۹۵	۱۵۹	۵۵/۵	۱۳۵	۳۸	۴۰	۱۷	۱۰۴	۵۳/۵	۱۲۸	۲۷	۸۰	۳۶
۱۳۹۶	۱۷۷	۷۵	۱۵۱	۴۶/۵	۴۰	۱۵/۵	۱۰۶	۶۱	۱۲۸	۳۹/۵	۸۱	۳۶

جدول۴-۱۰: تعداد روزهای با شرایط هوای مختلف برای شهر تهران بر اساس داده‌های اخذ شده از سازمان محیط زیست

سالها	پاک	سالم	ناسالم برای گروه حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
۱۳۸۷	۱۳	۲۹۳	۵۷	۲	۱	۰
۱۳۸۸	۳۲	۲۹۱	۳۶	۴	۱	۱
۱۳۸۹	۷۸	۸۳۱	۱۴۹	۳۲	۳	۲
۱۳۹۰	۸	۱۳۹	۲۰۸	۷	۳	۰
۱۳۹۱	۳	۲۱۶	۱۳۴	۱۲	۱	۰
۱۳۹۲	۳	۴۱۸	۲۸۲	۲۴	۱	۰
۱۳۹۳	۱۶	۲۳۳	۱۱۲	۴	۰	۰
۱۳۹۴	۲۱	۲۳۳	۱۰۵	۵	۱	۰
۱۳۹۵	۱۶	۲۶۰	۸۰	۹	۰	۰
۱۳۹۶	۱۴	۲۴۳	۱۰۰	۸	۰	۰

جدول ۴-۱۱ بیانگر میانگین سالانه ذرات معلق برای شهرهای مهم کشور بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی و بر پایه داده‌های محیط زیست کشور می‌باشد که بر اساس استاندارد ملی ۲۰ برای

ذرات با قطر ۱۰ و استاندارد ملی ۱۰ برای ذرات با قطر ۲/۵، هیچکدام از شهرهای ذکر شده در جدول از هوای سالمی از نظر ذرات گرد و غبار برخوردار نیستند و شهرهایی مانند اهواز و زابل با اعداد ۲۳۱ و ۵۲۷ به ترتیب حدود دو و بیست و پنج برابر حد مجاز دارای ذرات معلق هستند.

جدول۴-۱۱: میانگین سالانه ذرات معلق ۱۰ و ۲/۵ میکرون برای شهرهای مهم کشور (URL 4-1)

نام شهر	میانگین سالانه PM 2.5	میانگین سالانه PM 10	نام شهر	میانگین سالانه PM 2.5	میانگین سالانه PM 10
اهواز	۹۵	۲۳۱	سنندج	۴۱	۱۰۰
اراک	۷	۱۸	ساری	۳۷	۹۰
بجنورد	۳۲	۷۸	سمنان	۲۳	۵۷
بوشهر	۱۰۵	۲۵۵	شهریار	۳۷	۹۱
همدان	۴۷	۱۱۴	شیراز	۴۵	۱۰۸
اصفهان	۴۶	۱۱۱	تبریز	۴۰	۶۸
کرمان	۱۹	۴۷	تهران	۳۲	۷۷
کرمانشاه	۴۳	۱۳۰	ارومیه	۳۷	۹۱
مشهد	۳۲	۷۸	ورامین	۴۲	۱۰۲
پاکدشت	۴۷	۱۱۳	یاسوج	۴۵	۱۰۹
قزوین	۱۸	۴۴	زابل	۲۱۷	۵۲۷
رشت	۲۱	۵۰	زنجان	۳۱	۷۴
رباط کریم	۴۳	۱۰۵	-	-	-

بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی بیش از سه میلیون نفر سالیانه در اثر تنفس در فضای شهری در دنیا جان خود را از دست می‌دهند. این مسئله به حدی جدی است که به گفته این سازمان، اگر فکری برای کاهش این روند نشود، این رقم تا سال ۲۰۵۰ میلادی دو برابر می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که میزان آلودگی هوا در شهرها هشت درصد افزایش یافته است.

بر اساس گزارش موسسه بین‌المللی تحقیقات سرطان، وابسته به سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۳، آلودگی هوا و ذرات معلق در هوا به‌عنوان ترکیبات سرطانزا برای انسان (گروه یک) طبقه‌بندی شده است. چهار گروه آسیب‌پذیر که بیشتر در معرض آثار و تبعات ناشی از آلودگی هوا هستند عبارت‌اند از: زنان باردار، کودکان، سالمندان و ورزشکاران. بر اساس مطالعات انجام شده، مشخص می‌شود که آلودگی و آلاینده‌ها از دوران جنینی تا سالمندی تهدیدی جدی برای سلامتی محسوب می‌شوند.

عوارض آلاینده‌ها بر دستگاه‌های مختلف بدن به اختصار به این شرح است:

بیماری‌های دستگاه تنفس: شواهد بسیاری در ارتباط با تشدید آسم، بیماری انسدادی مزمن تنفسی(COPD[1]) ، سرطان ریه و کاهش عملکرد ریوی با آلودگی هوا وجود دارد ولی شواهد در زمینه ارتباط آلودگی هوا و بروز آسم و COPD کم و ناپایدار است.

بیماری‌های قلبی- عروقی: مواجهه با آلودگی هوا را می‌توان به‌عنوان یک ریسک فاکتور درحال ظهور جدی برای ایجاد و توسعه بیماری‌های قلبی- عروقی دانست. مواجهه کوتاه‌مدت با آلاینده‌های هوا باعث بیماری‌های حاد قلبی و فشارخون می‌شود.

بیماری‌های دستگاه عصبی: آلودگی هوا موجب افزایش شیوع بیماری نورودژنراتیو مثل آلزایمر، پارکینسون و افزایش احتمال ابتلا به MS[2] می‌شود. مرگ ناگهانی در بیماران مبتلا به صرع افزایش می‌یابد. همچنین باعث اختلالات تکاملی و افزایش احتمال ابتلا به اوتیسم بر اثر مواجهه مادران باردار و کودکان می‌شود.

بیماری‌های پوستی: آلودگی هوا می‌تواند باعث پیری زودرس پوست، کاهش میکروفلور نرمال پوست، افزایش شیوع درماتیت آتوپیک و شدت یافتن کهیر شود.

بیماری‌های دستگاه گوارش: آلودگی هوا و آلاینده‌های مرتبط با آن مانند PM، ازن، اکسیدهای نیتروژن و فلزات سنگین و برخی از آلاینده‌های آلی در بروز بیماری‌ها و به‌ویژه بیماری‌های التهابی مرتبط با دستگاه گوارش مانند فیبروز کبدی، آپاندیسیت و سرطآنهای دستگاه گوارش نقش دارند.

بیماری‌های چشم و بینی: آلودگی هوا التهاب مخاط بینی و سینوس‌ها را تشدید می‌کند و در مزمن شدن عفونت سینوس‌ها و بینی نقش دارد. شیوع رینیت آلرژی به‌طور چشمگیری با سطوح غلظت‌های NO، SO2 و CO در هوای تنفسی ارتباط دارد.

خسارات آلودگی هوا بر گیاهان و محصولات کشاورزی پدیده‌ای است که کمتر به آن به‌طور جدی توجه شده و کمتر تحقیقی در کشور به بررسی اعداد و ارقام ناشی از خسارات اقتصادی و زیست‌محیطی پرداخته است. طی ۲۵ سال گذشته تحقیقاتی درباره خسارت ازن بر محصولات کشاورزی به‌خصوص سه محصول زراعی ذرت، سویا و پنبه در آمریکا انجام شده است. در این تحقیقات با نصب اتاقک‌هایی در سطح مزارع و کنترل مقدار ازن، میزان خسارت این گاز روی محصولات کشاورزی سالیانه ۶/۱ میلیارد دلار برآورد شده است. افزایش آلاینده‌های موجود در هوا، به کاهش گلدهی، میوه‌دهی و در نهایت مسمومیت درختان منجر می‌شود. تحقیقات کارشناسان محیط زیست نشان می‌دهد آلاینده ازن موجود در هوا می‌تواند علاوه بر میزان گلدهی و میوه‌دهی، بر ایجاد حساسیت در درختان و گیاهان تأثیر داشته باشد.

---

[1] Chronic Obstructive Pulmonary Disease
[2] Multiple sclerosis

دود خارج شده از اگزوز خودروها، دودکش‌های منازل و کارخانجات صنعتی باعث تیرگی رنگ ساختمآنها و تأسیسات شهری می‌شود که به‌نظر می‌رسد یکی از مهمترین دغدغه‌های مسئولان زیباسازی شهرداری‌ها برای رفع آلودگی از تأسیسات شهری باشد.

بسیاری از مواد سمی مانند گوگرد، فلوئور و ازت پس از ترکیب با آب، خاصیت اسیدی پیدا می‌کنند و باعث بارش بارانهای اسیدی می‌شوند که سبب خوردگی و از بین رفتن تدریجی ساختمآنهای مسکونی، بناهای تاریخی و آثار هنری می‌شوند که ازجمله پیامدهای این موضوع هستند و نتایج مخرب این پدیده، عموماً جبران‌ناپذیرند و ترمیم این آثار به‌صورت اولیه و با همان کیفیت، تقریباً غیرممکن است.

بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳، با وجود توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های پزشکی کشورها، هزینه‌های پیشگیری از مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا دو برابر و ضرر از دست دادن نیروهای کارآمد به میزان ۴۰ درصد افزایش یافت. همچنین به استناد گزارش بانک جهانی، در ایران میزان خسارت سالیانه مرگ‌ومیر در نتیجه آلودگی هوا معادل ۵۱۰۰ میلیارد ریال و خسارت بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا ۲۱۰۰ میلیارد ریال است.

نتایج به دست آمده از مطالعات نشان می‌دهد که میان مواجهه با غلظت‌های بالای ذرات معلق هوا و افزایش مرگ‌ومیر روزانه و سالیانه ارتباط معنی داری وجود دارد. در کل با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات معلق در هوا، میزان نفوذ آنها در دستگاه تنفس (تحتانی) افزایش یافته و باعث افزایش آثار بیماری‌زایی این ذرات می‌شود. یافته‌های مطالعه حاضر، بیانگر شواهد متقن درباره تأثیر مواجهه با آلودگی هوا در افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های تنفسی، عصبی، قلبی عروقی و اختلال در سلامت باروری هستند. مطالعه امیری و همکاران نشان می‌دهد که پذیرش بیماران در بیمارستان رسول اکرم تهران در روزهای بدون آلودگی و با آلودگی اختلاف معنی دار وجود دارد (Amiri et al.,2016). همچنین مطالعه خاموتیان[1] و همکاران (۲۰۱۴) در شهر کرمانشاه حکایت از آن دارد که در زمان آلودگی این شهر، پذیرش بیماران قلبی و عروقی افزایش معنی داری یافته است.

نتایج نشان می‌دهد (جدول ۴-۱۲، ۴-۱۳، ۴-۱۴) که بیشترین سهم عوارض کوتاه‌مدت منتسب به آلاینده‌های هوا در شهر تهران مربوط به ذرات معلق ۲/۵ و ۱۰ میکرون بوده است. به طوری که میزان کل مرگ منتسب به این دو آلاینده در سال ۱۳۹۳ به‌ترتیب حدود ۱۶۱۷ و ۱۹۹۰ مورد بوده است. این میزان به ترتیب ۲/۳ و ۳۶/۴ درصد از کل مرگ‌های شهر تهران (به استثنای مرگ ناشی از تصادفات) را به خود اختصاص داده است. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بر اثر مواجهه بلندمدت با آلاینده‌های ذرات معلق PM 2.5 در شهر تهران، هر سال ۵۸۹۴ مورد مرگ منتسب برآورد شده که این میزان معادل ۶۶/۱۱ درصد از کل مرگ‌های شهر تهران بوده است.

[1] Khamutian

جدول۴-۱۲: عوارض کوتاه مدت منتسب به آلاینده‌های شهر تهران در سال ۱۳۹۳ (Khamutian et al., 2014)

عوارض منتسب به آلاینده‌های هوا	آلاینده‌های هوا	تعداد موراد منتسب	جز منتسب**(درصد)
کل مرگ	PM2.5	(۱۱۹۶-۲۰۳۱)۱۶۱۷	(۲/۴-۳۶/۰۱)۳/۲
	PM10	(۱۳۴۴-۲۶۱۹)۱۹۹۰	(۲/۵-۹۵/۷۴)۴/۳۶
	SO2	(۵۹۷-۹۴۸)۷۹۳	(۱/۱-۱۸/۸۷)۱/۵۶
	NO2	(۷۵۶-۱۴۸۹)۱۱۲۵	(۱/۲-۴۹/۹۴)۲/۲۲
	O3	(۲۶۲-۶۵۰)۳۹۲	(۰/۱-۵۱/۲۸)۰/۷۷
	CO	(۱۳-۷۵)۴۴	(۰/۲-۴۴/۵۸)۱/۵۲ (از کل مرگ افراد بالای ۶۵ سال)
مرگ ناشی از بیماریهای قلبی-عروقی	PM2.5	-	-
	PM10	(۷۱۰-۱۷۵۲)۱۲۴۴	(۳/۸-۳/۱۵)۵/۷۹
	SO2	(۱۷۰-۹۸۰)۶۶۳	(۰/۴-۷۹/۵۶)۳/۰۸
	NO2	(۴۷۸-۷۸۵)۶۳۳	(۲/۳-۲۲/۶۵)۲/۹۴
	O3	(۱۱۱-۳۸۵)۲۷۶	(۰/۱-۵۱/۷۹)۱/۲۸
	CO	(۱۳-۷۵)۴۴	(۰/۲-۴۴/۵۸)۱/۵۲
مرگ ناشی از بیماریهای تنفسی	PM2.5	-	-
	PM10	(۱۴۹-۵۴۱)۳۶۷	(۳/۰۲-۳/۱۲)۸/۱۵
	SO2	(۱۰۵-۲۳۸)۱۷۲	(۲/۵-۳۳/۲۸)۳/۸۳
	NO2	(۶۹-۱۶۹)۱۴۷	(۱/۳-۵۳/۷۶)۳/۲۷
	O3	-	-
	CO	-	-
بستری شدن بیمارستانی به علت بیماریهای قلبی-عروقی	PM10	(۱۵۹۷-۳۳۰۷)۲۳۴۹	(۳/۸-۹۳/۱۵)۵/۷۹
بستری شدن بیمارستانی به علت بیماریهای تنفسی	PM10	(۳۷۲۰-۸۳۲۸)۶۰۷۲	(۳/۷-۱۷/۱)۵/۱۸
بستری شدن بیمارستانی به علت بیماری انسداد مزمن ریوی	O3	(۴۳-۳۰۵)۱۸۲	/۳-۴۵/۲۳
	NO2	(۳۴-۲۴۳)۱۴۵	(۰/۲-۳۶/۶)۱/۵۶
	SO2	(۰-۳۹۶)۱۶۲	(۴-۰/۱۹)۱/۷۲

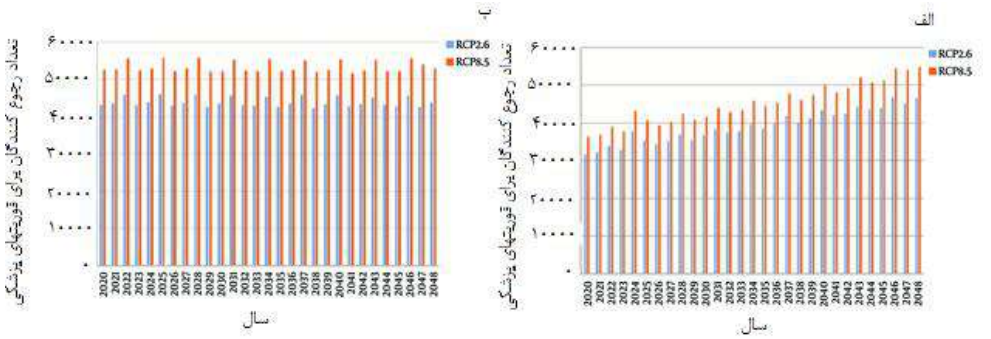
جدول۴-۱۳: برآورد پیامدهای بهداشتی بلندمدت (مزمن) منتسب به ذرات معلق PM2.5 در شهر تهران، ری و شمیرانات در سال ۱۳۹۴(Khamutian et al., 2014)

پیامد بهداشتی	میانگین غلظت سالیانه ($\mu m/m3$)	تعداد	جز منتسب
مرگ کل(همه علل) در بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال	۳۱/۹۹	۵۸۳۴(۷۵۷۲-۳۸۹۱)	۱۲/۳۹(۲۶/۰۹-۸/۱۶)
مرگ به علت COPD در بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال		۱۴۱(۲۳۰-۶۱)	۱۳/۰۴(۶۶/۲۶-۵/۲۱)
مرگ به علت سرطان ریه در بزرگسالان بالاتر از ۳۰ سال		۱۲۹(۱۹۷-۳۰)	۱۶/۶۶(۸۵/۳۷-۳/۲۵)
مرگ به علت سکته مغزی در در بزرگسالان بالاتر از ۲۵ سال		۲۳۱۱(۳۱۲۰-۱۰۷۹)	۵۵/۵۵(۹۲/۹۹-۲۵/۷۴)

جدول۴-۱۴: برآورد تعداد مرگ منتسب به ذرات معلق PM2.5 و هزینه اقتصادی آلودگی هوا در ایران(Khamutian et al., 2014)

کشور	میانگین غلظت ذرات معلق PM2.5 (میکروگرم در مترمکعب)		کل مرگ به علت آلودگی هوا		کل هزینه آسایش از دست رفته (میلیون دلار)(درصد تولید ناخالص داخلی بر اساس قدرت خرید)		کل درآمد کار از دست رفته (میلیون دلار))(درصد تولید ناخالص داخلی بر اساس قدرت خرید)	
سال	۱۹۹۰	۲۰۱۳	۱۹۹۰	۲۰۱۳	۱۹۹۰	۲۰۱۳	۱۹۹۰	۲۰۱۳
ایران	۲۸/۶۴	۳۱/۸۹	۱۷۰۳۵	۲۱۶۸۰	۱۳/۹۴۰ (٪ ۲/۴۴)	۳۰/۵۹۹ (٪ ۲/۴۸)	۲۵۳۳ (٪ ۰/۴۴)	۱۴۷۱ (٪ ۰/۱۲)

در افق ۲۰۵۰، طبق بررسی محمدی و همکاران با استفاده از مدل لارس در تهران مشخص شد که تحت دو سناریوی RCP2.6, 8.5 هوای تهران مرطوبتر و گرمتر خواهد شد و روند خدمات فوریتهای پزشکی در نتیجه‌ی افزایش آلودگیهای مورد انتظار افزایش خواهد یافت(شکل ۴-۲۴)(Mohammadi et al., 2018).



شکل۴-۲۴: الف) روند فوریتهای پزشکی در بیماریهای قلبی-عروقی و ب) در بیماریهای تنفسی (Mohammadi et al., 2018)

۴-۱۲- اثرات تغییر آب وهوا بر سلامت ذهنی و روحی کشور

آب و هوا به عنوان مهمترین جزء از عوامل سازنده محیط طبیعی به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر رفتار انسانها تأثیرگذار است. مطالعات نشان می‌دهد که آب و هوای سرد و یا گرم می‌تواند افرادی با خصوصیات رفتاری مختلف را در خود داشته باشد. عقیده بر این است که افرادی که در مناطق سردسیر و در کوهستانها زندگی می‌کنند افرادی هستند که از روحیه سخت کوشی برخوردار بوده و برعکس افرادی که در منطقه گرم زندگی می‌کنند دارای روحیه سازشی و کم تحرک می‌باشند.

علاوه بر تأثیر آب و هوا بر خلق و خوی افراد، آن همچنین می‌تواند در شکل گیری و یا تشدید بیماری‌های روحی و روانی نیز تأثیرگذار باشد. بیمار روحی و روانی بیماری است که از سلامت روان برخوردار نیست و در این مفهوم سلامت روان به توجه به ابعاد خاصی از انسان مانند هوش، ذهن، حالت و فکر می‌باشد. سازمان بهداشت جهانی بهداشت روانی را به صورت قابلیت ارتباط موزون و هماهنگ با دیگران، تغییر و اصلاح محیط فردی و اجتماعی و حل تضادها و تمایلات شخصی به طور منطقی، عادلانه و مناسب تعریف می‌کند (غیاث و همکاران، ۱۳۹۶).

از انواع اصلی از بیماری‌های روحی روانی می‌توان به وسواس، افسردگی، اضطراب، پرخاشگری، افکار پارانوئیدی، روان پریشی و اختلال دو قطبی اشاره نمود.

همچنان که قرارگیری افراد در محیط‌های طبیعی با دمای متعادل باعث تقویت روحی افراد می‌شود قرار گیری در محیط‌های با شرایط آب و هوایی تنش‌زا همانند موج‌های گرما و شرایط شرجی باعث می‌شود که افراد از نظر رفتاری از شرایط عادی خود خارج شوند و رفتار نامعقولی را از خود نشان دهند. مطالعات موجود نشان دهنده فصلی بودن برخی از بیماری‌های روانی مانند تنش‌های روانی و خودکشی است؛ یعنی در ایام خاص که در ارتباط با شرایط آب و هوایی مانند ابری بودن آسمان بیماری‌های روانی می‌تواند افزایش یابد. در عین حال گزارش موجود حکایت از آن دارد که عدم رخداد بارش مورد

انتظار در شرایط کشت دیم می‌تواند به عنوان یک عامل تـنش‌زا بـرای کشـاورزان محسـوب شـود و در مواردی خودکشی کشاورزان را نیز به دنبال دارد.

شرایط محیطی ایران از ابعاد مختلف به‌ویژه آب و هوا مستعد کننده رخداد بیماری روحـی و روانـی است و مطالعات موجود نشان می‌دهد که درصد قابل توجهی از مردم به صوت مزمن در شرایط مطلوب به سر نمی‌برند و کوچکترین ناملایمات زندگی می‌تواند باعث تشدید بیماری شده و می‌تواند موجب آزار و اذیت دیگران شود.

از جمله بیماری‌های روحی و روانی در کشور می‌توان به افسردگی اشاره نمود. این بیمـاری اخـتلال روانی شایعی است که سن و سال و جغرافیا نمی‌شناسـد و همـه جوامـع و گـروه‌هـای سـنی را درگیـر می‌کند. مطالعات بیانگر این است که به طور کلی میزان افسردگی مردم جهان یک چهارم جمعیـت آن و برابر با ۲۵ درصد است (URL 4-2). هر چند برخی کارشناسان حوزه سلامت روان معتقدند این آمـار در ایران نیز مشابه آمار جهانی و بین ۲۰ تا ۲۵ درصد است امـا بـر اسـاس آخـرین آمـار اعلامـی وزیـر بهداشت در دی ماه سال ۹۵ شیوع این بیماری در کشور بیش از ۱۲/۶ درصد است. (URL 4-2).

در کل نتایج مطالعات نشان می‌دهد که به طور متوسط شـیوع بیماریهـای روانـی در جامعـه ایـران ۲۳/۶ درصد است که این میزان در زنان ۲۶/۵ درصد و در مردان ۲۰/۸ درصد است.

۴-۱۳- سازگاری با اثر تغییرات آب و هوا در بخش سلامت در کشور

در ایران در مورد سازگاری بخش سلامت با تغییر آب و هوا بیشتر بر روی بیماریهای منتقله صورت گرفته است که برخی از مهمترین آنها موارد زیر را شامل می‌شود(احمدنژاد، ۱۳۹۳):

۱-اجرای برنامه‌های سلامتی مرتبط با انطباق برای تغییر آب و هوایی در واحد بیماریهای منتقلـه از طریق ناقل؛

۲-واکسیناسیون افراد و دامها برای برخی از بیماری‌های مشترک بین انسان و دام؛

۳-استقرار سیستم قرنطینه در نواحی پرخطر؛

۴-اجرای اقدامات افزایش آگاهی و آموزش برای کارکنان بهداشتی در مورد تـأثیرات ناشـی از تغییـر آب و هوایی بر بیماریهای منتقله از طریق ناقل؛

۵-تدوین سیستمهای هشدار سریع و تدوین شاخصهای مرتبط با اورژانسـهای بیماریهـای منتقلـه از طریق ناقل؛

۶-استقرار نظام مراقبت ثبت بیماریهای منتقله از طریق ناقل در وزارت بهداشـت، درمـان و آمـوزش پزشکی؛

۷-کنترل مؤثر ناقلها؛

۸-کاهش جمعیت جوندگان در مکانهای با عفونت محلی.

۹-ارائه شبکه آبرسانی مناسب شهری و روستایی برای کشور؛

۱۰-هماهنگی بین‌بخشی و بین سازمانی برای برنامه‌ریزی سیاستهای تغذیه‌ای به‌ویژه در مواقع بحران؛

۱۱-استقرار و توسعه نظام مشاوره تغذیه‌ای در سیستم مراقبتهای بهداشتی اولیه؛

۱۲-طراحی سیستم مؤثر کنترل کیفیت غذایی در مواقع بحران، به‌ویژه بلایای مرتبط با تغییر آب و هوایی

علاوه بر سازگاریهای مد نظر در زمینه بیماریهای منتقله از طریق ناقلین، نیاز است تا سیستمهای هشدار اولیه در زمینه امواج گرما، سرما و یا سیل در مناطق مختلف کار خود را شروع نمایند. همچنین در زمینه آلودگی هوا سیستمهای هشدار لحظه‌ای باید مد نظر قرار گیرد تا بتوان خسارات و تلفات ناشی از آنها را همانند تجربه سایر کشورهای دنیا که در بخشهای پیشین به آن اشاره شد به حداقل ممکن رسانید.

منابع فصل چهارم

احمد نژاد، الف، ۱۳۹۳. بخش چهارم: ارزیابی آسیب پذیری و سازگاری زیربخش: سلامت، سومین گزارش ملی تغییر آب و هوا جهت ارائه به دبیرخانه کنوانسیونUNFCCC ،دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا.

باقری، الف، ویکتوریا عزتیان، ۱۳۹۰. بررسی داده‌های ماهواره‌ای تابش فرابنفش خورشید در تهران جهت تعیین آستانه‌های بحرانی، تارنمای اداره کل هواشناسی استان اصفهان.

غیاث، م، حسن شاهسون، صبا سپهوند، آزاده حسن بیگی، ۱۳۹۶. جغرافیای بیماریهای روانی، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان.

فرج زاده، م، ۱۳۹۲. مخاطرات آب و هوایی ایران، انتشارات سمت.

فرج زاده، م، ویدا و ودودی مفید، ۱۳۹۳. آب و هواشناسی پزشکی، نشر انتخاب.

فرج زاده، م، یوسف قویدل رحیمی، مهدی اردشیری کلهر، ۱۳۹۳. تحلیل تغییرات تابش فرابنفش در منطقه‌ی اصفهان، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره ۲، ص ۱۰۵-۹۳.

میرزایی، م، سعید راضی، مهشید غنچه، عبدالله مهمدیان هفشجانی، حمید صالحی نیا، ۱۳۹۳. میزان و روند بروز سرطان پوست طی سالهای ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ در استان تهران، مجله پوست و زیبایی، دوره ۵، شماره ۴، ۱۹۹-۱۹۳.

Ahmadnezhad, E., Holakouie Naieni,K., Ardalan,A., Mahmoudi,M., Yunesian,M., Naddafi,K., Mesdaghinia,AR., 2013: Excess Mortality during Heat Waves, Tehran Iran: An Ecological Time-Series Study, Journal of Research in Health Sciences(JRHS) 13(1): 24-31.

Arora, A., 2009: Attwood J. Common skin cancers and their precursors. Surgical Clinics of North America 2009: 89: 703-12.

Ashraf Vaghefi, S, Keykhai, M, Jahanbakhshi, F, Sheikholeslami, J, Ahmadi, A, Yang, H & Abbaspour, K.C,. 2019: The future of extreme climate in Iran, scientific reports, (2019) 9:1464 | https://doi.org/10.1038/s41598-018-38071-8.

Amiri, H, Bidari, A, Shams Vahdati, S, Ramin T, Emamverdy,M., 2016: Air pollution and hospital admission in patients with chronic trauma, Vol. 2, No. 2, P 42-45.

Beaglehole, R. and R. Bonita., 2008: Global public health: a scorecard. Lancet, 372(9654), 1988-1996.

Basu, R. and B.D. Ostro., 2008: A multicounty analysis identifying the populations vulnerable to mortality associated with high ambient temperature in California. American Journal of Epidemiology, 168(6), 632-637.

Béguin, A., S. Hales, J. Rocklov, C. Astrom, V.R. Louis, and R. Sauerborn, 2011: The opposing effects of climate change and socio-economic development on the global distribution of malaria. Global Environmental Change, 21(4), 1209-1214.

Beggs, P.J., 2010: Adaptation to impacts of climate change on aeroallergens and allergic respiratory diseases. International Journal of Environmental Research and Public Health, 7(8), 3006-3021.

Bell, G. and Chelliah, M., 2006: 'Leading Tropical Modes Associated with Interannual and Multidecadal Fluctuations in North Atlantic Hurricane Activity', Journal of Climate, 19, pp. 590–612.

Bhatt, S., P.W. Gething, O.J. Brady, J.P. Messina, A.W. Farlow, C.L. Moyes, J.M. Drake, J.S. Brownstein, A.G. Hoen, O. Sankoh, M.F. Myers, D.B. George, T. Jaenisch, G.R.W. Wint, C.P. Simmons, T.W. Scott, J.J. Farrar, and S.I. Hay., 2013: The global distribution and burden of dengue. Nature, 496(7446), 504-507.

Casimiro, E., J. Calheiros, F.D. Santos, and R.S. Kovats., 2006: National assessment of health effects of climate change in Portugal: approach and key findings. Environmental Health Perspectives, 114(12), 1950-1956.

DeMagny, G.C., R. Murtugudde, M.R.P. Sapiano, A. Nizam, C.W. Brown, A.J. Busalacchi, M. Yunus, G.B. Nair, A.I. Gil, C.F. Lanata, J. Calkins, B. Manna, K. Rajendran, M.K. Bhattacharya, A. Huq, R.B. Sack, and R.R. Colwell., 2008: Environmental signatures associated with cholera epidemics. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105(46), 17676-17681.

Doocy, S., A. Daniels, S. Murray, and T.D. Kirsch., 2013: The human impact of floods: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. PLOS Currents Disasters, 2013 April 16, Edition 1, doi:10.1371/currents.dis. f4deb457904936b07c09daa98ee8171a.

Dunne, J., R. Stouffer, and J. John., 2013: Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. Nature Climate Change, 3(3), 563-566, doi:10.1038/ nclimate1827.

EPA, 2005, A guide for Ultra Violation Index, Air and radiation 6205j, EPA430-F-04-020.

Farajzadeh, M, Darand, M., 2009: Analyzing the influence of air temperature on the cardiovascular, respiratory and stroke mortality in Tehran, October 2009Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering 6(4):261 270.

Feachem, R.G., A.A. Phillips, J. Hwang, C. Cotter, B. Wielgosz, B.M. Greenwood, O. Sabot, M.H. Rodriguez, R.R. Abeyasinghe, T.A. Ghebreyesus, and R.W Snow., 2010: Shrinking the malaria map: progress and prospects. Lancet, 276(9752), 1566–1578.

Finucane, M.M., G.A. Stevens, M.J. Cowan, G. Danaei, J.K. Lin, C.J. Paciorek, G.M. Singh, H.R. Gutierrez, Y. Lu, A.N. Bahalim, F. Farzadfar, L.M. Riley, M. Ezzati, and the Global Burden of Metabolic Risk Factors of Chronic Diseases Collaborating Group (Body Mass Index)., 2011: National, regional, and global trends in bodymass index since 1980: systematic analysis of health examination surveys andepidemiological studies with 960 country-years and 9.1 million participants. Lancet, 377(9765), 557-567.

Fouillet, A., G. Rey, F. Laurent, G. Pavillon, S. Bellec, C. Guihenneuc-Jouyaux, J. Clavel, E. Jougla, and D. Hemon., 2006: Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. International Archives of Occupational & Environmental Health, 80(1), 16-24.

Guha-Sapir, D., F. Vos, and R. Below., 2011: Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers and Trends. Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Universite catholique de Louvain, Brussels, Belgium, 42 pp.

Hanna, E.G., T. Kjellstrom, C. Bennett, and K. Dear., 2011: Climate change and rising heat: population health implications for working people in Australia. Asia- Pacific Journal of Public Health, 23(2 Suppl.), 14S-26S.

Hansen, A.L., P. Bi, P. Ryan, M. Nitschke, D. Pisaniello, and G. Tucker., 2008: The effect of heat waves on hospital admissions for renal disease in a temperate city of Australia. International Journal of Epidemiology, 37(6), 1359-1365.

Heidari M., F. Najafi., 2013: trend of skin cancer incidence in 6 geographical regions of Islamic republic of Iran (2000-2005), Eastern Mediterranean

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance ClimateChange Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 582 pp.

Health Journal, Vol. 19, No. 1, P 59-65.

ILO, 2013: Global Employment Trends 2012: Recovering from a Second Jobs Dip. International Labour Organization (ILO), Geneva, Switzerland, 170 pp.

Islam, M.S., 2009: Effects of local climate variability on transmission dynamics of cholera in Matlab, Bangladesh. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 103(11), 1165-1170.

IUCN

Jonkman, S.N. and I. Kelman., 2005: An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. Disasters, 29(1), 75-97.

Karanikolos, M., P. Mladovsky, J. Cylus, S. Thomson, S. Basu, D. Stuckler, J.P. Mackenbach, and M. McKee., 2013: Financial crisis, austerity, and health in Europe. Lancet, 381(9874), 1323-1331EPA, 2005, A guide for Ultra Violation Index, Air and radiation 6205j, EPA430-F-04-020.

Khetsuriani, N., A. LaMonte-Fowlkes, M.S. Oberste, and M.A. Pallansch., 2006: Enterovirus surveillance – United States, 1970-2005. MMWR Surveillance Summaries, 55(SS-8), 1-20.

Khamutian, R, Sharafi, K, Najafi, F, Shahhoseini, M., 2014, Association of air pollution and hospital admission for cardiovascular disease: A case study in Kermanshah, Iran, Zahedan Journal of research in medical sciences, Vol. 16, No. 11, P 43-46.

Kinney, P.L., M. Pascal, R. Vautard, and K. Laaidi., 2012: La mortalite hivernale va-telle diminuer avec le changement climatique? [Winter mortality in a changing climate: will it go down?]. Bulletin épidémiologique hebdomadaire, (12-13), 149-151.

Kite-Powell, H.L., L.E. Fleming, L.C. Backer, E.M. Faustman, P. Hoagland, A. Tsuchiya, L.R. Younglove, B.A. Wilcox, and R.J. Gast., 2008: Linking the oceans to public health: current efforts and future directions. Environmental Health, 7(Suppl. 2), S6, doi:10.1186/1476-069X-7-S2-S6.

Kjellstrom, T., R.S. Kovats, S.J. Lloyd, T. Holt, and R.S. Tol., 2009: The direct impact of climate change on regional labor productivity. Archives of Environmental and Occupational Health, 64(4), 217-227, doi:10.1080/19338240903352776.

Kriz, B., M. Maly, C. Benes, and M. Daniel., 2012: Epidemiology of tick-borne encephalitis in the Czech Republic 1970-2008. Vector-Borne and Zoonotic Diseases, 12(11), 994-999.

Kolstad, E. and K.A. Johansson., 2011: Uncertainties associated with quantifying climate change impacts on human health: a case study for diarrhea. Environmental Health Perspectives, 119(3), 299-305.

Krzy´scin, J, 2002: Long-term changes in ozone mini-hole event frequency over the Northern Hemisphere derived from ground-based measurements. Int. J. Climatology, Vol. 22, No. 4, P 1425–1439.

Lutz, W., W. Sanderson, and S. Scherbov., 2008: The coming acceleration of global population ageing. Nature, 451(7179), 716-719.

Liu, C., N. Hofstra, and E. Franz., 2013: Impacts of climate change on the microbial safety of pre-harvest leafy green vegetables as indicated by Escherichia coli O157 and Salmonella spp. International Journal of Food Microbiology, 163(2-3), 119-128.

Lucas, R.M., P. Valery, I. van der Mei, T. Dwyer, M.P. Pender, B. Taylor, A.-L. Ponsonby, and The Ausimmune Investigator Group., 2013: Sun exposure over a lifetime in Australian adults from latitudinally diverse regions. Photochemistry & Photobiology, 89(3), 737-744.

Luginbuhl, R., L. Jackson, D. Castillo, and K. Loringer, 2008: Heat-related deaths among crop workers – United States, 1992 – 2006. JAMA: The Journal of the American Medical Association, 300(9), 1017-1018, doi:10.1001/jama.300.9.1017.

Lowe, D., K.L. Ebi, and B. Forsberg, 2011: Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves. International Journal of Environmental Research and Public Health, 8(12), 4623-4648.

Lunde, T.M., M.N. Bayoh, and B. Lindtjorn, 2013: How malaria models relatetemperature to malaria transmission. Parasites & Vectors, 6, 20, doi:10.1186/

1756-3305-6-20.

Martin, D., B. Belanger, P. Gosselin, J. Brazeau, C. Furgal, and S. Dery, 2007: Drinking water and potential threats to human health in Nunavik: adaptation strategies under climate change conditions. Arctic, 60(2), 195-202.

Mohammadi H, Ardalan A, Massah Bavani A, Naddafi K, Talebian M T. 2018: Simulation of Climate Change Impact on Emergency Medical Services Clients Caused by Air Pollution, Health Scope. 2018 ; 7(2):e57786. doi: 10.5812/jhealthscope.57786.

Murray, C.J.L., L.C. Rosenfeld, S.S. Lim, K.G. Andrews, K.J. Foreman, D. Haring, N. Fullman, M. Naghavi, R. Lozano, and A.D. Lopez, 2012b: Global malaria mortality between 1980 and 2010: a systematic analysis. Lancet, 379(9814), 413-431.

McDonald, R.I., P. Green, D. Balk, B.M. Fekete, C. Revenga, M. Todd, and M. Montgomery, 2011: Urban growth, climate change and freshwater availability. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108(15), 6312-6317.

Mousavi Seyyed Shafi, Manucher Farajzadeh, Yousef Ghavidel Rahimi, Abbasali Aliakbari Bidokhti, 2017, Climatic variability of column ozone over the Iranian plateau, Meteorology Atmosphere Physics, No. 129, P 309-320.

Nelson, G.C., M.W. Rosegrant, A. Palazzo, I. Gray, C. Ingersoll, R. Robertson, S. Tokgov, T. Zhu, T.B. Sulser, C. Ringler, S. Msangi, and L. You, 2010: Food Security, Farming and

Climate Change to 2050. Scenarios, Results, Policy Options. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC, USA, 131 pp.

Nelson, G.C., M.W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler, S. Msangi, A. Palazzo, M. Batka, M. Magalhaes, R. Valmonte-Santos, M. Ewing, and D. Lee, 2009: Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, DC, USA, 19 pp.

OECD, 2012: OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), OECD Publishing, Paris, France, 349 pp.

Palecki, M.A., S.A. Changnon, and K.E. Kunke, 2001: The nature and impacts of the July 1999 heat wave in the 251nglish251d251 United States: learning from the lessons of 1995. Bulletin of the American Meteorological Society, 82(7), 1353-1367.

Paaijmans, K.P., S. Blanford, A.S. Bell, J.I. Blanford, A.F. Read, and M.B. Thomas, 2010: Influence of climate on malaria transmission depends on daily temperature variation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107(34), 15135-15139.

Pascual, M., J.A. Ahumada, L.F. Chaves, X. Rodo, and M. Bouma, 2006: Malaria resurgence in the East African highlands: temperature trends revisited. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103(15), 5829-5834.

Patz, J.A., S.J. Vavrus, C.K. Uejio, and S.L. McLellan, 2008: Climate change and waterborne disease risk in the Great Lakes region of the U.S. American Journal of Preventive Medicine, 25(5), 451-458.

86062010005000001&lng=en.

Peduzzi, P., B. Chatenoux, H. Dao, A. De Bono, C. Herold, J. Kossin, F. Mouton, and O. Nordbeck, 2012: Global trends in tropical cyclone risk. Nature Climate Change, 2(4), 289-294.

Pettersson, L., J. Boman, P. Juto, M. Evander, and C. Ahlm, 2008: Outbreak of Puumala virus infection, Sweden. Emerging Infectious Diseases, 14(5), 808-810.

Ramin, B.M. and A.J. McMichael, 2009: Climate change and health in sub-Saharan Africa: a case-based perspective. Ecohealth, 6(1), 52-57.

Regier N, Cosio C, von Moos N, Slaveykova VI, 2015, Effects of copper-oxide nanoparticles, dissolved copper and ultraviolet radiation on copper bioaccumulation, photosynthesis and oxidative stress in the aquatic macrophyte Elodea nuttallii, Chemosphere, No. 128, P 56-61.

Ren, C., G.M. Williams, L. Morawska, K. Mengersen, and S. Tong, 2008: Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. Occupational and Environmental Medicine,65(4), 255-260.

Stenseth, N.C., N.I. Samia, H. Viljugrein, K.L. Kausrud, M. Begon, S. Davis, H. Leirs, V.M. Dubyanskiy, J. Esper, V.S. Ageyev, N.L. Klassovskiy, S.B. Pole, and K.S. Chan, 2006: Plague dynamics are driven by climate variation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103(35).

Smith, K.R., A. Woodward, D. Campbell-Lendrum, D.D. Chadee, Y. Honda, Q. Liu, J.M. Olwoch, B. Revich, and R. Sauerborn, 2014b: Human health: impacts, adaptation, and co-benefits. In: Climate Change 2014: Impacts,

Selin, N.E., S. Wu, K.M. Nam, J.M. Reilly, S. Paltsev, R.G. Prinn, and M.D. Webster, 2009: Global health and economic impacts of future ozone pollution. Environmental Research Letters, 4, 044014, doi:10.1088/1748-9226/4/4/044014.

Silva,RA et al., 2016: The effect of future ambient air pollution on human premature mortality to 2100 using output from the ACCMIP model ensemble, Atmos. Chem. Phys., 16, 9847–9862, 9847–9862, 2016 www.atmos-chem-phys.net/16/9847/2016/ doi:10.5194/acp-16-9847-2016

Stenseth, N.C., N.I. Samia, H. Viljugrein, K.L. Kausrud, M. Begon, S. Davis, H. Leirs, V.M. Dubyanskiy, J. Esper, V.S. Ageyev, N.L. Klassovskiy, S.B. Pole, and K.S. Chan, 2006: Plague dynamics are driven by climate variation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103(35).86062010005000001&lng=en.

Teague, B., R. McLeod, and S. Pascoe, 2010: 2009 Victorian Bushfires Royal Commission Final Report: Summary. Parliament of Victoria, 2009 Victorian Bushfires Royal Commission, Melbourne, Australia, 42 pp.

Van der Leun, J.C., R.D. Piacentini, and F.R. de Gruijl, 2008: Climate change and human skin cancer. Photochemical & Photobiological Sciences, 7(6), 730-733.

Van Kleef, E., H. Bambrick, and S. Hales, 2010: The geographic distribution of dengue fever and the potential influence of global climate change. TropIKA.net, 1(1), journal.tropika.net/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2078-Van der

Varotsos C, Cartalis C, Vlamakis A, Tzanis C, and Keramitsoglou I (2004) The long-term coupling between column ozone and tropopause properties. Journal of Climate, 17(19), 3843-3854

Vidal, J.-P., E. Martin, N. Kitova, J. Najac, and J.-M. Soubeyroux, 2012: Evolution of spatio-temporal drought characteristics: validation, projections and effect of adaptation scenarios. Hydrology and Earth System Sciences, 16(8), 2935-2955.

Vedal,S, Dutton , SJ: 2006: Wildfire air pollution and daily mortality in a large urban area, Environmental Research 102(1):29-35 DOI: 10.1016/j.envres.2006.03.008.

Wang, H., L. Dwyer-Lindgren, K.T. Lofgren, J.K. Rajaratnam, J.R. Marcus, A. Levin-Rector, C.E. Levitz, A. Lopez, and C.J.L. Murray, 2012: Age-specific and sex specific mortality in 187 countries, 1970-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. Lancet, 380, 2071-2094.

Weis, K.E., 2011: Vibrio illness in Florida, 1998-2007. Epidemiology and Infection, 139(4), 591-598.

West, J.J., A.M. Fiore, V. Naik, L.W. Horowitz, M.D. Schwarzkopf, and D.L. Mauzerall, 2007: Ozone air quality and radiative forcing consequences of changes in ozone precursor emissions. Geophysical Research Letters, 34(6), L06806, doi:10.1029/2006GL029173.

WHO, 2010: World Malaria Report 2010. Global Malaria Programme, World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 204 pp.

WHO, 2013: Impact of Dengue. World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, www.who.int/csr/disease/dengue/impact/en/.

WHO, 2008: The Global Burden of Disease. 2004 Update.World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 146 pp.

WMO,2011. Statement on the status of the global climate in 2010. World Meteorological Organization., 2011.

WHO, 2011: Gender, Climate Change and Health. Public Health & Environment Department (PHE), Health Security & Environment Cluster (HSE), World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 36 pp.

Wilkinson, P., K.R. Smith, M. Joffe, and A. Haines, 2007b: A global perspective on energy: health effects and injustices. Lancet, 370(9591), 965-978.

World Bank, 2010: World Development Report 2010: Development and Climate Change. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, Washington, DC, USA, 417 pp.

Zhou, X., G. Yang, K. Yang, X. Wang, Q. Hong, L. Sun, J.B. Malone, T.K. Kristensen, N.R. Bergquist, and J. Utzinger, 2008: Potential impact of climate change on schistosomiasis transmission in China. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 78(2), 188-194.

URL 4-1:https://www.who.int/airpollution/data/cities/en/

URL 4-2: https://www.hamshahrionline.ir/news/366509/

فصل پنجم

تغییر آب و هوا و گردشگری

۵-۱- مقدمه

گردشگری به عنوان یک صنعت جهانی پرسود شناخته شده است. به نظر می‌رسد تغییرات آینده‌ی دما و دیگر عوامل آب و هوایی، نقش زیادی در چشم اندازها و الگوهای گردشگری مناطق ایجاد خواهد کرد. طبق گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا، روزهای حدی داغ، امواج گرما و بارش‌های سنگین، فراوان‌تر از گذشته خواهند شد. در آینده، سیکلون‌های حاره‌ای، حدی‌تر و شدیدتر شده که با سرعت بالاتری از باد همراه است و بارش‌های سنگین مرتبط با آنها، دمای سطح دریاهای حاره‌ای را افزایش خواهد داد. توسعه‌ی مناطقی که به طور عمده با جاذبه‌های گردشگری پیوند خورده و متأثر از حوادث حدی است، نیاز به آگاهی و آمادگی برای خطرات طبیعی در سطح محلی را از طریق ایجاد ظرفیت‌های سیستماتیک و راهبردهای مدیریت ریسک فاجعه نشان می‌دهند. مسیر توفانهای برون حاره به سمت قطب جابه‌جا خواهد شد، کاهش در پوشش برف نیز یکی دیگر از مسائل مهم در صنعت گردشگری است. گردشگری و مسافرت یک عامل حیاتی برای اقتصاد جهانی است و مخصوصاً برای بسیاری از کشورهای در حال توسعه مهم است. گردشگری یک راه مؤثر برای توزیع مجدد ثروت و یک عامل تغییر برای برابری جنسیتی، حفظ فرهنگ و حفاظت از طبیعت است. این بخش باعث همکاری قابل توجه بسیاری از اقتصادهای ملی و محلی در سراسر جهان است. برآورد شده است که صنعت

گردشگری و گردشگری جهانی، ۹/۶ درصد از تولید ناخالص داخلی و ۷/۹ درصد از اشتغال جهانی در سال ۲۰۰۸ را به خود اختصاص داده است(UNWTO, 2009).

سال ۲۰۱۶ سال خوبی برای گردشگری بین‌المللی با وجود بسیاری از چالش‌ها بوده است. گردشگری بین‌المللی برای هفتمین سال متوالی رشد داشته است تا به رقم ۱/۲ میلیارد دلار رسیده است؛ که این رقم دنباله‌ای از رشد بی‌وقفه‌ای است که از دهه ۱۹۶۰ ثبت نشده است. بالاترین رشد در آفریقا و آسیا و مناطق اقیانوس آرام ثبت شده است. ورود توریست‌های بین‌المللی به ۱/۲۳۵ میلیارد نفر رسیده است (شکل ۵-۱). رشد این صنعت طی ۷ سال قبل از سال ۲۰۱۶، ۴ درصد در سال بوده است. ۲۰۰ میلیون نفر بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ بر جمع توریست‌ها افزوده شده است. شکل ۵-۱ تعداد افراد را در قاره‌ها نمایش می‌دهد. فرانسه با ۸۴/۵ میلیون نفر و آمریکا با ۷۷/۵ میلیون نفر در رتبه نخست و دوم هستند، سپس اسپانیا، چین و ایتالیا در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در سال ۲۰۱۶، ۱۰ درصد تولید ناخالص داخلی و ۷ درصد تجارت جهانی مرتبط با این بخش بوده است (WTO, 2016). در این فصل به اثرات مهم تغییر آب و هوا روی این صنعت پرسود پرداخته می‌شود و به راه‌های سازگاری با آن اشاره خواهد شد.

شکل۵-۱: ورود توریست‌های بین‌المللی و مشارکت قاره‌های مختلف در این بخش در سال ۲۰۱۶ (مجموع این تعداد به ۱/۲۳۵ میلیارد نفر می‌رسد)(WTO, 2016).

۵-۲- اثر تغییر آب و هوا در مقاصد گردشگری جهانی

- **مقاصد مناطق جزیره‌ای و ساحلی**

گردشگری ساحلی بخش غالب بازار است که بخش مهمی از اقتصاد بیشتر جزایر کوچک و کشورهای در حال توسعه را تشکیل می‌دهد. مقصدهای ساحلی و جزیره‌ای با توجه به اینکه بیشتر زیرساخت‌ها در فاصله کوتاهی از خط ساحلی واقع شده است به طور مستقیم و غیرمستقیم از تغییر آب و هوایی (مانند توفان و رویدادهای حدی آب و هوایی، فرسایش ساحلی، آسیب فیزیکی به زیرساخت، افزایش سطح دریا، سیل، کمبود آب و آلودگی آب) آسیب می‌پذیرند. این آسیب‌پذیری بالا اغلب با کمترین ظرفیت سازگاری به ویژه در جزیره‌های کوچک و مقاصد ساحلی کشورهای در حال توسعه همراه است، در بسیاری از مقاصد ساحلی، فصول با گردش پذیری بالا با رژیم‌های کم آبی در فصول خشک، تشدید مدیریت آب و مسائل زیست‌محیطی همزمان است. تأثیرات تغییر آب و هوایی و گرمایش جهانی در مناطق مختلف ساحلی متفاوت خواهد بود و ممکن است فرصت‌ها را نیز به ارمغان بیاورد. به عنوان مثال، ممکن است در مقاصد ساحلی تابستانه (مانند مدیترانه)، فصل زمستان برای گردشگران جذاب‌تر باشد و باعث گسترش گردشگری شود. مناطق ساحلی شمالی ممکن است از تابستان گرمتر، جذب گردشگران بیشتر و طولانی شدن تابستان بهره‌مند شوند(UNWTO-UNEP-WMO, 2008).

- **مقاصد کوهستانی**

مناطق کوهستانی، یک از جاذبه‌های مهم گردشگری جهانی هستند. پوشش برف و مناظر کوهستانی، جاذبه‌های اصلی گردشگری در این مناطق هستند. این ویژگی‌ها بیشتر به تغییر آب و هوایی آسیب‌پذیر هستند. علاوه بر اثرات منفی، تغییر آب و هوایی در مناطق کوهستانی نیز می‌تواند فرصت‌ها را به ارمغان بیاورد. ممکن است فصل زمستان کوتاه و تابستان طولانی گردد که این مورد فرصت‌هایی را برای دیگر فعالیت‌ها و کسب و کار در فضای باز فراهم می‌کند (برای مثال، پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری در کوهستان و غیره) (UNWTO-UNEP-WMO, 2008).

- **مقاصد مبتنی بر طبیعت**

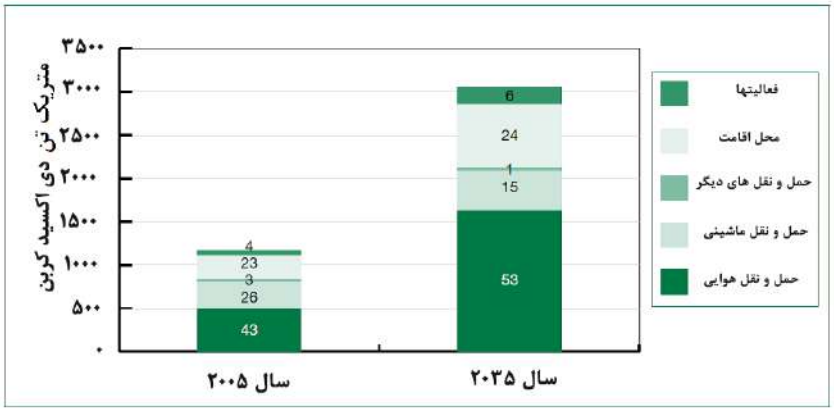
گردشگری مبتنی بر طبیعت بر تنوع زیادی از منابع گردشگری (مناظر، گونه‌های گل، اکوسیستم‌ها، فعالیت‌ها در فضای باز با تکیه بر منابع خاص مانند سطح آب رودخانه‌ها برای قایقرانی و غیره) تکیه دارد. این منابع در فضا بسیار متغیر هستند و از راه‌های مختلف تحت تأثیر تغییر آب و هوایی قرار خواهند گرفت. با توجه به تنوع منابع، به عنوان مثال پیست‌های اسکی که به طور عمده به شرایط برف تکیه دارد و یا پیست‌های سواحل که به شرایط آب و ساحل بستگی دارد، دشوار است که

مقادیر تأثیرات تغییر آب و هوایی بر طبیعت ارزیابی شود، اگرچه اکوسیستم‌ها در معرض تغییر آب و هوایی بسیار آسیب‌پذیر هستند. با توجه به گستره وسیعی از فعالیت‌هایی که در محیط‌زیست وجود دارد و می‌تواند توسعه نیز یابد، گزینه‌های سازگاری خوبی وجود دارد (UNWTO-UNEP-WMO, 2008).

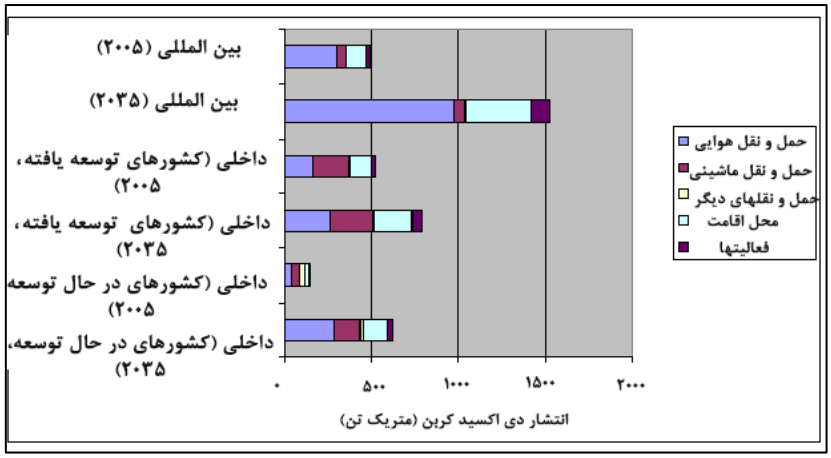
۵-۳- اثرهای متقابل گردشگری و آب و هوا بر یکدیگر

- **اثرات گردشگری بر آب و هوا**

گردشگری و سفر به تغییر آب و هوایی از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای شدت می‌بخشد. گردشگری و مسافرت، تقریباً در ۵ درصد از انتشار دی‌اکسید کربن جهانی نقش دارد، حمل و نقل گردشگران به داخل و خارج از مقصد، ۷۵ درصد از کل انتشار گاز دی‌اکسید کربن را در بخش گردشگری به خود اختصاص می‌دهد که در این بین، حمل و نقل هوایی حدود ۴۰ درصد از کل این انتشار را تشکیل می‌دهد (شکل ۵-۲). همچنین پیش‌بینی شده است که در یک سناریو مبتنی بر کسب و کار معمول، انتشار گاز دی‌اکسید کربن از بخش گردشگری جهانی تا سال ۲۰۳۵ به میزان ۱۳۰ درصد افزایش خواهد یافت. بیشتر این رشد به سفرهای هوایی اختصاص می‌یابد. شکل ۵-۳ نشان می‌دهد که سهم کشورهای توسعه یافته در این بخش بسیار بالاست. این رشد پیش‌بینی شده در انتشار از بخش گردشگری، با کاهش شدید انتشار مورد نیاز برای مقابله با تغییر آب و هوایی، متناقض است (UNWTO, 2009).



شکل۵-۲: انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش گردشگری طبق سناریوی "کسب و کار طبق معمول" منبع: (UNWTO-UNEP-WMO, 2008).



شکل۵-۳: انتشار گاز گلخانه‌ای از بخش گردشگری به تفکیک نواحی در حال توسعه و توسعه‌یافته در بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۳۵ (UNWTO-UNEP-WMO, 2008)

- **اثرات تغییر آب و هوا روی گردشگری**

جدول ۵-۱ اثرات عمده‌ی تغییر آب و هوا بر مقاصد گردشگری که توسط هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا پیش‌بینی شده است را نشان می‌دهد (IPCC,2007a; 2007c; 2007b):

جدول۵-۱: اثرات تغییر آب و هوا برای مقاصد گردشگری

اثر	تأثیر بر روی گردشگری
درجه حرارت بیشتر	تغییرات فصلی، استرس گرما برای گردشگران، هزینه‌های سیستم‌های خنک‌کننده، تغییرات جمعیت و توزیع حشرات گیاهی و حیات وحش، دامنه بیماری‌های عفونی
کاهش پوشش برف و کاهش یخچال‌های طبیعی	کمبود برف در زمین‌های ورزشی زمستانی، افزایش هزینه‌های برف مصنوعی، کوتاه شدن فصل ورزش‌های زمستانی، کاهش زیبایی‌شناسی چشم‌انداز
افزایش شدت توفآنهای حدی	خطر برای امکانات گردشگری، افزایش هزینه‌های بیمه / اتلاف بیمه، هزینه‌های وقفه در کسب و کار
کاهش بارش و افزایش تبخیر در برخی مناطق	کمبود آب، رقابت بر سر آب بین بخش گردشگری و سایر بخش‌ها، بیابان‌زایی، افزایش آتش‌سوزی، تهدید زیرساخت‌ها و تأثیر بر تقاضا
افزایش فراوانی بارش‌های حدی	آسیب سیل به آثار معماری، فرهنگی -تاریخی، آسیب به زیرساخت‌های گردشگری، تغییر فصل
افزایش سطح آب دری	فرسایش ساحلی، از دست دادن منطقه ساحلی، هزینه‌های بالاتری برای حفاظت و نگهداری فواره‌ها
افزایش درجه حرارت سطح	گچی شدن مرجآنها و کاهش منابع دریایی و زیبایی‌شناسی

اثر	تأثیر بر روی گردشگری
دریا	در مقصد گردشگری
تغییرات در تنوع زیستی دریایی	کاهش جاذبه‌های طبیعی و گونه‌ها در مقصد، خطر بیشتر بیماری در کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری
آتش‌سوزی مکرر و وسیع در جنگل های	کاهش جاذبه‌های طبیعی؛ افزایش خطر سیل؛ آسیب به زیرساخت‌های گردشگری
تغییرات خاک به‌عنوان مثال، سطوح رطوبت، فرسایش و اسیدیته	کاهش آثار باستان‌شناسی و سایر منابع طبیعی با تأثیر بر روی جاذبه‌های مقصد

انتظار می‌رود اثرات زیر در ارتباط با آب و هوا، صنعت گردشگری را تحت تأثیر قرار دهد(UNWTO, 2009):

۱-آب و هوا، طول و کیفیت فصل‌های گردشگری را در مناطق مختلف تعریف می‌کند (به عنوان مثال ورزش‌های زمستانی). برخی از اهداف گردشگری وابسته به آب و هوا هستند زیرا آب و هوا یک زیر بنای اصلی برای گردشگری است که صنعت گردشگری بر آن استوار است.

۲-آب و هوا به‌طور مستقیم جنبه‌های مختلفی از عملیات گردشگری (به عنوان مثال تأمین آب و کیفیت آن، هزینه‌های گرمایشی، سرمایشی، الزامات تولید برف مصنوعی، نیازهای آبیاری، مدیریت آفات، تخلیه و تعطیلی موقت) را تحت تأثیر قرا می‌دهد که این موارد روی سودآوری آنها تأثیر می‌گذارند.

۳-علاوه بر این، طیف گسترده‌ای از منابع زیست‌محیطی وجود دارند که در بسیاری از مقاصد، جاذبه‌های مهمی برای گردشگری بوده و به تغییرپذیری آب و هوا حساس هستند. این منابع زیست‌محیطی شامل حیات‌وحش و تنوع زیستی، سطح آب و کیفیت آن، شرایط برف و وسعت یخچال‌های طبیعی است.

۴-آب و هوا همچنین بر روی شرایط محیطی از جمله بیماری‌های عفونی، آتش‌سوزی، شکوفه جلبک، حشرات و آفت‌های ناشی از آب (به عنوان مثال چتر دریایی) و رویدادهای حدی مانند توفان، سیل و یا امواج گرما تأثیر می‌گذارد که می‌تواند از ورود گردشگران به مناطق جلوگیری کند.

۵-همچنین آب و هوا یکی از عوامل مهم تصمیم‌گیری در مورد گردشگری است. نوسانات فصلی آب و هوا در مقاصد گردشگری و در بازارهای عمده از محرک‌های اصلی تقاضای گردشگری در مقیاس جهانی و منطقه‌ای است. آب و هوا یک جزء ذاتی از تجربه سفر است و همچنین هزینه‌های توریستی و رضایت از تعطیلات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. درنتیجه، پیش‌بینی می‌شود اثرات یکپارچه تغییر آب و هوایی، تأثیرات وسیعی بر گردشگری، کسب‌وکارها و مقاصد مسافرتی داشته باشند. در واقع، تغییر آب و هوا، تهدید جدی در آینده برای گردشگری و سفر است، زیرا تأثیرات متنوعی از تغییر آب و هوایی به

طور فزاینده‌ای در نقاط مختلف جهان مشهود است و بر توریست و صنعت گردشگری و جوامعی که به آن وابسته است، تأثیر می‌گذارد. در گذشته نیز تغییر آب و هوایی، تصمیمات مسافران را از لحاظ مقصد انتخابی و زمان سفر خود تغییر داده است. تغییر آب و هوایی منجر به تأثیرات منفی و مثبت در بخش گردشگری و مسافرت خواهد شد و تأثیرات آن به واسطه منطقه جغرافیایی و بخش متفاوت خواهد بود. پنج مسیر اصلی وجود دارد که تغییر آب و هوایی بر گردشگری جهانی و بخش گردشگری تأثیر می‌گذارد. این پنج مسیر عبارتند از:

الف) تأثیرات مستقیم آب و هوایی: آب و هوا یک منبع اصلی برای گردشگری است؛ زیرا تعیین‌کننده‌ی تناسب مکان برای طیف وسیعی از فعالیت‌های گردشگری است، یکی از اصلی‌ترین عوامل جهانی در تقاضای گردشگری است و تأثیر مهمی بر هزینه‌های عملیاتی نظیر گرمایش و سرمایش، برف، آبیاری، تأمین مواد غذایی و آب و هزینه‌های بیمه دارد. تغییرات طول و کیفیت فصل‌های گردشگری وابسته به آب و هوا (به عنوان مثال تعطیلات ورزشی زمستانی یا آفتاب و دریا) بوده و می‌تواند پیامدهای مهمی برای روابط رقابتی بین مقاصد و گردشگری درون منطقه‌ای داشته باشد (UNWTO-UNEP-WMO, 2008). مطالعات نشان می‌دهد که با تغییر شرایط آب و هوایی، جذب گردشگر به سمت عرض‌ها و ارتفاعات بالا بسیار محتمل است. در نتیجه، موقعیت رقابتی بعضی از مناطق گردشگری محبوب، کاهش می‌یابد (به عنوان مثال مدیترانه در ماه‌های تابستان)، در حالی که انتظار می‌رود که شرایط گردشگری در مناطق دیگر (به عنوان مثال، جنوب انگلستان و یا جنوب کانادا) بهبود یابد (UNWTO-UNEP-WMO, 2008). اثرات دیگر شامل افزایش آسیب‌های زیربنایی، شرایط آمادگی اضطراری، هزینه‌های عملیاتی بالاتر (به عنوان مثال بیمه، سیستم‌های آب و برق) می‌گردد.

ب) تأثیرات غیرمستقیم تغییر محیط‌زیست: گردشگری اغلب بر اساس یک محیط طبیعی با کیفیت بالا است. تغییرات در دسترسی به آب، کاهش تنوع زیستی، کاهش زیبایی چشم‌انداز، تغییر تولید محصولات کشاورزی، افزایش خطرات طبیعی، فرسایش ساحلی، آسیب زدن به زیرساخت‌ها و افزایش بروز بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین، در سطوح مختلف بر صنعت گردشگری تأثیرگذار است (UNWTO-UNEP-WMO, 2008). برخلاف تأثیرات متنوعی از تغییر آب و هوایی بر گردشگری، اثرات غیرمستقیم تغییرات محیطی ناشی از محیط‌زیست احتمالاً منفی است. مناطق کوهستانی، جزایر و مناطق ساحلی به ویژه به تغییرات زیست‌محیطی ناشی از آب و هوا حساس هستند، همان‌طور که بخش‌های بازار گردشگری مبتنی بر طبیعت نیز حساس هستند، اگر کیفیت جاذبه‌ها به طور چشمگیری کاهش یابد، ممکن است مانع از بازدید گردشگران شود.

ج) تأثیرات سیاست‌های کاهش بر فعالیت گردشگری: سیاست‌های ملی یا بین‌المللی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به طور بالقوه بر گردشگری اثر می‌گذارد و سبب افزایش هزینه‌های حمل و نقل و تقویت نگرش‌های زیست‌محیطی می‌شود که گردشگران را مجبور به تغییر الگوهای سفر

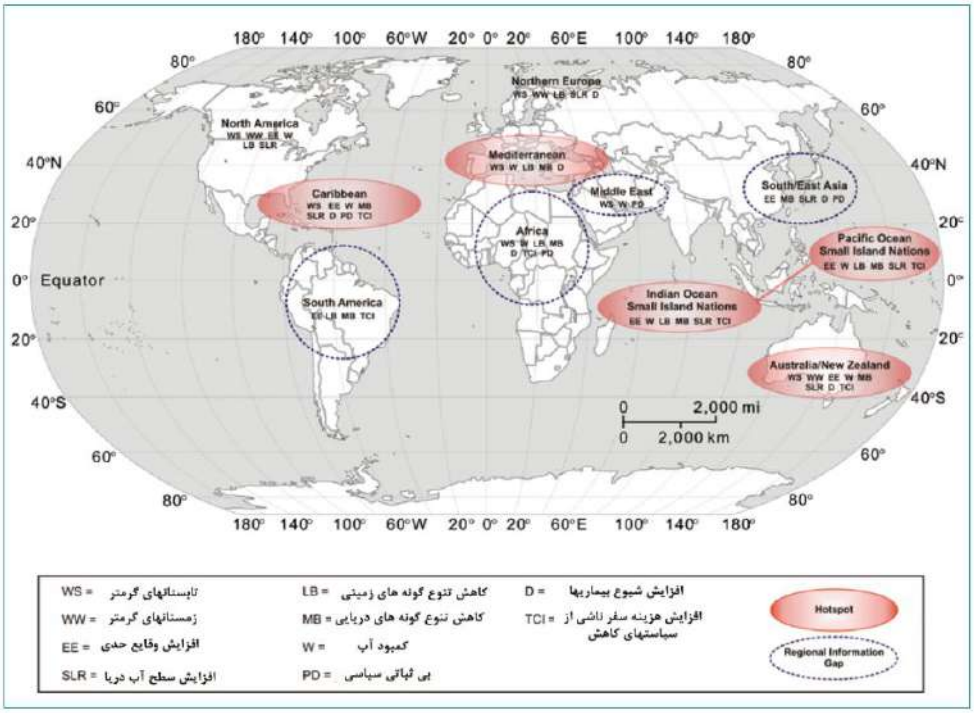
خود می‌کنند به عنوان مثال تغییر حالت حمل و نقل یا انتخاب مقصد از این دست موارد است (UNWTO, 2009).

د) تأثیرات غیرمستقیم تغییرات اجتماعی: سازگاری با تغییر آب و هوایی، هزینه‌های اقتصادی خواهد داشت. ممکن است تغییر آب و هوایی، رشد اقتصادی آینده و حتی ثبات سیاسی برخی از کشورها را تهدید نماید. هرگونه کاهش تولید ناخالص داخلی جهانی ناشی از تغییر آب و هوایی، پیامدهای منفی برای رشد پیش‌بینی شده‌ی آینده در گردشگری دارد. گردشگران با بی‌ثباتی سیاسی و ناآرامی‌های اجتماعی مخالف هستند و ممکن است تأثیرات منفی برای گردشگری به وجود آید (UNWTO, 2009).

گزارش استرن[1] در مورد اقتصاد تغییر آب و هوایی به این نتیجه رسید که اگر چه ممکن است گرمایش جهانی تا اندازه‌ی یک درجه سانتیگراد برای تولید ناخالص داخلی جهانی سودمند باشد، اما در نهایت، تغییرات بیشتر آب و هوایی سبب صدمه زدن به رشد اقتصادی در مقیاس جهانی خواهد شد (UNWTO-UNEP-WMO, 2008).

ه) نقاط آسیب‌پذیر: اثرات یکپارچه تغییر آب و هوا، عواقب بسیار وسیعی را برای کسب و کار و مقاصد گردشگری به همراه خواهد داشت. مهم‌تر از همه، تغییر آب و هوا، هر دو تأثیر منفی و مثبت را در بخش گردشگری ایجاد خواهد کرد و این تأثیرات به طور قابل توجهی با بخش بازار و منطقه‌ی جغرافیایی متفاوت خواهد بود. پیامدهای تغییر آب و هوایی برای هر کسب و کار یا مقاصد گردشگری نیز تا حدودی بستگی به تأثیرات بر روی رقبای خود دارد. ممکن است تأثیر منفی در یک بخش از سیستم گردشگری، سبب ایجاد فرصتی در جای دیگر شود. در نتیجه، برنده‌ها و بازنده‌ها در سطح کسب و کار، مقاصد و سطوح ملی خواهند بود. شکل ۵-۴، خلاصهء ارزیابی از بیشترین جاذبه‌های گردشگری در معرض خطر را برای میانه تا اواخر قرن ۲۱ را نشان می‌دهد. با توجه به اطلاعات بسیار محدود موجود در مورد تأثیرات بالقوه تغییر آب و هوایی در برخی مناطق گردشگری، این ارزیابی کیفی نیز باید با احتیاط در نظر گرفته شود. تا زمانی که ارزیابی سامانمند در سطح منطقه صورت نگیرد، ارائه گزارش قطعی در مورد اثرات اقتصادی یا اجتماعی خالص در بخش گردشگری امکان‌پذیر نخواهد بود. علاوه بر این، به احتمال زیاد نتیجه‌ی کلی به میزان تغییر آب و هوایی بستگی دارد. تأثیر در بخش گردشگری می‌تواند به طور موازی با اقتصاد جهانی باشد؛ یعنی افزایش درجه حرارت به میزان یک درجه سانتیگراد ممکن است منجر به سود خالص برای اقتصاد جهانی شود. اما افزایش بیشتر به طور فزاینده‌ای، منجر به کاهش سود خالص می‌گردد (UNWTO-UNEP-WMO, 2008).

[1] Stern



شکل۵-۴: توزیع جغرافیایی تأثیرات عمده تغییر آب و هوایی بر مقاصد گردشگری

۵-۴- اثرات مشاهداتی و آینده‌ی تغییر آب و هوا بر گردشگری

- **اثرات مستقیم**

به عنوان یک بخش، گردشگری به شدت در معرض اثرات فیزیکی مستقیم تغییر آب و هوایی، مانند افزایش درجه حرارت و افزایش سطح دریا است.

- **افزایش دما**

افزایش درجه حرارت می‌تواند اثرات مختلفی بر روی بخش گردشگری داشته باشد. بارش متغیر برف، عقب‌نشینی یخچال‌های طبیعی و زمستانهای خفیف، تعداد بازدیدکنندگان در مناطق ورزشی زمستانی در اروپا و آمریکای شمالی را کاهش داده است. گرمایش، تعداد استراحتگاه‌هایی که دارای برف همیشگی هستند، به ویژه در ارتفاعات کم را کاهش داده است و فصل اسکی کوتاه شده است. زمستان سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۷، گرمترین زمستانها در اکثر نقاط آلپ بود و تخمین زده شده است که گرمترین زمستان در هزاره گذشته در برخی نقاط است (UNEP, 2007). بر اساس تجزیه و تحلیل زمستان فوق‌العاده خفیف سال‌های ۱۹۸۹-۱۹۸۸، مشخص شده است که مناطق مرتفع بیش از ۱۰۰۰ متر، هنوز هم دارای پوشش برف طبیعی برای اسکی در زمستآنهای گرمتر هستند (Harrison et al, 1999).

با افزایش دما، گونه‌ها تغییر می‌کنند و به سمت قطب‌ها و ارتفاع‌های بالاتر می‌رسند که می‌تواند تأثیرات جدی بر محیط‌زیست گردشگری داشته باشد. درجه حرارت بالاتر می‌تواند منجر به آتش‌سوزی شدید و وسیع جنگل‌ها در نقاط مختلف جهان شود. در حال حاضر، گردشگران از نظر نوع آب و هوا، جنوب فرانسه، شمال ایتالیا و شمال اسپانیا را ترجیح می‌دهند. دمای هوا می‌تواند گردشگران را از ساحل دریای مدیترانه جنوبی دور کند. با این حال، مطالعات نشان داده‌اند که گردشگران ساحلی نه به درجه حرارت بالا، بلکه به باران وابسته‌اند. تغییر آب و هوایی می‌تواند منجر به کاهش میزان توزیع ثروت از کشورهای ثروتمند به کشورهای فقیر شود، همان‌طور که گردشگری در حال حاضر این امکان را فراهم می‌کند. ورود گردشگران از کشورهای سرد و غنی به کشورهای گرم و فقیرتر، کاهش خواهد یافت (Nicholls , 2014).

در افق ۲۰۵۰، تجزیه و تحلیل ۱۴۳ شهر در آمریکای شمالی، پتانسیل توزیع مجدد منابع آب و هوایی برای گردشگری به ویژه در سناریوهای انتشار بسیار بالا را در دهه‌های آخر قرن بیست و یکم مشخص می‌کند(Scott et al., 2004). احتمالاً در ماه‌های زمستان، تعداد شهرهای ایالات‌متحده آمریکا با رتبه‌های عالی و یا ایده آل افزایش می‌یابد، به طوری که جنوب فلوریدا و آریزونا با رقابت شدیدی برای تعطیلات مسافران برای استفاده از آفتاب زمستانه مواجه خواهند شد. در مقابل، رتبه‌های پایین‌تر زمستان در مکزیک نشان می‌دهد که این منطقه نمی‌تواند به عنوان یک مقصد آفتابی زمستانه و دریایی به رقابت بپردازد. به طور مشابه، تغییرات قابل توجهی در الگوهای مناسب آب و هوایی برای گردشگری در اروپا در اواخر قرن بیست و یکم میلادی پیش‌بینی شده است (Amelung and Viner, 2006) که عوامل محرک را تغییر داده و بر تصمیمات مربوط به مقصد گردشگری تأثیر می‌گذارد. منطقه مدیترانه در تابستانها جذابیت کمتری برای گردشگری خواهد داشت درصورتی‌که در بهار و پاییز جذابیت بیشتری دارد. به‌طور هم‌زمان، پیش‌بینی می‌شود مناطق با ریشه‌ی کهن گردشگری مدیترانه، به ویژه اروپای شمالی، برای فعالیت‌های گردشگری در طول سال، مخصوصاً در تابستان، مناسب‌تر باشند. در نتیجه احتمال دارد که بیشتر این مسافران در این زمان، اقامت در این منطقه را انتخاب کنند و همچنین تعداد بیشتری از مردم در ماه‌های تابستان از مناطق جنوبی به اروپای شمالی برای فرار از دمای بالای تابستآنهای گرم، تغییر مقصد دهند(Hamilton et al., 2005).

تغییرات پیش‌بینی شده در جدول ۵-۲ درجه روزهای سرمایشی و گرمایشی (HDD و CDD) را در دو مقصد مهم گردشگری در کانادا (تورنتو و ونکور) برای دوره‌ی با مرکزیت ۲۰۵۰ را با توجه به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تحت سناریوی تغییرات متوسط آب و هوایی نشان می‌دهد. در مقاصد معتدل مانند کانادا، هزینه‌های گرمایشی کاهش، اما هزینه‌های خنک‌سازی افزایش می‌یابد. در آب و هوای گرمتر، هزینه‌ها به سمت افزایش هزینه‌های سرمایشی، یک‌طرفه خواهد بود.

جدول ۵-۳ درجه روزهای سرمایشی و گرمایشی را برای دو شهر کانادا طی بازه ۲۰۷۰ تا ۲۰۹۹ با توجه به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نشان می‌دهد که بیان‌کننده افزایش نیاز به سرمایش است.

جدول۵-۲: تغییرات پیش‌بینی‌شده در درجه روزهای سرمایشی و گرمایشی طی دوره ۲۰۵۰ نسبت به ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (منبع (Scott and Jones, 2006)

مقصد	۲۰۴۰-۲۰۶۹	
	درجه روز سرمایش	درجه روز گرمایش
آبشار تورنتو-نیاگارا	+۲۳۹	-۲۳
ونکور ویستلر	+۸۲	-۲۹

جدول۵-۳: تغییرات پیش‌بینی‌شده در درجه روزهای سرمایشی و گرمایشی طی دوره ۲۱۰۰ نسبت به ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (منبع:Scott and Jones, 2006)

مقصد	۲۰۷۰-۲۰۹۹	
	درجه روز سرمایش	درجه روز گرمایش
آبشار تورنتو-نیاگارا	+۴۷۸	-۲۵
ونکور ویستلر	+۱۶۱	-۴۲

- **افزایش سطح آب دریا**

افزایش سطح دریا تأثیر زیادی بر گردشگری ساحلی خواهد داشت. افزایش آن، برخی از زیرساخت‌های گردشگری و جاذبه‌های گردشگری مانند سواحل را تخریب می‌کند. افزایش سطح دریا تا یک متر، باعث آسیب رساندن به ۶۰-۴۹ درصد از زیرساخت‌های گردشگری منطقه می‌شود. همچنین این عامل منجر به از دست رفتن یا آسیب ۲۱ فرودگاه و زمین‌های حدود ۳۵ بندر می‌شود (Nicholls, 2014). کاهش یخچال‌های طبیعی و کلاهک‌های یخی و افزایش درجه حرارت سطح اقیانوس‌ها باعث افزایش سطح آب دریا حدود ۱/۸ میلی‌متر در سال از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ و تقریباً ۳/۱ میلی‌متر در سال از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳ شد (IPCC, 2007c). هزینه بازسازی استراحتگاه‌های گردشگری تا سال ۲۰۵۰ از ۱۰ میلیارد دلار به ۲۳/۳ میلیارد دلار افزایش خواهد یافت. افزایش سطح آب دریاها و بارندگی‌های توفانی باعث فرسایش سواحل، تپه‌های ماسه‌ای و صخره‌ها می‌شود. سواحل تخریب‌شده، مطلوبیت مقصد را کاهش می‌دهند(Nicholls, 2014).

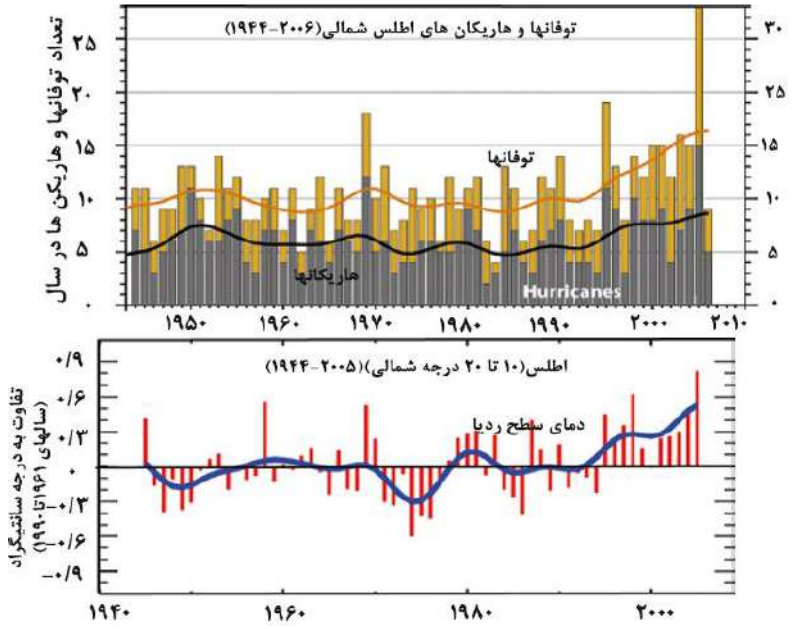
افزایش سطح آب دریا اهمیت زیادی برای گردشگری دارد. با توجه به اینکه اکثر فعالیت‌های گردشگری در مناطق ساحلی صورت می‌گیرد. سطح جهانی آب دریا می‌تواند از ۳۱ تا ۶۵ سانتی‌متر تا سال ۲۱۰۰ افزایش یابد که موجب فرسایش ساحلی و تخریب سواحل می‌گردد (Ruosteenoja et al., 2003). افزایش دمای اقیانوس‌ها و ذوب شدن یخچال‌های کوهستانی و کلاهک‌های یخی، سبب

گسترش آب دریا (۷۵-۷۰ درصد) می‌شود (IPCC,2007a). حتی افزایش اندکی در سطح دریا منجر به فرسایش و فروپاشی زمین، افزایش خطر سیل، آلودگی آبخوآنهای آب شیرین، از بین رفتن صخره‌های مرجانی محافظت‌شده، مناطق جنگل‌های حرا و سواحل شن و ماسه خواهد شد که موجب افزایش توفان در مناطق ساحلی می‌گردد. بیشتر تنوع زیستی و اکثر جمعیت، زمین‌های کشاورزی و دارایی‌های سرمایه‌ای در مناطق کوچک جزیره‌ای قرار دارند و بنابراین در معرض خطر هستند (Pelling and Uitto, 2001). این موارد پیامدهای عمده‌ای برای گردشگری دارد که باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در اقیانوس هند، متوسط سطح مالدیو تنها ۱/۵ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد و میزان پیش بینی شده افزایش سطح دریا احتمالاً موجب سیلابی کردن مناطق بزرگی از جزایر مختلف می‌شود. از ۱۱۹۲جزیره و جزایر مرجانی اقیانوسی، ۱۹۴ مورد از آنها دارای سکنه هستند و سواحلِ ۶۰ درصد از آنها در حال حاضر در معرض فرسایش قرار دارند (Pelling and Uitto, 2001). یک چهارم جمعیت هند در کنار خط ساحلی زندگی می‌کنند و تا حد زیادی وابسته به معیشت ساحل هستند و اگر سطح دریا در این مناطق افزایش یابد در این مناطق به خصوص در منطقه خلیج بنگال تأثیرات عمده‌ای خواهد داشت (UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2005).

- **وقایع حدی**

اطمینان زیادی وجود دارد که سریع‌ترین و مهمترین پیامدهای تغییر آب و هوایی احتمالاً تغییرات در ماهیت رویدادهای حدی (شامل سیل، سیکلون‌های حاره‌ای، موج‌های توفانی، امواج گرما) و تغییر آب و هوایی (مانند خشکسالی و باد غالب که فرسایش ساحلی را تسریع می‌کند) می‌باشد(IPCC, 2007c). مناطق ساحلی به شدت آسیب‌پذیر هستند. توفان در حدود یک سوم از همه‌ی بلایای طبیعی در سراسر جهان (با تعداد تلفات و زیانهای اقتصادی) نقش دارد در حالی که بیش از دو سوم از خدمات بیمه را خسارات ناشی از آنها تشکیل می‌دهند که در دهه‌های اخیر به شدت افزایش یافته است. افزایش در فراوانی سیکلون‌های حدی در دهه گذشته رخ داده است و پیش‌بینی می‌شود که این روند ادامه یابد و رویدادهای حدی‌تری را به همراه داشته باشد. رابطه‌ی علی بین تغییر آب و هوایی و در حوادث حدی فزاینده هنوز بحث‌برانگیز است. بعضی از دانشمندان نقش نوسانات چند دهه‌ای اطلس را در مقابله با فعالیت‌های گرم شدن کره زمین در دوره‌های توفانی ۳۰-۲۰ ساله که آخرین آنها در سال ۱۹۹۵ آغاز شد، برجسته می‌کنند. تلفات سنگین توفانهای ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ در خلیج مکزیک دلالت بر توسعه این چرخه دارد. تغییرات در سیکلون‌ها، توفانها در بسیاری از جزایر کوچک حاره‌ای و مناطق جنب‌حاره‌ای توسط حوادث النینو تعیین و با تغییرات دهه‌ای مشخص می‌شود. علاوه بر این، افزایش در توزیع توفانهای حاره‌ای در یک منطقه، با کاهش توفانها در مناطق دیگر همراه شده است. هرچند در طول دهه گذشته تعداد روزهای همراه با سیکلون و خود سیکلون‌ها در اکثر مناطق کاهش یافته است،

تعداد و درصد توفانهای حدی افزایش چشمگیری داشته است (Webster et al., 2005). این افزایش در شدت توفانها با افزایش دما در سطح دریا همخوانی دارد. گرم شدن دمای دریا برای مناطق کارائیب، اقیانوس هند و مناطق مدیترانه، بین ۰ تا ۰/۵ درجه سانتیگراد در هر دهه بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۴ متغیر است(IPCC, 2007c). به نظر می‌رسد شواهد نشان‌دهنده همبستگی بین درجه حرارت دریا و افزایش شدت توفان است(Webster et al., 2005). شکل ۵-۵ این موضوع را در مورد توفانهای اطلس شمالی نشان می‌دهد. در مقابل، سیل که معمولاً به حوادث آب و هوایی حدی مربوط است، در بسیاری از مناطق، بر روی هر دو جاذبه‌های میراث طبیعی و فرهنگی تأثیر می‌گذارد.

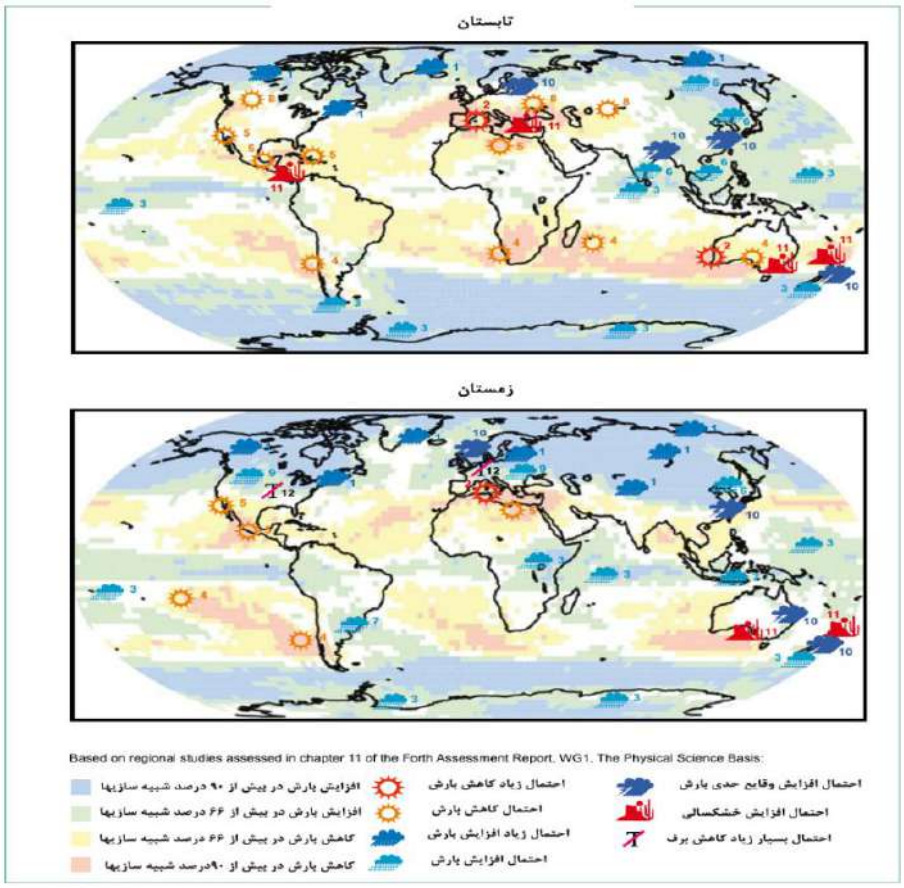


شکل۵-۵: توفآنهای اطلس شمالی با افزایش دمای سطح دریا، افزایش یافته‌اند(Pachauri and Jallow, 2007)

در افق ۲۰۵۰، همانطور که گفته شد یکی دیگر از تأثیرات مستقیم تغییرات در آب و هوا، وقایع حدی است. بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته تغییرات تعدادی از وقایع حدی آب و هوایی در نتیجه تغییر آب و هوایی رخ خواهد داد. این تغییرات عبارتند از: دماهای حداکثر بالاتر و افزایش روزهای گرم تقریباً در تمام مناطق زمین (احتمالاً)، توفانهای حاره‌ای حدی و بادهای با سرعت زیاد (به‌احتمال زیاد)، رویدادهای حدی بارش در بسیاری از مناطق زمین (به احتمال زیاد) و خشکسالی‌های طولانی‌تر و شدید در بسیاری از محیط‌های قاره‌ای در عرض‌های جغرافیایی میانه (احتمالاً). افزایش شدت توفانهای استوایی بر صنعت گردشگری از طریق افزایش آسیب‌های زیربنایی و برنامه‌ریزی‌های آمادگی اضطراری و هزینه‌های عملیاتی بیشتر تأثیر می‌گذارد(IPCC, 2007a).

بر اساس سناریوهای انتشار، دمای متوسط جهانی تا سال ۲۱۰۰، به میزان ۱/۸ تا ۴ درجه سانتیگراد افزایش یابد. احتمال می‌رود که گرمایش به‌طورکلی در آسیای مرکزی، فلات تبت و شمال آسیا خیلی بیشتر از میانگین جهانی، در آسیای شرقی و جنوبی بالاتر از میانگین جهانی و در آسیای جنوب شرقی، مشابه میانگین جهانی باشد. بارش در زمستان نیمکره شمالی به احتمال زیاد در آسیای شمالی و فلات تبت و احتمالاً در آسیای شرقی و بخش‌های جنوبی آسیای جنوب شرقی افزایش می‌یابد. بارش در تابستان احتمالاً در آسیای شمالی، آسیای شرقی، آسیای جنوبی و بیشتر آسیای جنوب شرقی افزایش می‌یابد، اما احتمالاً در آسیای مرکزی کاهش خواهد یافت. به احتمال زیاد امواج گرما در تابستان در آسیای شرقی طولانی‌تر و حدی‌تر خواهد شد. روزهای بسیار سرد در آسیای شرقی و آسیای جنوبی بسیار اندک است. به احتمال زیاد فراوانی حوادث حدی بارش در مناطق آسیای جنوب شرقی و آسیای شرقی افزایش خواهد یافت (شکل ۵-۶). احتمالاً بارش‌های شدید و باد با سیکلون‌های حاره‌ای در آسیای شرقی، آسیای جنوب شرقی و آسیای جنوبی افزایش می‌یابد. احتمالاً در اکثر مناطق امریکای شمالی، گرمای متوسط سالانه از گرمایش متوسط جهانی عبور می‌کند. به طور فصلی، احتمالاً در فصل زمستان در مناطق شمالی و در تابستان در جنوب غربی، گرمایش بالایی رخ خواهد داد. احتمالاً در شمال امریکای شمالی، دماهای حداقل زمستانه بیشتر از میانگین افزایش می‌یابد. احتمالاً در جنوب غرب، حداکثر دمای تابستان بیشتر از میانگین افزایش خواهد داشت. در جنوب کانادا، احتمال بارش در زمستان و بهار افزایش می‌یابد اما در تابستان کاهش می‌یابد (شکل ۵-۶). طول فصل برف و عمق برف در بسیاری از مناطق آمریکای شمالی کاهش می‌یابد البته احتمالاً در شمال کشور کانادا، حداکثر عمق برف افزایش می‌یابد. در جنوب امریکای جنوبی، گرمایش متوسط سالانه احتمالاً شبیه گرمایش متوسط جهانی اما در بقیه مناطق امریکای جنوبی، بزرگ‌تر از گرمایش متوسط جهانی است. بارش سالانه در اکثر آمریکای مرکزی و در آندهای جنوبی احتمالاً کاهش می‌یابد، اگر چه تغییرات در گردش جوی ممکن است منجر به تغییرات زیادی در میزان بارش در مناطق کوهستانی شود. در استرالیا احتمال دارد که گرمایش بیش از اقیانوس‌های اطراف باشد اما قابل مقایسه با میانگین جهانی است. گرمایش در جنوب، خصوصاً در زمستان، کم است، زیرا گرمایش در جزایر جنوبی نیوزیلند احتمالاً کمتر از میانگین جهانی است. احتمال دارد بارش در زمستان و بهار در جنوب استرالیا کاهش یابد. بارش زمستانه در جنوب غربی استرالیا بسیار کم است. احتمال دارد بارش در غرب جزیره جنوبی نیوزیلند افزایش یابد. تغییرات بارش باران در شمال و مرکز استرالیا نامشخص است. احتمال دارد که متوسط سرعت باد در جزیره جنوبی نیوزیلند، به خصوص در فصل زمستان، افزایش یابد. قطب شمال احتمالاً در طول این قرن بیشتر از میانگین جهانی گرم خواهد شد. گرمایش در زمستان به حداکثر خود می‌رسد و در تابستان کمترین میزان خود را دارد. به‌احتمال زیاد بارندگی سالیانه به میزان زیاد افزایش می‌یابد. به احتمال زیاد میزان بارش نسبی با حداکثر میزان زمستانه و حداقل میزان تابستانه

افزایش خواهد داشت. میزان و ضخامت یخ دریا در قطب شمال احتمالاً کاهش می‌یابد. قطب جنوب احتمالاً گرم و احتمال بارش در این قاره افزایش می‌یابد (UNWTO-UNEP-WMO, 2008).



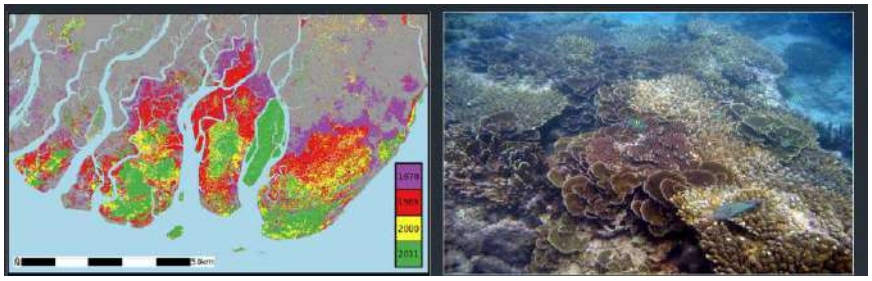
شکل۵-۶: تغییر آب و هوایی پیش بینی شده (IPCC, 2007a)

- **اثرات غیرمستقیم**

گردشگری از طریق اثرات غیرمستقیم، مانند تغییرات دسترسی به آب و گسترش برخی بیماری‌ها، تهدید می‌شود. بعضی از تأثیرات مثبت آن مانند جذابیت مناطق جغرافیایی جدید برای گردشگران و همچنین فرصت‌های گردشگری جدید است. گردشگری ساحلی بزرگ‌ترین بخش صنعت گردشگری جهانی است و بیش از ۶۰ درصد از اروپایی‌ها برای تعطیلات، مناطق ساحلی را انتخاب می‌کنند و این بخش بیش از ۸۰ درصد از درآمد گردشگری ایالات‌متحده را تشکیل می‌دهد. این مناطق به طور ویژه در معرض تغییر آب و هوایی در اقیانوس‌ها قرار دارند(Nicholls, 2014).

- **افزایش دما و اسیدیته شدن اقیانوس‌ها**

برآورد شده است که ۱۶ درصد از صخره‌های مرجانی جهان در رویداد النینو ۱۹۹۸-۱۹۹۷ نابود شده‌اند. در آفریقای جنوبی و شرقی، در سال ۲۰۰۰، این اتفاق با سیلاب گسترده فزاینده ترکیب شد که با افزایش میزان نابودی صخره‌های مرجانی از ۱۸/۶ درصد در سال ۱۹۹۹ تا ۵۱/۳ درصد در سال ۲۰۰۱ همراه بود (Perry, 2003). صخره‌های مرجانی یکی از جاذبه‌های مهم گردشگری در بسیاری از مناطق ساحلی و جزیره‌ای در سراسر جهان است، بنابراین هرگونه آسیب درازمدت ناشی از چنین حوادث، پیامدهای عمده‌ای برای صنعت گردشگری خواهد داشت. افزایش دما و اسیدی شدن اقیانوس‌ها، بر زیستگاه‌ها و موجودات دریایی تأثیر می‌گذارد. صخره‌های مرجانی به‌طور خاص تحت تهدید قرار دارند. صخره‌ها و موجودات دریایی که در آنها پناه می‌گیرند جاذبه‌های مهم گردشگری هستند. آنها سالانه ۱۱/۵ میلیارد دلار به درآمد گردشگری جهانی کمک می‌کنند. بیش از ۱۰۰ کشور از ارزش تفریحی صخره‌های مرجانی خود بهره‌مند هستند. اسیدیته شدن اقیانوس، قابلیت در دسترس بودن کربنات کلسیم برای مرجان سازی صخره‌ها را کاهش می‌دهد و منجر به تخریب صخره‌های مرجانی می‌شود (شکل ۵-۷). صخره‌ها نیز به درجه حرارت بالا حساس هستند که این عامل منجر به «گچی شدن» آنها می‌شود که در این حالت، میزان بالایی از مرجانها می‌میرند. گردشگران غواصی، مخصوصاً غواصان با تجربه‌تر، می‌توانند به این نوع گچی شدن مرجانی حساس باشند(Nicholls, 2014). اگر در شرایط مرجآنها بهبود حاصل شود، زیانهای سالانه اقتصادی در طی ده سال آینده حدود ۶-۷/۴ میلیون دلار محاسبه شده است. با وجود این، اگر بهبود قابل ملاحظه‌ای در مرجآنها یا رویداد گچی شدن وجود نداشته باشد، زیانهای اقتصادی بین ۱۵ تا ۲۷ میلیون دلار افزایش خواهد یافت.



شکل۵-۷: مرگ مرجانها به دلیل قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض افزایش درجه حرارت که موجب گچی شدن مرجان به دلیل اسیدی شدن اقیانوس می‌شود

- **اثرات روی منابع آب**

UNEP یادآور می‌شود که صنعت گردشگری یک مصرف‌کننده‌ی بی‌رویه از آب است و اثرات مصرف بی‌رویه و ناکارآمدِ منابع آب می‌توانند بسیار زیان‌آور باشند. بر اساس مطالعاتی که در اسرائیل صورت گرفته است به نظر می‌رسد استفاده از آب توسط هتل‌ها در امتداد رودخانه اُردن به خشک شدن

دریا کمک می‌کند و آب سطحی آن از سال ۱۹۷۷ به ۱۶/۴ متر کاهش یافته است (UNESCO, 2006). علاوه بر این، گردشگری گلف تأثیر زیادی بر روی برداشت آب دارد - یک زمین گلف با هجده چاله می‌تواند بیش از ۲/۳ میلیون لیتر آب در روز مصرف کند. به طور متوسط یک زمین گلف به ۱۰ تا ۱۵ هزار مترمکعب آب در هکتار در سال نیاز دارد. زمین گلف بین ۱۵۰-۵۰ هکتار را پوشش می‌دهد که به این معنی است که مصرف سالانه زمین گلف حدود یک میلیون مترمکعب در سال است که معادل مصرف آب در یک شهر با جمعیتی برابر ۱۲۰۰۰ نفر است (WWF, 2003). پیامدهای منفی گردشگری در زمینه تأمین آب باید در قیاس با عوامل مثبتی که برای اقتصاد منطقه- همانند ثبات و تجارتی که به ارمغان می‌آورد- در نظر گرفته شود.

- **اثرات روی تنوع زیستی**

تغییر آب و هوایی همچنین دارای پیامدهای جدی برای تنوع زیستی اکوسیستم‌های کوهستانی است. بسیاری از گونه‌های آلپ دارای ظرفیت محدودی برای حرکت به سمت ارتفاعات بالاتر در پاسخ به گرمایش و جابجایی گونه‌های دشت هستند. این مورد به خصوص در مورد جمعیت‌های جدا شده در جزایر کوهستانی درست است، جایی که، خطر انقراض موضعی قابل توجه است. از بین رفتن مراتع رنگارنگ کوهستانی و مهاجرت درختان در خطوط کوهی آمریکای شمالی و در کوه‌های آلپ اروپایی مشاهده شده است (Saunders and Easley, 2006) و برخی از گیاهانی که قبلاً در قلل کوه دیده شده‌اند ناپدید گشته‌اند. در بسیاری از نقاط، صخره‌ها عامل اصلی جذب (به عنوان یک جاذبه برای بازدیدکنندگان) برای گردشگران است و به همین دلیل یک دارایی اقتصادی عمده می‌باشند. بیش از نیمی از گردشگران که در حال حاضر از مناطق در امتداد سد بزرگ مرجانی دیدن می‌کنند، علاقه‌مند به صخره‌های دریایی هستند و تمایل به صرف هزینه در این زمینه دارند، آنها ۷۰ درصد کل هزینه‌های گردشگری را در این مناطق می‌پردازند (Hoegh-Guldberg and Hoegh-Guldberg, 2004). این بخش در فصلی جداگانه به نام تغییر آب و هوا و تنوع زیستی مورد بررسی بیشتری قرار می‌گیرد و به تغییرات آن در دهه‌های آتی اشاره می‌گردد.

- **اثرات روی چشم‌اندازها**

در چندین منطقه‌ی کوهستانی جهان که از اجزا و جاذبه‌های کلیدی گردشگری (آلپ، راکی، هیمالیا و آند) هستند، تغییرات زیست‌محیطی ناشی از آب و هوا ثبت شده است. یخچال‌ها یکی از مناظری هستند که به‌طور چشمگیری گردشگران را به مقصد کوه‌ها جذب می‌کند. در طول ۴۰ سال گذشته حدود ۷۰۰۰ کیلومتر مربع از وسعت یخچال‌های کوهستانی کاسته شده است (Dyurgerov, 2003). در طول قرن بیستم، یخچال‌های اروپایی در کوه‌های آلپ اروپایی به میزان ۳۰ تا ۴۰ درصد

کاهش یافته است (Haeberli and Beniston, 1998) و در همین دوره‌ی مشابه، ۲۵ درصد از آنها در کوههای راکی کانادا، کاهش یافته است(Luckman and Kavanagh, 2000). پارک ملی گلاسیر[1] در ایالات‌متحده آمریکا طی قرن گذشته ۱۱۵ فروند از ۱۵۰ یخچال طبیعی خود را از دست داده است و دانشمندان بر این باورند که ۳۵ یخچال در ۳۰ سال آینده ناپدید خواهند شد(Hall and Farge, 2003). علاوه بر اثرات زیبایی‌شناسی برای گردشگری، کاهش یخچال‌ها باعث افزایش ظرفیت ذخیره آب در کوه‌ها می‌شود و در نتیجه اکوسیستم‌های پایین دست و آب در بعضی از نقاط را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۵-۸).

شکل۵-۸: عقب‌نشینی یخچال‌های Muir و Riggs در پارک ملی Glacier Bay (آلاسکا، ایالات‌متحده آمریکا)(URL:5-1،Global Warming Art, 2007)

- **اثرات روی سلامت**

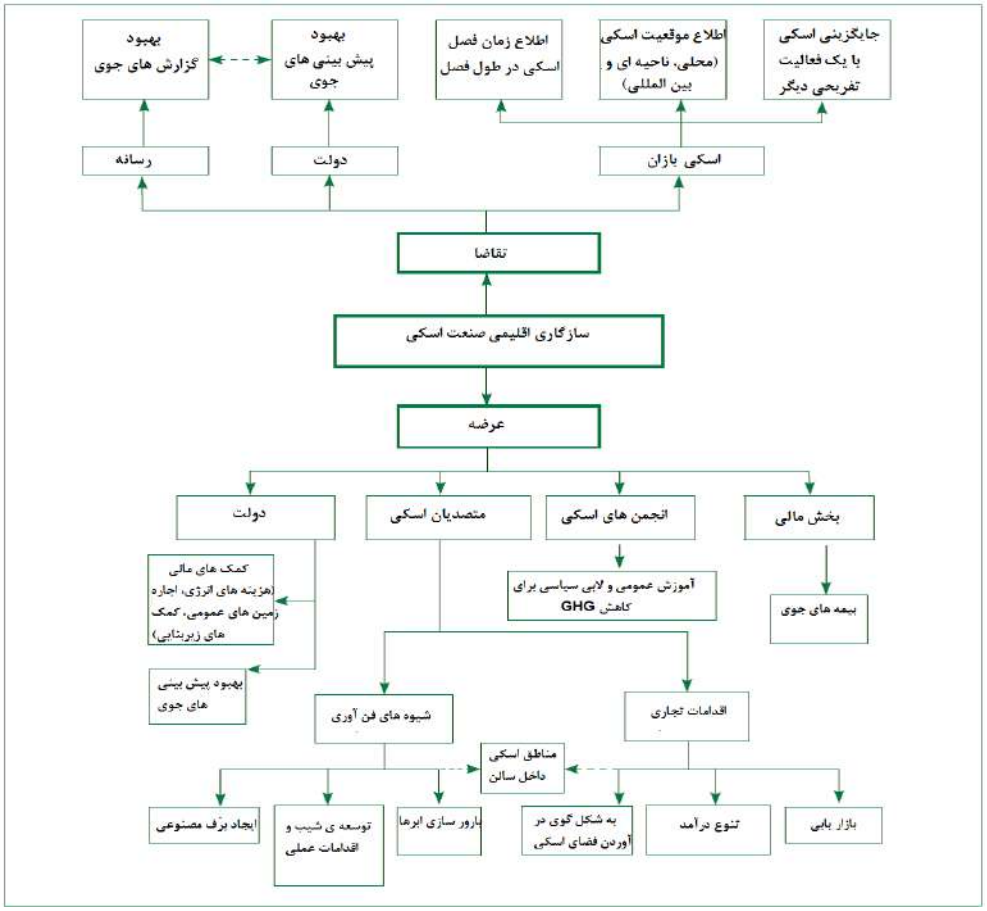
نقش بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین در بازدارندگی گردشگر به کشورهای اصلی این بیماری‌ها بسیار حائز اهمیت است. همان‌طور که در فصل سلامت نیز به آنها اشاره شده است آنها به شدت وابسته به تغییرات دما و بارش می‌باشند و در چند دهه اخیر افزایش آنها کاملاً آشکار است.

[1] Glacier

۵-۵- سازگاری در بخش گردشگری مرتبط با تغییر آب و هوا در مقیاس جهانی

- **سازگاری در مناطق کوهستانی**

ایجاد برف مصنوعی[1] در حال حاضر یکی از راه‌های سازگاری با آب و هوا در مناطق کوهستانی است، با وجود این، نسبت مناطق قابل اسکی و مجهز به ایجاد برف مصنوعی در حال حاضر تنها در ۵۰ درصد از اتریش، ۴۰ درصد از ایتالیا، ۱۸ درصد از سوئیس، ۱۵ درصد از آلپ فرانسه و ۱۱ درصد از آلمان (بایرن) تخمین زده شده است. شکل ۵-۹ سازگاری ورزش اسکی را با تغییر آب و هوا نشان می‌دهد (Nogués-Bravo, and Araujo, 2006).



شکل۵-۹: سازگاری ورزش اسکی با تغییر آب و هوا (Scott and McBoyle, 2006)

[1] snow-making

یکی دیگر از راه‌های سازگاری فنی با قابلیت برف همیشگی، ایجاد گنبدهای اسکی داخلی است. اولین آنها گنبد کازابلانکا، در سال ۱۹۸۶ در بلژیک افتتاح شد و از آن زمان، بسیاری از پیشرفت‌های فناوری در بیش از ۵۰ گنبد اسکی داخلی در سراسر جهان در سال ۲۰۰۵ فعالیت می‌کنند (Thorne, 2006). اکثر گنبدهای اسکی در اروپا و ژاپن هستند که در حال حاضر بزرگ‌ترین مرکز این گنبدها در دبی است.

- **سازگاری در جزایر کوچک**

با توجه به اثرات مختلف افزایش دما، تغییر بارش و باد و افزایش سطح دریا، محدوده وسیعی از اقدامات سازگاری با تغییر آب و هوایی برای مقاصد جزیره‌ای، وجود دارد که در جدول۵-۴ مشاهده می‌گردد:

جدول۵-۴: راه‌های سازگاری کشورهای جزیره‌ای کوچک در بخش گردشگری با تغییر آب و هوا (Becken and Hay, 2007)

اقدامات سازگاری	مرتبط با گردشگری	موانع اجرا	اقدامات برای حذف موانع
حفاظت ساحلی نرم	بسیاری از دارایی‌های ارزشمند گردشگری در معرض خطر افزایش فرسایش ساحلی قرار دارند.	فقدان گزینه‌های معتبر که نشان داده شده و پذیرفته شده‌اند.	نمایش حفاظت از آثار گردشگری
طراحی پیشرفته، استانداردها و دستورالعمل‌های برنامه‌ریزی	بسیاری از آثار ارزشمند گردشگری در معرض خطر رو به رشد شرایط آب و هوایی قرار دارند.	کمبود اطلاعات مورد نیاز برای تقویت برنامه ریزی	تأمین و اطمینان استفاده از اطلاعات هدفمند
پوشش مناسب بیمه	احتمال دارد که گردشگران و اپراتورها ادعای خسارت بیمه را افزایش دهند.	عدم دسترسی به بیمه مقرون به صرفه و عدم حمایت مالی	اطمینان حاصل کنید که بخش بیمه از سطوح واقعی خطر آگاه است و حق بیمه را تنظیم می‌کند.
تهیه سایه و تنوع محصول	پناهگاه سایه‌دار، احساس راحتی توریست را افزایش می‌دهد.	عدم آگاهی از افزایش تنش گرما برای مردم و محصولات	شناسایی، ارزیابی و اجرای اقدامات برای کاهش تنش گرما
کاهش فشارهای گردشگری بر روی مرجان	ریفها یک جاذبه توریستی مهم هستند.	کاهش فشار بدون تضعیف گردشگری	بهبود مدیریت گردشگری در جزیره
نمک‌زدایی، ذخیره‌سازی آب باران	استراحتگاه‌های گردشگری مصرف‌کنندگان اصلی آب شیرین هستند.	کمبود اطلاعات در مورد امنیت آینده آب شیرین	ارائه و اطمینان استفاده از اطلاعات هدفمند
فعالیت گردشگری / تنوع تولید	باید وابستگی گردشگری به «آفتاب، دریا، شن و ماسه» کم شود.	عدم وجود گزینه‌های قابل اعتماد که نشان داده‌شده و پذیرفته شده‌اند.	شناسایی و ارزیابی فعالیت‌های جایگزین و نمایش امکان‌سنجی آنها
آموزش و پرورش / آگاهی‌رسانی	نیازمند انگیزه کارکنان بخش گردشگری و همچنین گردشگران است.	عدم آموزش و پرورش و منابعی که از تغییر نگرش حمایت می‌کند.	انجام برنامه‌های آموزشی / آگاهی

- **سازگاری در مناطق ساحلی**

مدیریت مناطق ساحلی (CZM[1]) سطوح آلودگی محلی را کاهش داده و تلاش می‌کند تا انعطاف‌پذیری صخره‌ها را به تغییرات محیطزیست محلی و جهانی افزایش دهد.

۵-۶- ویژگی‌های گردشگری در ایران

بنا بر گزارش مجمع جهانی اقتصاد در سال ۲۰۱۳، ایران بر اساس شاخص رقابتی گردشگری در سالهای ۲۰۱۱ و۲۰۱۳، به ترتیب رتبه ۱۱۴ و ۹۸ را کسب کرده است (شکل ۵-۱۰) و از بسیاری از کشورهای آفریقایی همانند کنیا و نیکاراگوئه در سطح پایین تری قرار دارد و نکته جالب توجه تر اینکه در سال ۲۰۱۳ نسبت به ۲۰۱۱ این رتبه بهبود چشمگیری داشته است. همچنین رتبه ایران از ۱۵ کشور خاورمیانه بر اساس شاخص فوق "یازده" بوده است. بر اساس گزارش مجمع جهانی اقتصاد در سال ۲۰۱۵ رتبه ایران در رده جهانی و ناحیه‌ای به ترتیب ۹۷ و ۱۲ می‌باشد(WEF, 2015). اما جدیدترین گزارش این مجمع در سال ۲۰۱۸ نشان از رتبه بهتر گردشگری دارد که جایگاه ایران را در رتبه ۶۹ نشان می‌دهد (WEF, 2018).

شکل۵-۱۰: ورود گردشگران بین المللی به ایران در سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۳(WEF, 2015).

با توجه به رتبه‌های به دست آمده، جایگاه ایران از لحاظ گردشگری در رده تقریباً نامناسبی قرار دارد. اگرچه در قرارگیری ایران در این رده، عوامل مختلفی از جمله عدم کیفیت امکانات بهداشتی، نامناسب بودن راهها و زیرساختها، نبود و ضعف مدیریت یکپارچه، ضعف اطلاعات پایین و بسیاری از موارد دیگر دخالت دارند (طالقانی و مهدی زاده، ۱۳۹۶) اما یکی از دلایل مهم آن قرار گرفتن قسمت زیادی از ایران در نواحی خشک و نیمه خشک جهان است که عدم مدیریت این مناطق باعث شده که

[1] Coastal Zone Management (

این مناطق بسیار زیبا از یک فرصت خوب برای جذب گردشگر (همانگونه که کشورهای حاشیه ایران در آن موفق هستند) به ضعف و چالش تبدیل شوند چراکه یک گردشگر تناسب آب وهوایی محل را در نظر می‌گیرد. باتوجه به اینکه طی دهه‌های اخیر موضوع تغییر آب و هوا از جنبه‌های بسیاری مورد بررسی واقع شده است جالب است بدانیم آیا این تغییرات نقشی بر روند گردشگری ایران اثر داشته است یاخیر؟ از طرفی نیز اطلاعاتی که بتواند به طور کلی تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم آب و هوا بر صنعت گردشگری در ایران را توجیه نماید وجود ندارد. اما با توجه به تغییرات منابع آبی، افزایش دما و وقایع حدی انتظار می‌رود نقاط مختلف کشور شرایط بسیار متفاوتی را تجربه نمایند که مطالعات گسترده‌ای در این زمینه مورد نیاز است. بالا آمدن آب دریاهای ایران باید در بازه‌های زمانی حال و آینده مورد بررسی قرار گیرد. ذخایر مرجانی جنوب کشور و تأثیر اسیدیته شدن اقیانوس روی آنها باید مد نظر قرار گیرد علاوه بر اینها نقش بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین مانند مالاریا تا کنون بر روی گردشگران تفسیر نشده است در کنار این موارد نقش کمبود آب روی گردش پذیری جای بحث گسترده‌ای دارد.

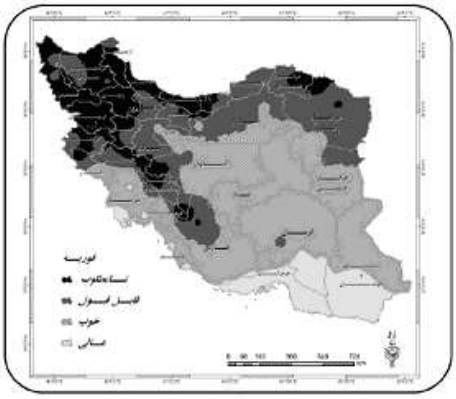
۵-۷- تغییرات میزان شاخص آب و هواشناسی گردشگری در دوره مشاهداتی و آینده کشور

فرج زاده و احمد آبادی(۱۳۸۸) با استفاده از شاخص آب و هواشناسی گردشگری (TCI[1]) میکزکوفسکی (Mieczkowski, 1985) به ارزیابی آب و هواشناسی گردشگری کشور پرداخته‌اند (شکل۵-۱۱). این شاخص به شکلی سیستماتیک شرایط آب و هوایی را برای فعالیت گردشگری با استفاده از پارامترهای میانگین حداکثر ماهانه دمای روزانه، میانگین دمای روزانه، حداقل رطوبت نسبی، میانگین رطوبت نسبی روزانه، بارش، کل ساعات آفتابی و سرعت باد مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این تحقیق، شاخص موردنظر برای ۱۴۴ ایستگاه سینوپتیک کشور که دارای آمار مشترک ۱۵ ساله (۲۰۰۴-۱۹۹۰) بودند محاسبه و سپس نتایج حاصله به پایگاه سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد شد و با استفاده از آن، پهنه‌بندی آب و هواشناسی گردشگری ایران در ماه‌های مختلف انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که شاخص آب و هواشناسی گردشگری ایران دارای تنوع زیادی در طی سال می‌باشد (شکل ۵-۱۱). طبق شاخص مذکور در ماه‌های فصل زمستان، مناطق جنوبی کشور از شرایط آب و هواشناسی گردشگری عالی برخوردار می‌باشد که به سمت مناطق شمالی شرایط مطلوب گردشگری کاهش پیدا می‌کند. در ماه‌های فصل بهار، نیمه شمالی کشور از شرایط مطلوب گردشگری برخوردار است، به استثنای مناطق شمال غربی و شمال شرقی که در اوایل بهار از وضعیت

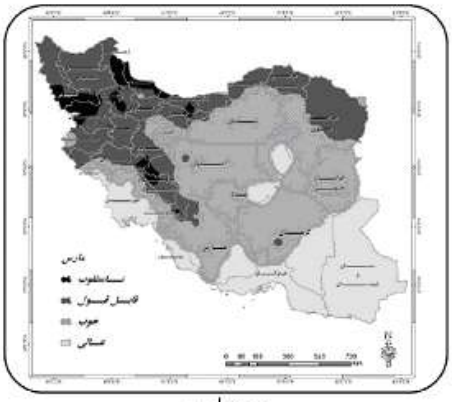
[1] Tourism Climate Index

نسبتاً نامطلوبی برخوردار هستند. در ماه‌های تابستان به استثنای مناطق شمال غربی و شمال شرقی که از وضعیت مطلوبی برخوردار هستند تقریبا شرایط نامطلوب در کل کشور استیلا پیدا می‌کند. در ماه-های فصل پاییز، شرایط آب و هواشناسی گردشگری مناسب به سمت نیمه جنوبی سوق پیدا می‌کند هرچند که در اوایل این فصل، سواحل شمالی کشور از وضعیت مطلوبی برخوردار هستند. بر اساس خوشه بندی انجام شده برای شاخص آب و هواشناسی گردشگری نیز، شش منطقه آب و هوا شناسی گردشگری برای کشور قابل تشخیص است که در هر یک از این مناطق، شرایط آب و هواشناسی گردشگری از ویژگی‌های همسان برخوردار است. شکل ۵-۱۲ نتایج بررسی‌های ماهانه شاخص آب و هواشناسی گردشگری در مورد ۵۵ ایستگاه سینوپتیک کشور طی سه دوره ده ساله را نشان می‌دهد. بر اساس شکل فوق تنها ماههای سرد فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر در برخی نواحی دارای تغییرات معنی دار در سطح ۰/۰۵ افزایشی یا کاهشی بودند. نواحی خیلی خوب نیز در ماههای فوریه، مارس و آوریل دارای یک روند معنی دار افزایشی بود. در صورتیکه نواحی نامطلوب ماه مارس روند کاهشی معنی داری را نمایش می‌دهد. در ماههای گرم روندها معنی دار نبود بدلیل اینکه تنها همین سه دوره مورد تحلیل‌های روند واقع شد. ماه می و ژوئن تغییرات مشابهی را نشان داد بطوریکه به جز نواحی خوب برای گردشگری دیگر نواحی دارای روند افزایشی مشخص بود. در ماه ژوئیه ، اوت، اکتبر و دسامبر نواحی خیلی خوب و ایده آل روند کاهشی را نمایش داد. ماههای زمستان روند کاهشی را در نواحی نامطلوب به میزان ۰/۴ تا ۴ درصد در دهه نشان می‌دهند. که در ماه مارس به‌طور معنی داری به میزان ۴ درصد دردهه مشخص است. نواحی نامطلوب ماههای می تا دسامبر به میزان ۰/۰۶ تا ۱۰/۵ درصد در دهه افزایش داشته است که بیشترین آن مربوط به ماه اوت به میزان ۱۰/۵ درصد در دهه می‌باشد. همانطور که از شکل ۵-۱۲ حاصل میگردد روند نواحی خیلی خوب برای دوره‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۱ و ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در ماههای فوریه، مارس و آوریل کاملا معنی دار و افزایشی است. در ماه مارس نیز روند نواحی نامطلوب روند کاهشی مشخصی را نمایش می‌دهد علاوه بر اینکه از نواحی ایده آل ماه نوامبر نیز کاسته شده است.

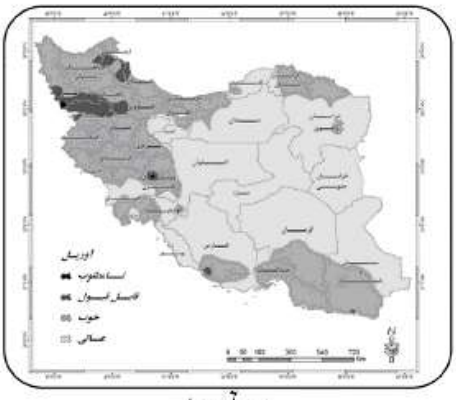
الف-ژانویه



ب-فوریه

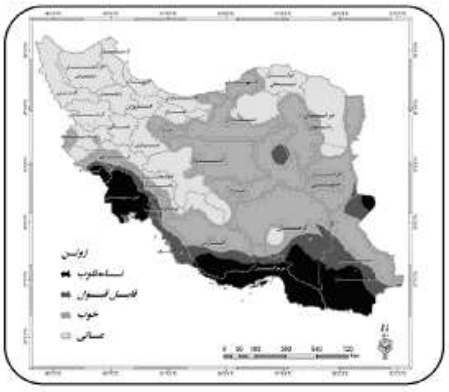


ج-مارس

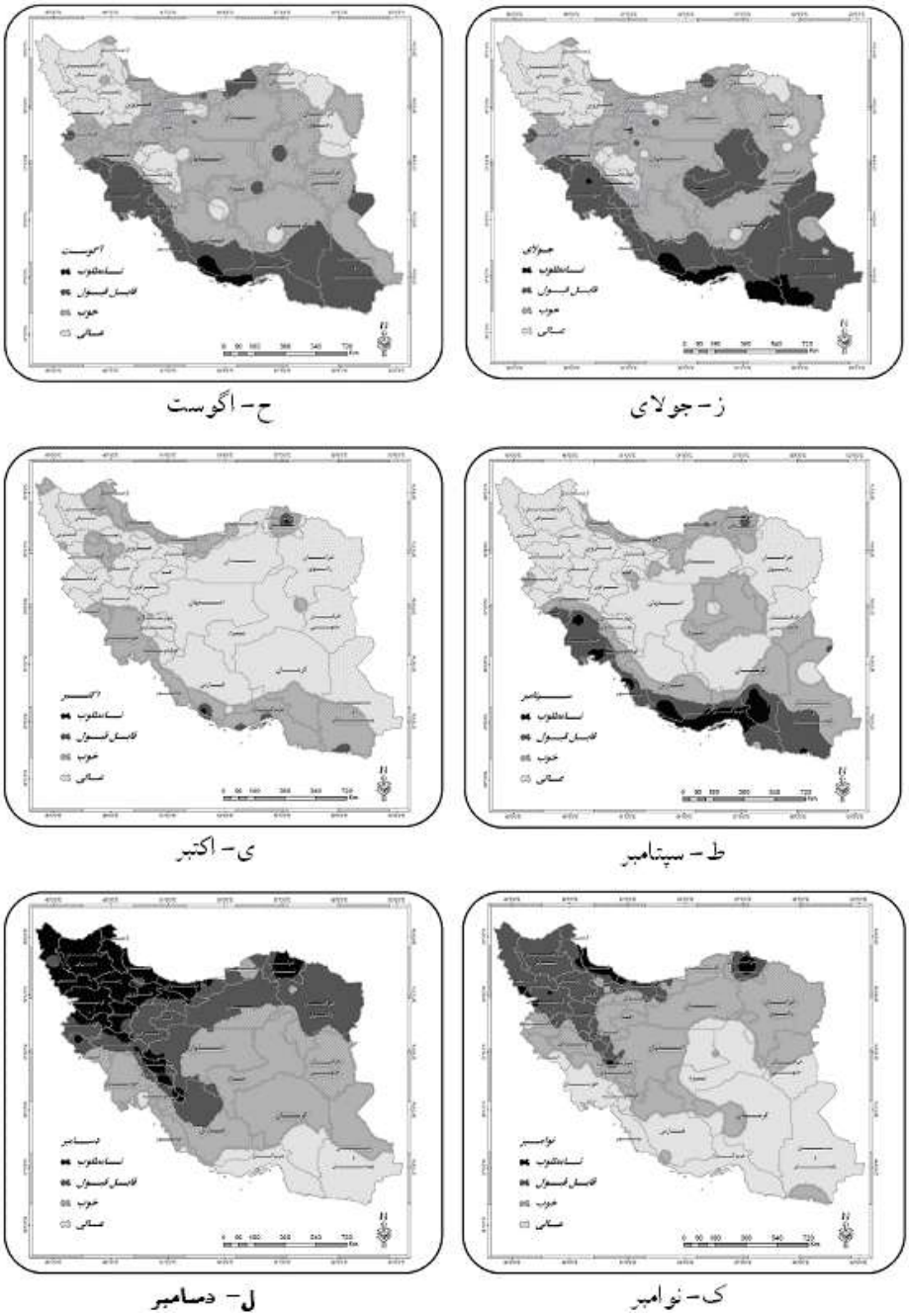


د-آوریل

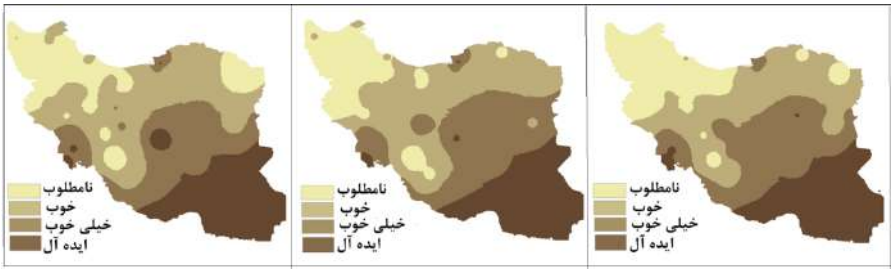
ه- مه



و- ژوئن



شکل۵-۱۱: شاخص اقلیم گردشگری در ماههای مختلف در ایران(فرج زاده و احمد آبادی،۱۳۸۸)

	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
ژانویه			

روند	R^2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
-	۰/۰۳	y = -0.4096x + 18.07	۱۸	۱۴/۸۳	۱۸/۸۶	۱
+	۰/۴۳	y = 1.3039x + 29.566	۳۲/۶۱	۳۳/۹	۳۰	۲
-	۰/۲۶	y = -0.6675x + 32.21	۲۹/۵۷	۳۲/۱۶	۳۰/۹	۳
-	۰/۱۶	y = -0.2267x + 20.14	۱۹/۷۶	۱۹	۲۰/۲۱	۴

فوریه

روند	R2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
-	۰/۳۵	y = -2.7108x + 19.25	۹	۱۸	۱۴/۴۳	۱
+	۰/۰۹	y = 1.016x + 23.889	۲۵	۲۹/۶	۲۳	۲
+	۰/۹۹	y = 3.6006x + 20.399	۳۱/۱	۲۷/۷۸	۲۳/۹	۳
-	۰/۰۶	y = -1.9059x + 36.461	۳۴/۸	۲۴/۵۲	۳۸/۶۱	۴

	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
مارس			

روند	R2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
-	۰/۹۸	y = -4.621x + 15.973	۲/۳۸	۶/۱۷	۱۱/۶۲	۱
-	۰/۵۹	y = -2.0576x + 22.24	۱۵	۲۰/۱۱	۱۹/۲	۲
+	۰/۹۹	y = 14.218x + 7.7829	۵۰/۵۱	۳۶	۲۲	۳
-	۰/۹۷	y = -7.5391x + 53.995	۳۲	۳۷/۶۵	۴۷	۴

	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
آوریل			

روند	R2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
-	۰/۹	y = -1.4188x + 13.7	۹/۲۳	۱۱/۴۴	۱۲	۱
+	۰/۰۱	y = 0.7556x + 33.59	۳۲/۶	۴۱/۶۱	۳۱	۲
+	/۹۹	y = 4.0621x + 20.23	۳۲/۳۴	۲۸/۵۲	۲۴/۲۲	۳
-	۰/۲۲	y = -3.3989x + 32.4	۲۵/۸۱	۱۸/۴۲	۳۲/۶۱	۴

	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
q			

روند	R2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
+	۰/۵۴	y = 1.3451x + 14.98	۱۹/۷۳	۱۶/۲۴	۱۷	۱
-	۰/۸	y = -6.0042x + 43.8	۲۷/۵۴	۲۸/۴	۳۹/۵۵	۲
+	۰/۱۵	y = 1.3026x + 29.28	۳۱/۴۵	۳۵/۳۶	۲۸/۸۵	۳
+	۰/۸۸	y = 3.3565x + 11.88	۲۱/۲۶	۱۹/۹۸	۱۴/۵۵	۴

ژوئن

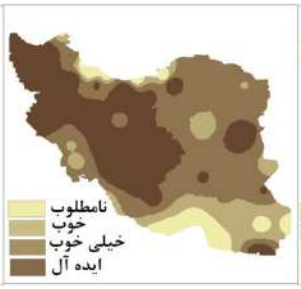
روند	R^2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
+	۰/۰۰۰۶	y = 0.0662x + 14.7	۱۶/۵۹	۱۱/۷۲	۱۶/۴۵	۱
-	۰/۷۴	y = -3.4514x + 41.8	۳۲/۶۹	۳۲/۶۲	۳۹/۵۹	۲
+	۰/۵۲	y = 3.2559x + 27.91	۳۵/۹۱	۳۷/۹۷	۲۹/۴	۳
+	۰/۰۰۵۵	y = 0.1293x + 15.41	۱۴/۷۹	۱۷/۶۷	۱۴/۵۳	۴

	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
ژوئیه			

روند	R^2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
+	۰/۲۶	y = 1.41x + 9.7861	۱۵/۳۶	۹/۹۱	۱۲/۵۴	۱
+	۰/۸	y = 1.2427x + 32.2	۳۵/۶۶	۳۵/۴۸	۳۳/۱۸	۲
-	۰/۲۴	y = -1.4531x + 43.2	۳۷/۴۱	۴۳/۳۴	۴۰/۳۱	۳
-	۰/۶۵	y = -1.199x + 14.65	۱۱/۵۵	۱۱/۲۵	۱۳/۹۵	۴

	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
اوت			

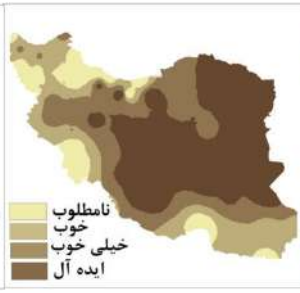
روند	R^2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
+	۰/۸۹	y = 10.439x + 1.003	۳۴/۳۸	۱۷/۷۵	۱۳/۵	۱
-	۰/۱۶	y = -3.8523x + 47.2	۳۰/۷۴	۴۹/۵۶	۳۸/۴۵	۲
-	۰/۵	y = -3.9279x + 36.4	۲۶/۸۶	۲۴/۱۲	۳۴/۷۲	۳
-	۰/۸۲	y = -2.6583x + 15.2	۷/۹۹	۸/۵۵	۱۳/۳۱	۴

	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
سپتامبر			

روند	R^2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
+	۰/۳۲	y = 0.6925x + 8.380	۱۱	۸/۶۱	۹/۶۴	۱
-	۰/۲	y = -2.2936x + 30	۲۵/۸۳	۲۰/۲۸	۳۰/۴۱	۲
-	۰/۱۹	y = -1.3145x + 44.9	۳۹/۴۶	۴۵/۴۳	۴۲	۳
+	۰/۵۱	y = 2.9162x + 16.56	۲۳/۶۷	۲۵/۶۶	۱۷/۸۳	۴

اکتبر			

روند	R^2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
+	۰/۹۷	y = 4.7915x + 3.69	۱۸/۴۶	۱۲/۴۸	۸/۸۸	۱
+	۰/۰۰۰۵	y = 0.0706x + 27.7	۲۶/۱۷	۳۱/۵۹	۲۶	۲
-	۰/۰۲	y = -0.1105x + 35	۳۵/۳۴	۳۴/۱۶	۳۵/۵۶	۳
-	۰/۸۸	y = -4.7515x + 33	۲۰	۲۱/۷۵	۲۹/۵۱	۴

	۱۹۸۱-۱۹۹۰	۱۹۹۱-۲۰۰۰	۲۰۰۱-۲۰۱۰
نوامبر			

روند	R2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
+	۰/۰۱	y = 0.4028x + 9.772	۸/۹۳	۱۴/۶۷	۸/۱۲	۱
+	۰/۴۵	y = 2.6946x + 22.51	۲۸/۸۸	۳۱/۳۲	۲۳/۴۹	۲
+	۰/۱۲	y = 2.328x + 19.808	۳۰/۳۱	۱۷/۴۱	۲۵/۶۵	۳
-	۰/۹۹	y = -5.4253x + 47.9	۳۱/۷	۳۶/۵۸	۴۲/۷۲	۴

دسامبر			

روند	R2	معادله تغییرات	مساحت دوره سوم	مساحت دوره دوم	مساحت دوره اول	ناحیه
+	۰/۷۸	y = 7.2937x + 1.51	۲۱/۱۶	۲۰/۵۶	۶/۵۷	۱
+	۰/۹۹	y = 4.3637x + 17.1	۳۰/۱۴	۲۶/۱۳	۲۱/۴۱	۲
-	۰/۹۷	y = -7.5048x + 46	۲۴/۱۹	۲۹/۷۷	۳۹/۲	۳
-	۰/۶۶	y = -4.1527x + 35.2	۲۴/۴۹	۲۳/۵۱	۳۲/۸	۴

شکل۵-۱۲: شاخص آب و هواشناسی گردشگری برای سه دوره مشاهداتی ۱۹۹۰-۱۹۸۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۱ و ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در ایران طی ماههای مختلف سال(منبع: نگارندگان).

نتایج این شاخص در ۵۵ ایستگاه مورد بررسی به شرح زیر است:

۱-تغییرات معنی دار در برخی ماه‌ها نظیر فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر در برخی نواحی طبقه بندی شده (نامطلوب، خوب، خیلی خوب و عالی) مشاهده شد که مشخص کننده نقش تغییر آب و هوایی بر روی شاخص آب و هوا گردشگری می‌باشد این بدان معناست که در ماههای زمستان نواحی خیلی خوب دارای یک روند افزایشی معنی دار بوده‌اند در صورتی که در تابستان از وسعت نواحی خوب، خیلی خوب و ایده آل کاسته شده است. روشن[1] و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی که از ۴۰ ایستگاه سینوپتیک ایران و روند تغییرات شاخص آب و هوا گردشگری انجام دادند مشخص کردند که روند دراز مدت این شاخص از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ شرایط را برای گردشگری در بیشتر ایستگاههای مورد مطالعه مطلوبتر کرده است.

۲-نواحی نامطلوب ماههای خیلی سرد زمستان درحال کاهش و در ماههای گرم تابستان، بهار و پاییز در حال افزایش می‌باشد. نواحی خیلی خوب در ماههای فوریه، مارس، آوریل روند افزایشی معنی دار و مشخصی را نشان می‌دهد، نواحی ایده آل در ماههای پاییز و زمستان روند کاهشی را نشان می‌دهند. فصل تابستان بیشترین نواحی شرایط نامطلوب را در دوره سوم دارد. روشن و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند ۵۰ درصد ایستگاههای مورد بررسی مطالعه‌ی آنها دارای پیک این شاخص در تابستان و ۱۷/۵ درصد آنها دارای پیک زمستانه‌اند و بقیه ایستگاهها نیز شرایطی مابینی دارند.

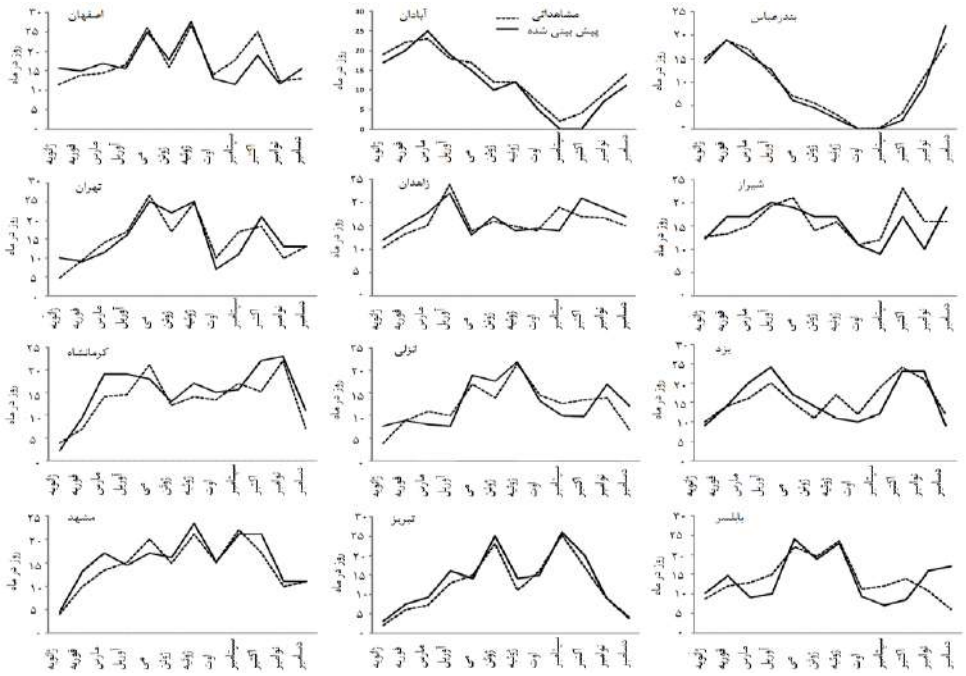
۳- فصل زمستان در ایستگاههای واقع در عرضهای پایین در ایران، تنوع فصلی در ایستگاههای واقع در عرضهای میانی‌تر، پاییز یا زمستان در ایستگاه‌های ساحلی و فصل بهار یا تابستان در ایستگاههای شمال غربی مساعدترین فصل برای جذب گردشگران می‌باشد. این نتایج منطبق بر کار فرج زاده و احمد آبادی (۱۳۸۹) با بررسی ۱۴۴ ایستگاه سینوپتیک مبنی بر مناسب بودن ماههای سرد سال برای استانهای جنوبی کشور، نامساعد بودن هوا در ماه مارس در نواحی ساحلی خزر، مساعد نبودن برخی مناطق ساحلی و مناطق غربی و شمال غربی منطبق بر ارتفاعات کشور در ماه آوریل، مساعد بودن در نیمه شمالی کشور و نامساعد بودن در نواحی جنوبی در ماه می، مساعد بودن هوا در نواحی مرتفع همانند نواحی شمال شرقی، شمال غربی و نواحی غربی و شمالی کشور در ماههای گرم ژوئن و ژوئیه، اوت و سپتامبر می‌باشد.

در افق ۲۰۵۰، روشن و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی ۴۰ ایستگاه سینوپتیک نتایج جدول ۵-۵ را در تغییرات شاخص آب و هواشناسی گردشگری برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ بدست آورد. همچنین نمودارهای شکل ۵-۱۳ تغییرات شاخص آب و هواشناسی گردشگری را برای دوره آینده ۲۰۴۰-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱ برای چند ایستگاه نمونه نشان می‌دهند که به وضوح ملموس تر از جدول ۵-۵ می‌باشد.

[1] Roshan

جدول۵-۵: میانگین دراز مدت شاخص آب و هواشناسی گردشگری برای چهل ایستگاه طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰(Roshan et al., 2016).

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
آبادان	۶۹	۸۳	۸۷	۷۵	۵۱	۳۶	۵۰	۳۷	۳۹/۵	۵۲/۳	۸۱	۷۳
اهواز	۶۵	۸۰/۴	۸۶	۷۱	۵۰	۴۰	۵۲	۴۱	۴۱	۵۷/۱	۸۲/۷	۷۰/۲
انزلی	۴۱	۴۱/۵	۵۹	۷۹	۷۸	۸۵/۵	۴۹	۶۰	۶۱/۳	۵۵	۴۹ ۴۵	۴۳
اراک	۴۷	۵۴	۵۹	۷۷	۹۳	۸۵	۸۵/۲	۷۱	۸۲/۶	۸۴	۶۵	۵۵
اردبیل	۳۹	۵۵	۵۸	۷۴	۸۱	۹۰	۸۵	۸۸	۸۵	۷۱	۵۵	۴۲
بابلسر	۴۸/۸	۵۰	۴۷	۶۸	۸۸	۷۶	۸۹	۴۵	۵۷/۷	۷۳	۶۴	۵۲/۲
بم	۷۲	۸۵	۸۶	۹۱	۶۶/۵	۴۵	۶۶	۴۳	۶۷	۸۸	۹۲	۷۸
بندرعباس	۸۲	۸۷	۷۹	۶۱	۴۲/۵	۳۷/۵	۴۵	۳۹	۳۹/۵	۴۹	۷۷	۸۵
بندرلنگه	۸۵	۸۸/۲	۸۳/۱	۶۸	۵۰	۴۰/۷	۵۲	۴۲	۳۶	۵۵	۸۱	۸۳/۹
بیرجند	۵۵	۴۷	۷۳	۸۶	۹۰	۸۵	۹۳	۶۹	۸۵	۹۲	۸۶	۶۰
بوشهر	۶۹	۷۷	۸۷	۸۱/۵	۵۵	۴۷	۴۹	۳۷	۳۵	۵۵	۸۳	۷۵/۵
چابهار	۸۲	۹۲/۵	۸۵	۶۹	۵۷/۷	۵۸	۴۹/۱	۴۹	۵۵	۵۷	۷۸/۸	۸۸
درفول	۶۳	۷۵	۸۳	۸۰	۶۶	۴۵	۵۲	۳۷	۴۹	۶۷	۸۲	۶۱
اصفهان	۵۵	۶۰/۱	۷۳	۹۳	۹۶	۸۰	۹۵	۶۴/۶	۸۵	۹۲	۷۶/۲	۵۶
فسا	۵۵	۶۶	۸۰	۹۰	۷۶	۶۴	۶۶	۶۰	۶۵	۹۰/۳	۸۸	۶۹/۲
قزوین	۵۳	۵۲	۵۹	۸۵	۸۹	۸۸	۹۴	۷۸	۸۵	۸۹	۶۶	۴۳
گرگان	۵۸	۵۷	۶۳	۷۷	۷۵	۶۴	۸۰	۴۷	۵۵	۷۶	۷۳	۵۵
همدان	۳۷	۵۵	۵۷	۷۴	۸۷	۹۳	۸۴	۷۵	۹۲	۸۷	۵۹	۴۳
ایرانشهر	۸۴	۸۸/۷	۸۴	۶۵	۵۳/۵	۴۵	۵۰	۳۷	۴۸	۶۰/۳	۹۱	۹۰
کاشان	۶۰	۶۰/۱	۶۹	۸۲	۷۱	۵۷	۸۲	۶۰/۴	۶۸	۸۹	۸۳	۶۰
کرمان	۵۷	۷۳	۷۸	۹۶	۹۴/۸	۸۰/۲	۹۲	۷۱/۲	۸۸	۸۲	۸۳	۶۷
کرمانشاه	۳۶	۵۵	۶۲	۸۵	۸۴	۸۰	۹۰	۶۷	۸۳	۸۹/۲	۶۵/۵	۴۱/۷
خرم آباد	۵۲ ۴۴	۵۲	۶۷	۸۵	۸۰	۶۳	۸۷	۵۹	۶۶	۸۷	۶۶	۵۷
مشهد	۴۶/۶	۵۴	۵۵	۸۰	۹۰	۸۲	۹۰	۸۰	۹۰	۸۳	۶۹	۵۵
نوشهر	۴۶/۵	۴۹	۵۱	۶۳	۸۳/۳	۷۶	۸۰	۴۷	۵۹/۳	۶۵	۵۲	۶۷/۱
ارومیه	۴۲/۳	۴۷	۵۹/۵	۷۴	۸۰	۹۲	۸۷	۸۷	۸۸	۸۵	۵۷	۴۲/۲
رامسر	۴۶/۵	۴۶/۵	۴۳	۵۸/۹	۷۸	۷۴	۷۹	۵۷	۵۵	۶۷	۵۵	۵۱/۵
رشت	۴۳/۳	۴۵	۴۷	۶۵	۸۱	۶۹	۶۵	۴۲	۵۱	۶۵	۵۲/۸	۴۷
سنندج	۴۳	۵۷	۵۰	۷۸	۸۷	۸۹	۸۹	۷۰	۹۲	۸۱	۵۷	۴۳/۲
سمنان	۶۲	۶۰	۶۶	۸۱	۷۸	۷۳	۸۹	۶۱	۸۶	۹۲	۶۴	۶۴/۲
شهرکرد	۴۷	۵۲	۴۹	۷۵	۸۸	۸۵	۹۵	۸۴	۹۱	۹۵/۳	۶۶	۵۱
شاهرود	۵۰	۴۸	۵۷	۸۳	۹۱	۸۷	۹۰	۸۸	۹۵	۹۰	۶۹	۵۷/۷
شیراز	۵۷	۶۷	۷۰	۸۸	۹۲	۷۸	۸۹	۶۲/۳	۷۱	۹۰	۸۵/۸	۵۳
تبریز	۳۷	۵۵	۵۹	۶۰	۸۹	۹۳	۸۵	۸۳	۹۶	۸۷	۶۳	۴۵
تهران	۵۵	۵۶	۵۷	۷۹	۹۰	۸۲	۹۷	۵۶	۸۳	۹۰	۶۸	۵۷
تربت‌حیدریه	۴۴	۵۶	۵۳	۸۲/۷	۹۲/۷	۸۷	۹۵	۸۸	۸۸/۴	۸۸	۶۶	۵۹
یزد	۵۹	۶۶	۸۳/۳	۹۴	۸۷	۷۰	۷۲	۵۷	۶۹/۶	۹۲	۸۴	۵۹/۳
زابل	۶۵	۷۷	۸۴	۸۳	۶۶	۵۰	۶۲/۵	۴۹/۳	۶۷	۸۸	۸۵	۷۱
زاهدان	۶۹/۴	۷۳	۸۷	۹۳	۸۱/۵	۶۹	۸۱/۲	۶۶/۴	۸۲/۲	۹۲	۸۸	۶۹/۹
زنجان	۴۶	۴۵	۶۱	۶۵	۸۷	۹۵/۲	۸۷	۹۰	۹۳	۷۷	۵۹	۴۰



شکل۵-۱۳: مقایسه میانگین شاخص آب و هواشناسی گردشگری طی دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ و دوره آینده ۲۰۴۰-۲۰۲۰ برای چند ایستگاه منتخب(منبع: Roshan et al., 2016).

۵-۸- راههای سازگاری با تغییرات آب و هوا در بخش گردشگری کشور

اهم این راهکارها عبارتند از:

- کاهش تعداد دام تا رسیدن به تعادل اکولوژیکی مقابله با آتش سوزی در جنگل
- کاهش مصرف چوب برای مصارف ناپایدار و مبارزه با بهره‌برداری‌های غیرقانونی
- سازگاری در بخش منابع آب و سلامت که در فصلهای پیشین به آنها پرداخته شد یکی از مواردی است که باید با تأثیر آن روی گردشگری مورد توجه باشد
- استفاده از راهکارهایی که در قالب مطالعات موردی مورد بحث قرار می‌گیرند و به نوعی استفاده از تجربیات روز دنیا می‌تواند کارساز باشد
- مدیریت در مناطق ساحلی و کوهستانی

منابع فصل پنجم

طالقانی، م، مهران مهدی زاده ۱۳۹۶. بهبود جایگاه رقابتی گردشگری ایران در منـاطق آسـیای میانـه، قفقاز و خاورمیانه، فصلنامه علمی پژوهشی سیاست جهانی، دوره ششم، شماره چهارم، ۲۳۷-۲۶۳.

فرج زاده، م و علی احمد آبادی، ۱۳۸۸. ارزیابی و پهنه بندی آب و هوا گردشگری ایران بـا اسـتفاده از شاخص آب و هوا گردشگری (TCI)، پژوهشهای جغرافیای طبیعـی (پـژوهش‌هـای جغرافیـایی) : بهـار ۱۳۸۹ ,دوره ۴۲ , شماره ۷۱ ;از صفحه ۳۱ تا صفحه۴۲ .

Amelung, B. and Viner, D., 2006: 'Mediterranean Tourism: Exploring the Future with the Tourism Climatic Index', Journal of Sustainable Tourism, 14 (4), pp. 349–366.

Becken, S. and Hay, J. 2007: Tourism and Climate Change – Risks and Opportunities.

Dyurgerov, M., 2003: 'Mountain and Subpolar Glaciers Show an Increase in Sensitivity to Climate Warming and Intensification of the Water Cycle', Journal of Hydrology, 282, pp. 164–176.

Haeberli, W. and Beniston, M., 1998: 'Climate Change and its Impacts on Glaciers and Permafrost in theAlps', Ambio, 27, pp. 258–265.

Hamilton, J. M. et al., 2005: Effects of Climate Change on International Tourism

Harris, C., L.U. Arenson, H.H. Christiansen, B. Etzelmüller, R. Frauenfelder, S. Gruber, W. Haeberli, C. Hauck, M. Hoelzle, O. Humlum, K. Isaksen, A. Kääb, M.A. Kern-Lütschg, M. Lehning, N. Matsuoka, J.B. Murton, J. Noezli, M. Phillips, N. Ross, M. Seppälä, S.M. Springman, and D.V. Mühll., 2009: Permafrost and climate in Europe: monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. Earth-Science Reviews, 92(3-4), 117-171.

Hall, M. and Farge, D., 2003: 'Modeled Climate-induced Glacier Change in Glacier National Park: 1850–2100,' BioScience, 53 (2), pp. 131–140.

Nogués-Bravo, D. and Araẋo, M.B., 2006: 'Species Richness, Area and Climate Correlates', Global Ecology and Biogeography, 15, pp. 452–460.

Hoegh-Guldberg, H. and Hoegh-Guldberg, O., 2004: The Implications of Climate Change for Australia's Great Barrier Reef, WWF Australia, Sydney.

Harrison, S. et al. (1999), 'The Potential Effects of Climate Change on the Scottish Tourist Industry, Tourism Management, 20, pp. 203–211.

IPCC, 2007a: The Physical Science Basis, Working Group I – Technical Summary. Summary for policymakers, working group I of the intergovernmental panel on climate change.

IPCC, 2007b: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007c: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers.

Luckman, B. and Kavanagh, T., 2000: 'Impact of Climate Fluctuations on Mountain Environments in theCanadian Rockies', Ambio, 29, pp. 371–280.

Mieczkowski, Z., 1985: The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism. Canadian Geographer, 29(3), 220-233.

NiCholls,M., 2014: Climate Change: Implications for Tourism, Key Findings from the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, university of Cambridge. National Level and the Implications for Adaptation', Global Environmental Change, 15, pp. 51–162

Pachauri, R. K, Jallow, B., 2007: Presentation of the WG I Report at the GMEF and UNEP GC-24 Nairobi, 6 February 2007, (Online), available: http://www.ipcc.ch/pdf/presentations/wg1-report-2007-02.pdf (12-12-2007).

Paerl, H.W. and J. Huisman, 2008: Climate – blooms like it hot. Science, **220(5872)**, 57-58.

Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, P., van der Linden, P. J. and Hanson, C. E., (eds), 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC , Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Perry, C. P., 2003: 'Reef Development at Inhaca Island, Mozambique: Coral Communities and Impacts of the 1999/2000 Southern African Floods', Ambio, 32 (2), pp. 134–139.

Pelling, M. and Uitto, J., 2001: 'Small Island Developing States: Natural Disaster Vulnerability and Global Change', Global Environmental Change Part B: Environmental hazards, 3 (2), pp. 49–62.

Roshan, G., Yousefi, R., Fitchett, J.M., 2016: Long-term trends in tourism climate index scores for 40 stations across Iran: the role of climate change and influence on tourism sustainability, International Journal of Biometeorology, Vol. 60, No. 1, P 33-52.

Ruosteenoja, K. et al. 2003: Future Climate in World Regions: An Intercomparison of Model-based Projections for the New IPCC Emissions Scenarios, The Finnish Environment 644, Finnish Environment Institute, Helsinki,

Scott, D. et al., 2004: 'Climate Change and the Distribution of Climatic Resources for Tourism in North America', Climate Research, 27 (2), pp. 105–117.

Scott, D., and Jones, B., 2006: Climate Change and Seasonality in Canadian Outdoor Recreation and Touris –Executive Summary, Report prepared for the Government of Canada Climate Change Action Fund,University of Waterloo, Waterloo, Ontario.

Saunders, S. and Easley, T., 2006: Losing Ground: Western National Parks Endangered by Climate Disruption, The Rocky Mountain Climate Organization, Louisville, CO and Natural Resources Defense Council, Newyork.

Scott, D. and McBoyle, G., 2006: 'Climate Change Adaptation in the Ski Industry', Mitigation and Adaptation Strategies to Global Change, [Electronic], SpringerLink.

Thorne, P. 2006: World Snowdomes, Snow Hunter Ltd, Kiltarlity Inverness.

UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), 2005: Climate Change Impacts on Sea Level in India, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, (Online), available: http://www.defra. gov.uk/environment/climatechange/internat/devcountry/pdf/india-climate-4-sealevel.pdf (13-12-2007).

UNEP, 2007: Europe Set for Warmer Northern Winters, Hotter Southern Summers and Worsening Droughts and Floods, Press release 10 April 2007, (Online), available: http://www.unep.org/Documents.Multilingual/ Default.asp?DocumentID=504&ArticleID=5560&l=en (17-12-2007).

UNESCO, 2006: 'Water and Tourism', UNESCO Water Portal Weekly Update, No. 155, (Online), available:

UNWTO, 2009. From Davos to Copenhagen and Beyond: Advancing Tourism's Respons to Climate Change UNWTO Background Paper.

UNWTO-UNEP-WMO, 2008: Climate Change and Tourism Responding to Global Challenges.

WTO, 2016:Anuual report

World Eeconomic Forum(WEF), 2018:" The Global Competitiveness Report, 2017-2018".

World Eeconomic Forum(WEF), 2015: "The Travel & Tourism Competitiveness Report 2015".

Webster, P. J. et al. 2005: Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment.

WWF, 2003: Development in the Drought: The Incompatibility of the Ebro Water Transfer with Sustainable Development in the Southeast Region of Spain, (Online), available: http://assets.panda.org/downloads/ developmentinthedrought_5104.pdf (17-12-2007).

URL 5-1: http://www.globalwarmingart.com/ wiki/Image: Muir_Glacier_jpg (17-12-2007)

فصل ششم

تغییر آب و هوا و تنوع زیستی

۶-۱- مقدمه

در مورد اینکه تغییر آب و هوا بر روی گونه‌های تنوع زیستی نیز تأثیر می‌گذارد بین دانشمندان اتفاق نظر وجود دارد. نتایج مطالعات آنها نشان می‌دهد که این تغییرات تا انتهای قرن بیست و یکم سبب کاهش تنوع زیستی خواهد شد. محافظت از منابع طبیعی، اکوسیستم‌های دریایی و آبهای شیرین و بازیابی اکوسیستم‌های در حال تخریب، برای پیمانهای مرتبط با تنوع زیستی[1] و UNFCCC حیاتی و مهم است. اکوسیستم‌ها دامنه وسیعی از خدمات اکوسیستمی که برای زندگی بشر و همچنین توسعه پایدار ضروری است را فراهم می‌کنند و نقش مهمی در چرخه کربن و سازگاری با تغییر آب و هوایی را ایفا می‌کنند. آنها می‌توانند به کاهش اثرات منفی تغییر آب و هوایی کمک نمایند. زیستگاه‌های محافظت شده یا احیا شده می‌تواند دی‌اکسید کربن جو را حذف و با همین ذخیره کربن به مسیر تغییر آب و هوایی کمک نماید. محافظت برخی اکوسیستم‌ها نظیر جنگل‌های حرا یا باتلاقها می‌تواند به کاهش اثرات فجایع آب و هوایی همانند سیل و توفان کمک نماید.

[1] Convention on Biological Diversity (CBD)

پوشش گیاهی از مهمترین واحدهای پوشش زمین می‌باشد که خود به دو گروه پوشش جنگلی و مرتعی طبقه‌بندی می‌شود که هریک از آنها دارای تقسیمات فرعی زیادی هستند. رشد پوشش گیاهی در هر منطقه تابعی از آب و هوای همان مکان است و به همین جهت هریک از پوشش‌های گیاهی در آب و هواهای خاص رشد می‌یابند. تغییرات در مقدار بارش و همچنین تغییرات دما به همراه تغییرات سایر عناصر آب و هوایی تأثیرهای زیادی در رشد پوشش گیاهی و سبزینگی آنها دارد و به همین دلیل تغییرات رخ داده در عناصر جوی در طی سالهای اخیر تغییرات زیادی را در پوشش‌های طبیعی زمین ایجاد نموده است و به همراه دخالت‌های بی رویه انسانها موجبات تخریب تدریجی پوشش‌های گیاهی را فراهم نماید.

در این فصل بر مهمترین اثرات تغییر آب و هوا بر تنوع زیستی و راههای سازگاری با آن اشاره می‌شود و در ادامه تنوع زیستی ایران نیز مورد بحث قرار می‌گیرد.

۶-۲- اثرات مشاهداتی و آینده‌ی تغییر آب و هوا بر تنوع زیستی

- **تغییرات جنگل‌ها و پوشش‌های گیاهی**

در تعریف جنگل می‌توان گفت منطقه وسیعی پوشیده از درختان، درختچه‌ها و گونه‌های علفی است که همراه با جانوران وحشی نوعی اشتراک حیاتی گیاهی و جانوری را تشکیل داده و تحت تأثیر عوامل آب و هوایی و خاکی قادر است تعادل طبیعی خود را حفظ کند. پوشش جنگلی با معیارهای عرصه بیشتر از ۰/۵ هکتار، پوشش درختی با ارتفاع بیش از ۵ متر و تاج پوشش بیش از ۵ درصد از غیر جنگلی تفکیک می‌شود (میرآخورلو و اخوان، ۱۳۹۶).

جنگل‌ها عمده ترین فراهم آورنده‌ی چوب، کاغذ، انرژی زیستی، آب، غذا، اکسیژن، و ایجاد کننده فرصت‌ها هستند و می‌توانند نقش اساسی در سنتهای فرهنگی بازی کنند. آنها زیستگاهِ کسر بزرگی از گونه‌های گیاهی و جانوری کره خاکی هستند(Gibson et al., 2011) . تغییر آب و هوا و جنگل‌ها به طور زیادی با هم مرتبط است. دمای هوا، تابش خورشید، بارش و دی اکسید کربن جوی، محرکهای اصلی تولیدات جنگل‌ها و پویایی آنها هستند. همچنین جنگل‌ها با رهاسازی یا حذف کربن از جو از طریق شیوه‌هایی نظیر جذب یا انعکاس تابش خورشید (آلبدو)، سرمایش تبخیر و تعرق، و تولید هواویزه‌های تشکیل دهنده ابر، آب و هوا را کنترل می‌کنند (Pielke et al., 2011). ترکیبی از مشاهدات زمین مبنا، بیلان کربن جو، و اندازه گیری‌های ماهواره‌ای، مشخص کرده است که جنگل‌ها چاهک یا حذف کننده‌ی خالصی از کربن در مقیاس جهانی هستند. تخمین زده شده که جنگل‌های سالم و بی

نقص در برگیرنده‌ی ۷۰ ± ۸۶۰ PgC[1] و جذب کننده‌ی ۰/۷ ± ۴ PgC در سال بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ بودند(Le Quéré et al., 2012). در مورد شاخص سبزینگی و یا NDVI[2] ، هیئت بین الدول تغییر آب و هوا در گزارش چهارم نشان داد که این شاخص دارای روند افزایشی در عرضهای بالای نیمکره شمالی است(Fischlin et al., 2007) اما مشاهدات دیگر عدم توزیع جغرافیایی و نرخ پایین‌تر این شاخص را نشان داده است.

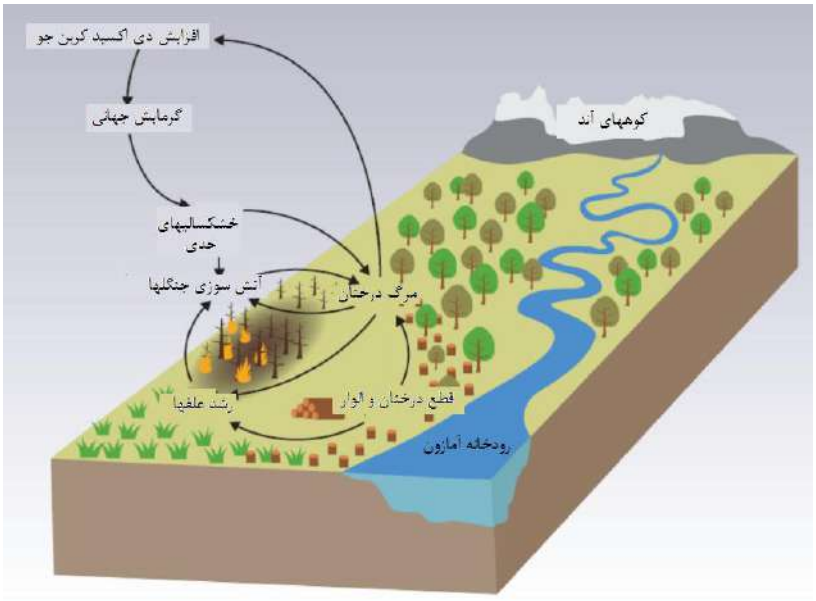
مراتع به کلیه اراضی که قسمت اعظم پوشش گیاهی کلیماکس آن متشکل از گراسها (علف گندمیان)، گیاهان پهن برگ و بوته‌های قابل چرای دام بوده و مقدار علوفه تولید شده برای برآورد احتیاجات چرایی دام می‌باشد اطلاق می‌گردد (مقدم، ۱۳۹۰). مراتع اکوسیستم‌های طبیعی هستند که مشخصه اصلی آنها پوشش گیاهی بومی می‌باشد. گیاهان غالب در مراتع عموماً مشتمل بر گندمیان، شبه گندمیان، پهن برگان علفی و یا بوته‌ها می‌باشند که برای انواع دامها مناسباند. مراتع شامل علفزارها و بوته زارهای طبیعی، جوامع گیاهی بیابانهای خشک، ساوان، تندرا، ارتفاعات کوهستانی، مردابهای ساحلی و چمنزارهای کف دره‌ها می‌گردند (مصداقی، ۱۳۸۲). بر اساس قانون حفاظت و بهره‌برداری از جنگل‌ها و مراتع، مرتع عبارت است از، زمینی اعم از کوه و دامنه و یا اراضی مسطح که در فصل چرا دارای پوششی از نباتات علوفه‌ای خودرو بوده و با توجه به سابقه چرا عرفاً مرتع شناخته شود. اراضی که آیش زراعت‌اند ولو آنکه دارای پوشش نباتات علوفه‌ای خودرو باشند مشمول تعریف مرتع نیستند (اسکندری و همکاران، ۱۳۸۷). مرتع شامل اراضی با پوشش طبیعی یا بذرکاری شده با گونه‌های بومی و غیربومی است که علوفه مورد مصرف دام را تأمین می‌نماید (Vallentin,۱۹۷۱). مراتع شامل کلیه مناطق با پوشش بوته، گراس، جنگهای غیر انبوه و همچنین مناطقی که به علت وجود املاح شن، صخره و خشکی محیط، امکان تولید جنگل تجاری و یا زراعت میسر نیست، می‌باشد (Hedy,۱۹۷۵).

در افق ۲۰۵۰، نتایج شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد که اثر همزمان افزایش دما و افزایش غلظت دی اکسید کربن بر رشد درختان به حداکثر خود خواهد رسید (Silva and Anand, 2013) و این گرمایش و تغییرات بارش منجر به افزایش نابودی در دامنه وسیعی از سیستم‌های جنگلی خواهد شد که این نابودی با تنشهای گرمایی، استرس خشکسالی، شیوع آفات و اثرات غیر مستقیم همراه است. هر کدام از جنگل‌ها چه در مناطق حاره، چه جنگل‌های شمالی و چه جنگل‌های معتدله مکانیزم خاص خودشان را دارند که باید به درستی میزان تغییرات آنها شبیه سازی شود. آتش سوزی جنگل‌ها از طریق مکانیزم

[1] Petagram of carbon==one Pg=10 [15]=one billion metric tonnes
[2] Normalized Difference Vegetation Index

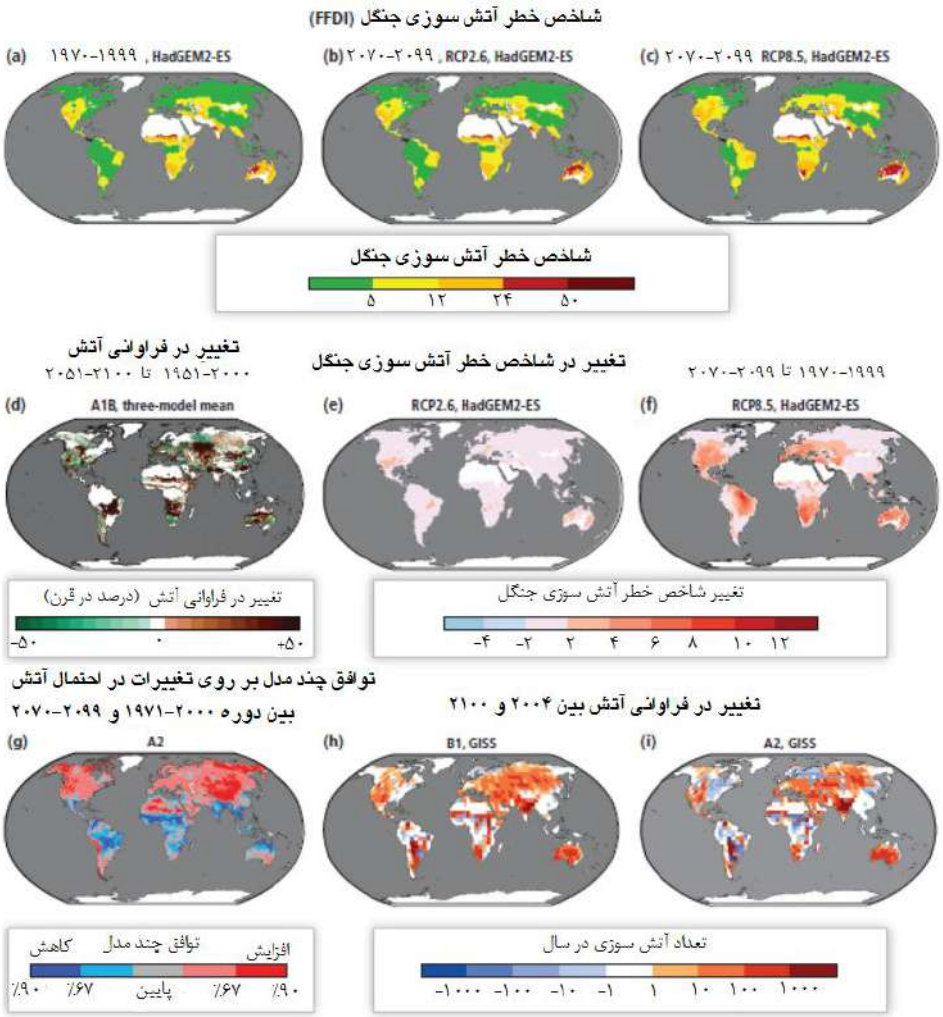
شکل۶-۱ تأثیر اساسی در نابودی جنگل‌ها و به تبع آن گونه‌های گیاهی و جانوری ارزشمند آن دارد. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ افزایش خطر آتش سوزی جنگل با همکاری عوامل دیگر گستره زیادی از جنگل‌ها را نابود نماید.

در افق ۲۱۰۰، همچنین بیشتر مدل‌ها نشان داده‌اند تا قبل از اتمام قرن ۲۱ ، افزایش دما، خشکسالی و آتش سوزی منجر می‌شود که جنگل‌ها به چاهک یا حذف کننده‌ی ضعیفترِ کربن خالص تبدیل شوند. با پیش‌بینی‌های صورت گرفته در مورد شاخص خطر آتش سوزی جنگل[1] نتایج نشان می‌دهد(شکل ۶-۲) که در سناریوهای با نرخ پایین انتشار (RCP2.5) خطر کمی از این لحاظ وجود دارد اما در سناریوهای با انتشار بالا (RCP8.5) خطر عمده‌ای جنگل‌ها را تهدید می‌کند. توافق اندکی وجود دارد که تغییر آب و هوایی به آتش سوزیهای کم و بیش فراوان در مکانهای مختلف منجر بشوند (Settele et al.,2014).



شکل۶-۱: جنگل‌های حوضه آمازون که از طریق خشکسالیهای شدید، کاربری اراضی و افزایش فراوانی آتش سوزی جنگل‌ها تغییر یافته‌اند(Settele et al., 2014)

[1] Forest Fire Danger Index (FFDI)



شکل۶-۲: تغییرات پیش بینی شده، احتمال و فراوانی خطر آتش سوزیهای جوی در جنگل با استفاده از روشها و مدلهای مختلف آب و هوایی(Settele et al., 2014)

- **تغییر در دامنه، فراوانی و انقراض گونه‌ها**

گونه‌های مختلف باتوجه به انعطاف پذیری فنوتیپ و سازگاری ژنوتیپ از طریق حرکت از آب و هواهای نامطلوب به سمت آب و هوای‌های مطلوب و یا از طریق انقراض به تغییر آب و هوا واکنش نشان می‌دهند(Dawson et al., 2011). سازگاری ژنوتیپ در رویارویی با فشارهای قوی تغییر آب و هوا عموماً با کاهش زیاد در فراوانی گونه‌ها همراه است. تغییرات دامنه گونه‌ها با تغییر در فراوانی آنها، انقراض محلی و مهاجرت همراه است که هشداری برای خدمات دهی اکوسیستمی است که می‌تواند بر

روی گونه‌های خاصی نظیر درختان، گرده افشانها و یا گونه‌هایی که منتقله از طریق ناقلین هستند تاثیر بگذارد. انقراض جهانی به نابودی دائمی شکل خاصی از زندگی منجر می‌گردد.

تغییرات مشاهداتی در آب و هوا از طریق تغییر در زمان بندی حوادث کلیدی، افزایش آسیب پذیری به آفات و فجایع آب و هوایی و تغییر شرایط زیستگاهی اثر می‌گذارد. طی دوره مشاهداتی افزایش وقایع حدی از طریق افزایش آسیب پذیری اکوسیستمها به تغییر آب و هوایی و افزایش خطر آتش سوزی، افزایش دمای اقیانوسها از طریق گچی شدن مرجانها، تغییر در توزیع گونه‌ها و کاهش حداکثر اندازه بدن گونه‌های آب گرم، تغییر بارش و ذوب یخ و برف از طریق افزایش فشارهای آب، کاهش کیفیت آب و افزایش آسیب پذیری، و تغییر در دماها و الگوهای فصلی از طریق تغییر در زمان بندی رخدادها، تغییر در الگوی مهاجرت و افزایش مرگ و میر در برخی نواحی تأثیر گذار هستند.

در کل یکی از مرگبارترین اثراتی که تغییر آب و هوایی تا به حال به دنبال داشته، تأثیر بر روی حیات وحش بوده است، تغییرات در درجه حرارت، آب و هوا و پوشش گیاهی، حیوانات را وادار می‌کند تا برای زنده ماندن به مناطق خنک‌تر زمین کوچ کنند، که این موضوع به احتمال زیاد بر روی حیات این حیوانات تأثیر خواهد گذاشت.

تغییر آب و هوایی به طور مستقیم و غیر مستقیم بر جانوران مؤثر است، به طوری که باعث تغییرات ژنتیکی و بروز بسیاری از بیماری‌ها در آنها شده است. مهاجرت زود هنگام پرندگان مهاجر، تغییر زمان تخم گذاری در دوزیستان، ظهور زود هنگام پروانه‌ها و تغییر رفتار جانوران از آثار مشهود تغییر آب و هوایی است؛ این گرمایش بسیاری از گونه‌های موجودات زنده را تا معرض انقراض پیش برده و برخی را به آفت‌هایی خارج از کنترل بدل کرده است.

مطالعات نشان می‌دهد که برخی از گونه‌ها در مناطق مختلف جهان در اثر گرمایش جهانی ناپدید شده‌اند. تغییراتی مانند شکل گیری زمستانهای کوتاهتر می‌تواند بین عناصر مختلف در یک اکوسیستم ایجاد تداخل کند، مانند دوره‌های زمانی تغذیه برای پرندگان جوانتر و تازه متولد شده و دسترسی به منابع غذایی مانند کرم‌ها یا حشرات برای غذا، که تغییر این روند، جوجه‌های تازه متولد شده را دچار مشکل می‌کند. ظرف ۲۰ سال گذشته گچی شدن مرجان‌ها در بسیاری از مناطق استوایی جهان افزایش چشمگیری یافته است. در آمریکای شمالی برخی پرندگان مانند پرستوی درختی یک هفته زودتر نسبت به گذشته تخم‌گذاری می‌کنند و بدین معناست که جوجه‌های آنها زودتر از فراوانی حشرات به عنوان منابع غذایی از تخم بیرون خواهند آمد و این عدم تطابق زمانی حیات این پرنده را به مخاطره خواهد انداخت. تغییر آب و هوا ممکن است سبب تسریع در انتشار عوامل بیماری زا و پاتوژنهای جدید، پارازیت‌ها، آفات و بیماریهای حیات وحش به مناطق جدید شود. افزایش دما باعث خواهد شد تا حشراتی که به عنوان آفت و یا عامل انتقال بیماری شناخته می‌شوند، قادر باشند تا در

مناطق سردتر و ارتفاعات بالاتر و به عنوان آفت برای گونه‌های دیگر فعالیت کنند. تغییر آب و هوایی، گستره جغرافیایی بسیاری از گونه‌ها را ممکن است به سمت دمای خنک‌تر تغییر دهد.

گرازهای دریایی که از یخها به عنوان سکویی برای شیرجه زدن در آب و از صدفهای کف دریا برای تغذیه استفاده می‌کنند، با آب شدن یخها و دور شدن آنها از فلات قاره به مناطق عمیق‌تر، دسترسی این گونه‌های دریایی به صدفها و منابع تغذیه‌ای با مشکل مواجه شده و آنها مجبور به طی مسافتهای طولانی می‌گردند تا بتوانند به منابع غذایی خود به آسانی دسترسی پیدا کنند. همچنین بسیاری از گونه‌های دریایی به خرس‌های قطبی، فک‌ها و پرندگان دریایی وابسته هستند و تغییر در تعداد و گستره جغرافیایی این جانداران ممکن است زندگی جوامع وابسته به قطب شمال را نیز دگرگون کند. با گرم شدن هوا جمعیت لاک‌پشت‌ها ممکن است به صورت تماماً ماده ظاهر شوند، چون جنسیت در تخم لاک پشت‌ها با دمای آب تعیین می‌شود. از سوی دیگر بالا آمدن آب دریاها، در نتیجه ذوب یخ‌های قطبی و از بین رفتن تخم و لانه لاک پشت‌ها در سواحل دریاها، تهدیدی است برای بقای جمعیت این گونه‌ها.

افزایش سطوح آب دریاها و تغییر شوری آنها، می‌تواند برای جنگل‌های حرا نیز بسیار تهدید کننده باشد و بسیاری از ماهیها، حلزونها و دیگر حیات وحش وابسته به این جنگل ها، نتوانند تخم ریزی کنند، تغذیه کنند و نوزادان خود را پرورش دهند. در یک چشم انداز آنچه که مشهود است این است که گونه‌ها ممکن است قادر نباشند خود را به تغییر آب و هوایی که به سرعت در حال جریان است سازگار کنند و لذا نتوانند خود را به مناطق مناسب زیست خود برسانند. یکی دیگر از اثرات تغییر آب و هوایی بر تنوع زیستی را می‌توان تأثیرات منفی این پدیده بر گونه‌های مهاجر از طریق مهاجرت‌های اجباری و تغییر مسیرها دانست. به علت گسترش بیابانها، پرندگان هنگام عبور از این مناطق با یک پرواز طولانی مواجه می‌شوند و چون دسترسی به زیستگاه‌های متفاوت و منابع گوناگون در طول مهاجرت برای آنها مقدور نیست، آسیب جدی متوجه آنها خواهد شد.

در افق ۲۰۵۰، تأثیرات عمده تغییر آب و هوا بر تنوع زیستی، اکوسیستم‌ها و مناظر می‌تواند در سه بخش طبقه‌بندی شود:

- اثرات در مقیاس‌های مختلف فضایی؛ جوامع بوم‌شناختی، بخش‌های زیست‌محیطی، سطح منطقه‌ای؛
- تأثیرات بر محیط‌های مختلف: خاک، رودخانه‌ها و خورها، مناطق ساحلی و اکوسیستم‌های زمینی؛
- تأثیرات در مناطق خاص مانند مناطق حفاظت شده.

بین ۲۰ تا ۳۰ درصد از گونه‌های گیاهی و حیوانی که تاکنون مورد ارزیابی قرارگرفته‌اند، احتمال دارد که در صورت افزایش دمای متوسط جهانی بیش از ۱/۵ تا ۲/۵ درجه سانتیگراد، در معرض خطر

انقراض باشند (IPCC, 2007c). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که با تغییر دما به میزان ۱/۴ درجه سانتیگراد تا سالهای ۲۰۶۵-۲۰۴۶، تغییرات ناگهانی و برگشت ناپذیر در پیدایش و عملکرد اکوسیستم‌ها تبدیل به یک تهدید جدی می‌گردد(Convention on Biological Diversity, 2016).

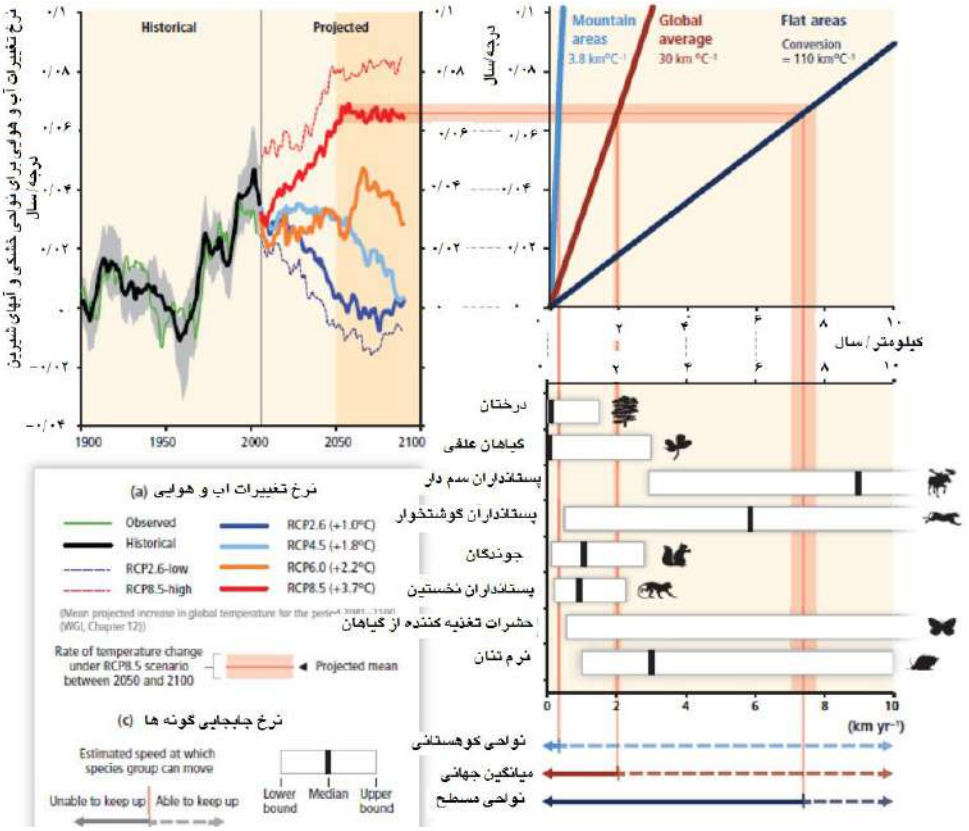
شکل ۶-۳ نمایش دهنده‌ی سرعت تغییرات آب و هوا[1] که همان نسبت نرخ تغییر آب و هوا در زمان (درجه سانتیگراد در سال) بر نرخ تغییر آب و هوا در فواصل مشخص (مانند درجه سانتیگراد بر کیلومتر) است و بستگی به میزان تغییر آب و هوای ناحیه‌ای دارد. این شکل مشخص می‌کند که سرعت آب و هوا برای دما در نواحی کوهستانی کم است بدین دلیل که تغییرات دما در فواصل کوتاه زیاد است. سرعت آب و هوا در نواحی مسطح بالاست بدین دلیل که میزان تغییرات دما در فواصل، اندک است. در نواحی مسطح و با پیش بینی بیشترین نرخ تغییر آب و هوایی (RCP 8.5) سرعت آب و هوا می‌تواند به ۸ کیلومتر در سال برسد. گیاهان علفی و درخت‌ها میزان جابجایی مکانی بالایی را نشان می‌دهند. بعضی از گونه‌ها نظیر پروانه، پرندگان و مهره‌داران ظرفیت بالایی در پراکنش میان چشم اندازها دارند و برخی از گونه‌ها این ظرفیت را ندارند. بشر نیز می‌تواند در پراکندگی گونه‌های گیاهی و جانوری نقش ایفا نماید. به عنوان مثال برخی گونه‌های درخت که از لحاظ اقتصادی مهم هستند در مقیاسهای بزرگی و در پی پیامدهای راهبرد سازگاری جابجا می‌شوند(Settele et al., 2014).

در مورد خطر انقراض سطح اطمینان متوسطی وجود دارد که حدود ۳۰-۲۰ درصد گونه‌های گیاهی و جانوری در خطر در حال افزایشِ انقراض هستند که این انقراض در نتیجه افزایش ۲ تا ۳ درجه در میانگین دما نسبت به سطح دمایی قبل از انقلاب صنعتی است.

در افق ۲۱۰۰، اکوسیستم‌های ساحلی و جزیره‌ای تحت تأثیر تغییر آب و هوایی قرار دارند. به طور مستقیم، رویدادهای حدی می‌توانند اکوسیستم‌ها مانند جنگل‌های حرا، جنگل‌هایی گرمسیری و یا صخره‌های مرجانی را از بین ببرند، در منطقه غربی آفریقای جنوبی، بعضی از مناطق به دلیل افزایش سطح دریا تهدید می‌شوند که همراه با پیامدهایی در اکوسیستم‌های ساحلی است(UNESCO-WHC, 2007). صخره‌های مرجانی به طور ویژه‌ای یک منبع حیاتی برای ساکنین مناطق مختلف محسوب می‌گردد. افزایش دمای سطح دریا و افزایش اسیدیته آب، تأثیر مهمی در زندگی دریایی و صخره‌های مرجانی خواهد داشت (Lesser, 2007). در کشورهای جنوب صحرای آفریقا تا سال ۲۰۸۰ تا ۴۰ درصد از گونه‌های موجود در پارک‌های ملی احتمالاً با فرض اینکه قادر به مهاجرت نباشند در معرض خطر قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، در جنوب اروپا، ممکن است فصول آتش سوزی طولانی گردد و تعداد روزهای همراه با آتش افزایش یابد. با این حال پیش‌بینی می‌شود، با افزایش رطوبت در شمال اروپا، آتش‌سوزی‌های جنگل کمتر شود. در آمریکای شمالی، خشکسالی شدید به خودی خود در مرگ جنگل سهیم بوده است و فراوانی، مدت و شدت آتش‌سوزی‌ها افزایش یافته است. آلودگی آفات نیز منجر به

[1] Climate velocity

مرگ جنگل می‌گردد (Nicholls, 2014). گزارش هیئت بین الدول تغییرات آب و هوایی نشان می‌دهد که تغییر آب و هوا و در پی آن اسیدی شدن اقیانوسها، هزینه‌های اقتصادی تا مقدار ۱۰۰ میلیارد دلار آمریکا تا سال ۲۱۰۰ را از طریق کاهش تولید صدفهای دریایی بر جای می‌گذارد(Convention on Biological Diversity, 2016).



شکل۶-۳: میزان تغییرات آب و هوایی تا سال ۲۱۰۰ (سمت چپ) و جابجایی گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری (سمت راست) باندهای صورتی افقی و عمودی تفسیر این شکل را بیان می‌کنند (Settele et al., 2014).

۶-۳- سازگاری و کاهش در بخش تنوع زیستی در مقیاس جهانی

در بخش تنوع زیستی راههای سازگاری و کاهش گسترده‌ای وجود دارد که در گزارش هیئت بین الدول تغییرات آب و هوایی ارائه شده است این سازگاریها عبارتند از:

- رویکرد ترکیبی مدیریت اکوسیستم بویژه در نظر گرفتن نواحی دریایی و ساحلی
- در نظر گرفتن نقش جنگل‌زدایی، تغییرات کاربری اراضی و کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای
- در نظر گرفتن نقش جنگل‌های حرا، علفزارهای دریایی و ماندابهای نمکی در ذخیره کربن

- محافظت از تنوع زیستی و استفاده پایدار از آنها
-بازیابی تورب‌زارها و علفزارهایی که تخریب شده اند
-جنگل‌زایی
-تأسیس برنامه‌های پایش اکوسیستم

۶-۴- مشخصات جنگل‌ها و مراتع کشور

بیشتر جنگل‌هایی ایران (شکل ۶-۶)، در نواحی شمالی در حاشیه جنوب دریای خزر جای دارند. این مناطق جنگلی دارای آب و هوای معتدل شرجی می‌باشند و از شرق استان اردبیل تا استان خراسان شمالی کشیده شده‌اند و در این امتداد، سه استان گیلان، مازندران و گلستان را دربر می‌گیرند. رشته کوه البرز که بلندترین رشته کوه خاورمیانه است، همچون دیواری در مقابل رطوبت ناشی از دریای خزر ایستاده و مانع نفوذ آنها به نواحی مرکزی ایران می‌شود؛ بنابراین این ابرها مجبور به بارش در نواحی شمالی می‌شوند و نواحی مرکزی خشک و بیابانی می‌شوند.

جنگل‌های شمالی بر روی هم به وسعت ۳۴۰۰۰۰۰ هکتار است که در دامنه‌های شمالی کوه‌های البرز و استانهای ساحلی دریای خزر گسترش یافته اند. مساحت جنگل‌های دیگر که پراکنده در سایر نقاط کشور می‌باشند تا سه میلیون هکتار است. از این جنگل‌ها تنها ۳/۱ میلیون هکتار برای بهره‌برداری صنعتی قابل استفاده است، بقیه جنگل‌ها به سبب عدم نگاهداری درست یا آسیب‌های طبیعی مورد بهره‌برداری نیستند. بر اساس اسناد و مدارک موجود، ایران از زمان باستان تا آغاز قرن هیجدهم دارای جنگل‌های بسیار و گوناگون بود. پهنه جنگل‌های موجود در ایران با مرزهای کنونی در زمان هخامنشیان به بیش از ۱۶ میلیون هکتار می‌رسید. از بین بردن جنگل‌های ایران از زمان حمله مغول آغاز گشت و به ویژه در سه قرن گذشته به بالاترین مقدار خود رسید. در زمان قاجار بین سالهای ۱۲۸۱ و ۱۲۹۱ نزدیک به ۱۳۰ هزار تن زغال چوب از بریدن درختان جنگلی ایران تولید و به خارج از کشور صادر شد.

جنگل‌های ایران در سه منطقه خشک، نیمه‌خشک و مرطوب پراکنده‌اند.

الف) جنگل‌های مناطق خشک ایران در دو ناحیه رویشی ایران- تورانی و خلیج- عمانی واقع شده‌اند. ناحیه رویشی ایران- تورانی وسیع‌ترین ناحیه رویشی ایران است که دامنه‌های جنوبی البرز، شمال‌شرقی، شرق، قسمتی از جنوب‌شرقی و مناطق مرکزی را شامل می‌شود. جنگل‌های اُرُس هزار مسجد خراسان رضوی و چهار باغ شاهرود در دامنه جنوبی البرز هستند که انواع درختان بادام، زالزالک و گلابی وحشی، نیز در میان آنها وجود دارد. مهمترین جنگل‌هایی بَنه و بادام کشور در رشته کوههای

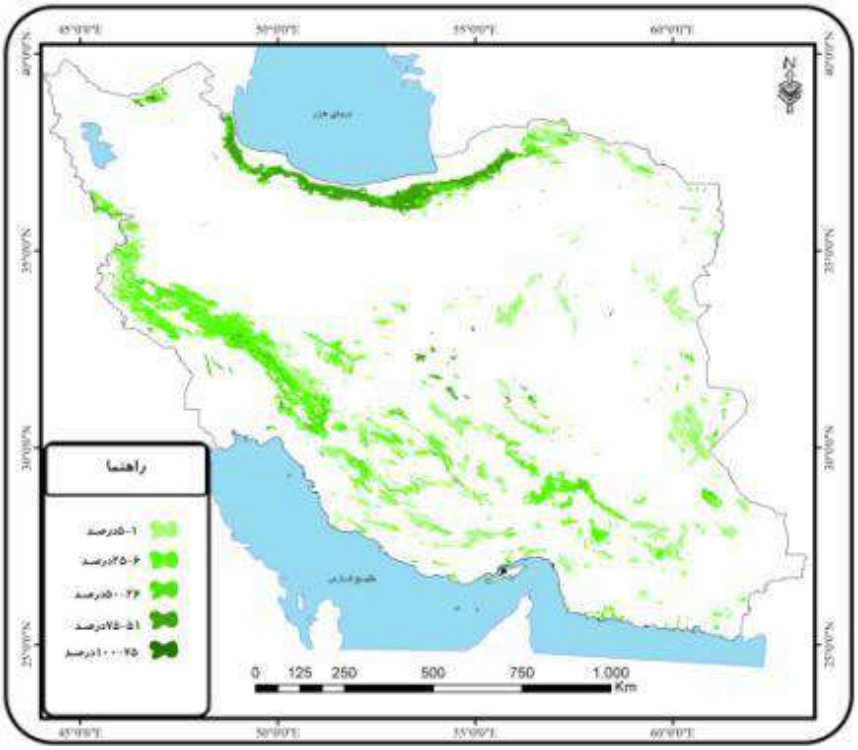
بارز، حوضه آبریز دریاچه بختگان، جنگل‌های تفتان و استان خراسان جنوبی است، انبوه‌ترین توده‌های جنگلی پسته در استان خراسان رضوی و گلستان نیز جزء این جنگل‌ها است (ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲).

ب) جنگل‌های مناطق نیمه‌خشک ایران در کوههای زاگرس از سردشتِ آذربایجان غربی تا کازرونِ فارس، کردستان، کرمانشاه، ایلام، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، فارس، خوزستان و همچنین ارتفاعات جنوبی البرز و دیگر مناطق کوهستانی و ارتفاعات گوناگون کشور به‌صورت تنک، دیده می‌شود. در این نواحی، جنگل‌های انبوه نیز وجود دارد و گاهی به جای جنگل، بوته‌زارهایی با درختچه‌ها و بوته‌های گوناگون با مراتع خشک مشاهده می‌شود. جامعه درختی آن شامل بلوط، بَنه، بادام، بید، صنوبر، ارس، گلابی، توت، سنجد، چنار، کیکم، سفیدار و ارغوان نیز وجود دارد (ثابتی، ۱۳۴۶).

جنگل‌های ناحیه رویشی خلیج‌ـ عمانی به صورت نوار باریکی از قصر شیرین در استان کرمانشاه آغاز می‌شود و تا جنوب شرقی ایران - مرز ایران و پاکستان- ادامه می‌یابد و به دو قلمرو خلیج و عمانی تقسیم می‌گردد. انبوه‌ترین جنگل گز و بیشه‌ای آن در حاشیه رودخانه کرخه و دز در استان خوزستان مشاهده می‌شود. از ویژگی‌های بارز پوشش گیاهی ناحیه خلیج‌ـ عمانی، جنگل‌های ماندابی و جنگل-های حرا است که از بندر عَسَلویه تا خلیج گواتر به صورت پراکنده وجود دارد و به جنگل‌های حرّا معروف است (ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲).

ج) جنگل‌های مناطق مرطوب ایران؛ این جنگل‌ها در دامنه‌های شمالی البرز، در حوضه دریای خزر، از آستارا تا گلیداغ در شرق گرگان امتداد دارند و به جنگل‌های هیرکانی و جنگل‌های خزری معروف‌اند. گونه‌های غالب تشکیل‌دهنده آن، راش، مَمْرَز، بلوط، توسکا، افرا و انجیلی‌اند (هدایتی، ۱۳۸۲).

جنگل‌های ایران به ترتیب مقدار تراکم، ۱۰۰-۷۶ درصد با ۸۶۰۱۵/۸ هکتار، ۷۵-۵۱ درصد با ۲۰۰۲۹۱۷/۹ هکتار، ۵۰-۲۶ درصد با ۱۶۱۷۹۳۵ هکتار، ۲۵-۶ درصد با ۵۵۹۰۱۸۷/۶ هکتار و ۵-۱ درصد با ۴۷۹۸۸۸۱/۳ هکتار می‌باشند (شکل ۶-۴)، بیشترین سطح پوششی را جنگل‌های با تراکم ۲۵-۶ درصد و کمترین سطح را مراتع متراکم در بر گرفته است.



شکل۶-۴: جنگل‌های ایران به تفکیک مقدار تراکم

درکل جنگل‌های ایران را می‌توان به پنج ناحیه رویشی به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱. ناحیه هیرکانی (خزری) که نوار سبز شمال کشور را تشکیل می‌دهد
۲. ناحیه ایران و تورانی که به‌طور عمده در مرکز ایران پراکنده شده‌اند
۳. ناحیه زاگرس که به‌طور عمده جنگل‌هایی بلوط غرب کشور را تشکیل می‌دهند
۴. ناحیه خلیج فارس که در نوار ساحلی جنوب پراکنده می‌باشند
۵. ناحیه ارسبارانی که متشکل از گونه‌های نادر و منحصر به فرد می‌باشند

به‌طور کلی مراتع طبیعی در کشور از نظر زمان رویش و فصل استفاده به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- مراتع تابستانه یا ییلاقی که بیشتر در ارتفاعات جبال البرز، زاگرس و سایر مناطق مرتفع عرض‌های شمالی‌تر کشور قرار گرفته و موعد استفاده از آنها از نیمه دوم بهار تا حداکثر اواخر تابستان می‌باشد.

۲- مراتع زمستانه یا قشلاقی که در جلگه‌های کم‌ارتفاع اطراف کویر مرکزی، دشت خوزستان و مناطق گرمسیری کشور، دشت مغان و گرگان قرار گرفته و بیشتر در فصل زمستان مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

۳- مراتع پاییزه و بهاره یا میانبند که در حد فاصل این دو قرار دارند.

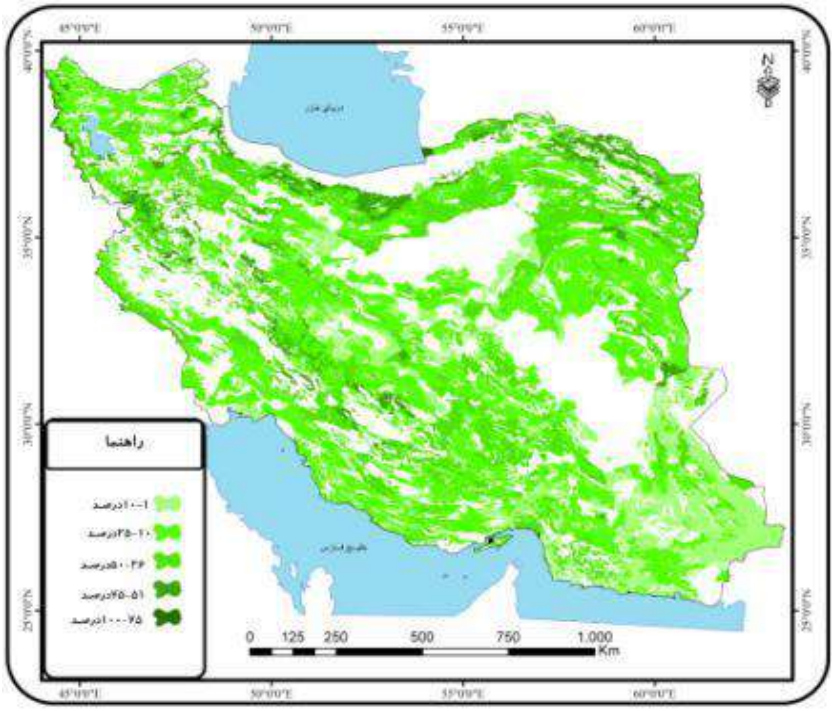
از نظر پوشش و میزان تولید علوفه نیز به سه دسته قابل تقسیم بندی هستند:

۱- مراتع علفی که در کوهستانها و مناطق مرتفع قرار گرفته‌اند و از نظر تراکم در وضعیت متوسط تا نسبتاً مرغوب قرار دارند

۲- مراتع بوته‌زار که در وضعیت ضعیفی قرار دارند

۳- مراتع بیابانی و نیمه‌بیابانی که در حاشیه مناطق کویری و بیابانی واقع شده‌اند و به صورت پراکنده می‌باشند(سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۶۶).

مراتع ایران به‌ترتیب مقدار تراکم، ۱۰۰-۷۶ درصد با ۲۲۶۲۷۳/۱ هکتار، ۷۵-۵۱ درصد با ۵۲۹۶۳۲۱/۵ هکتار، ۵۰-۲۶ درصد با ۲۷۱۹۴۲۹۴/۶ هکتار، ۲۵-۱۱ درصد با ۳۹۱۲۶۴۰۱/۴ هکتار و ۱۰-۱ درصد با ۱۴۲۶۳۲۰۳/۵ هکتار می‌باشند (شکل ۶-۵)، بیشترین سطح زیر پوشش مراتع را تراکم ۲۵-۱۰ درصد و کمترین سطح را مراتع متراکم دربر گرفته است. تفکیک بر حسب مقدار تراکم در جنگل‌های و مراتع ایران نشان‌دهنده، اثر تعیین‌کننده آب و هوا بر مقدار تراکم است، به‌طوری‌که اغلب سطح پوشش گیاهی پراکنده و فقیر (بیابانی و نیمه‌بیابانی) می‌باشد که در صورت عدم توجه، دچار تخریب و فرسایش شده و صدمات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست کشور وارد می‌شود.



شکل۶-۵: مراتع ایران به تفکیک مقدار تراکم

۶-۵- اثر تغییرات آب وهوا بر پوشش گیاهی در کشور

آنچه که از جدول ۶-۱ مشخص است تغییرات معنی دار و کاهشی جنگل‌های هیرکانی به عنوان مهمترین منبع جنگلی کشور طی سالهای اخیر است.

جدول۶-۱: تغییرات مساحت جنگل‌های هیرکانی در طی زمان (میرآخورلو و اخوان، ۱۳۹۶)

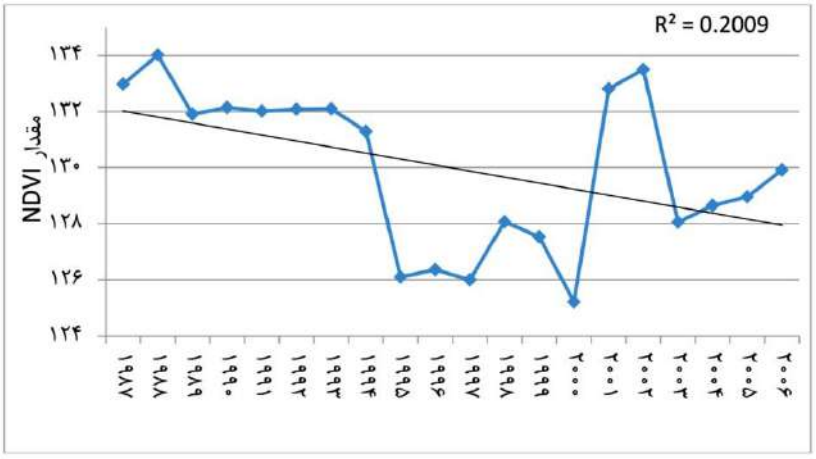
ردیف	منبع	سال	مساحت	توضیح
۱	کریم ساعی	۱۳۲۵	۳۴۰۰۰۰۰	-
۲	سازمان نقشه برداری کشور	۱۳۴۶	۱۹۸۹۴۸۵	-
۳	دکتر حبیب الله ثابتی	۱۳۵۵	۲۸۰۰۰۰۰	-
۴	FAO(Food and Agriculture Organization)	۱۳۶۰	۱۸۰۳۸۰۰	تاج پوشش بیش از ۵ درصد
۵	FAO(Food and Agriculture Organization)	۱۳۶۹	۱۷۷۱۰۰۰	تاج پوشش بیش از ۵ درصد
۶	سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱۳۷۳	۱۸۴۷۸۸۶	تاج پوشش بیش از ۵ درصد
۷	سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱۳۸۲	۱۹۳۶۰۰۰	تاج پوشش بیش از ۱ درصد
۸	موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور	۱۳۸۲	۱۸۱۱۷۸۸	تاج پوشش بیش از ۵ درصد
۹	موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور	۱۳۸۲	۱۷۱۱۷۸۸	تاج پوشش بیش از ۱۰ درصد
۱۰	FAO(Food and Agriculture Organization)	۱۳۸۴	۱۸۴۷۸۶۶	تاج پوشش بیش از ۵ درصد
۱۱	FAO(Food and Agriculture Organization)	۱۳۸۹	۱۸۴۷۸۶۶	تاج پوشش بیش از ۵ درصد
۱۲	سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱۳۹۴	۲۰۷۳۳۸۶	تاج پوشش بیش از ۵ درصد
۱۳	سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور	۱۳۹۴	۲۰۰۴۰۰۰	تاج پوشش بیش از ۱۰ درصد
۱۴	FAO(Food and Agriculture Organization)	۱۳۹۴	۱۹۳۹۴۹۴	تاج پوشش بیش از ۵ درصد
۱۵	موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور	۱۳۹۵	۱۶۵۰۴۹۸	تاج پوشش بیش از ۵ درصد

بر مبنای تحلیل شاخص NDVI یا پوشش گیاهی بر اساس مطالعات سنجش از دور، میانگین مساحت پوشش گیاهی بر اساس شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده در دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۸۷ برای هر ماه در جدول ۶-۲ نشان داده شده است. کمترین مساحت پوشش گیاهی در ماه ژانویه مشاهده می‌شود که در حدود ۱۳/۹۹۶ میلیون هکتار می‌باشد. بیشترین مساحت پوشش گیاهی در ماه آوریل به مقدار ۶۷/۲۵ میلیون هکتار می‌باشد. همچنین مقادیر حداکثر از میانگین ۲۰ ساله برای هر ماه محاسبه شده است (جدول۶-۲)، از ماه ژانویه تا ژوئن روند صعودی و از ماه ژوئیه به بعد با آغاز تابستان و خشک شدن پوشش گیاهی روند نزولی آن شروع می‌شود. بیشترین مقدار NDVI (۱۸۷) در آخرین ماه بهار (ژوئن) و کمترین مقدار NDVI (۱۴۲)در اولین ماه زمستان (ژانویه) می‌باشد.

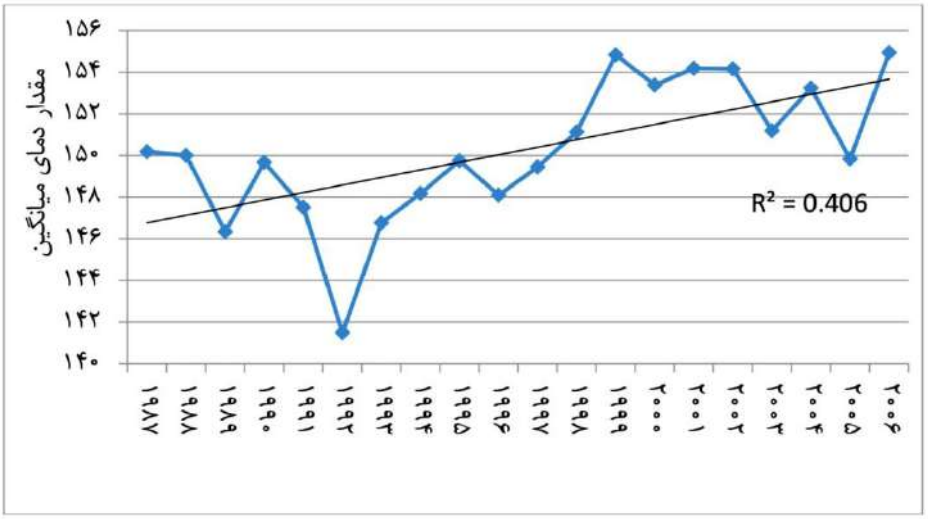
جدول۶-۲: مساحت (به هکتار) پوشش‌گیاهی بر اساس شاخص NDVI و مقادیر حداکثر

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر
مساحت	۱۳۹۹۶۱۶۴	۲۹۲۷۲۷۷۶	۴۳۶۶۱۱۷۱	۶۷۲۵۶۰۶۱	۴۴۸۷۳۶۷۷/۸	۳۶۳۴۸۵۳۵	۱۹۷۲۴۱۹۷	۱۹۲۱۳۳۵۶/۹	۴۳۲۱۷۹۱۲/۵	۲۹۶۰۳۶۱۱/۹
حداکثر مقادیر	۱۴۲	۱۶۲	۱۷۲	۱۷۷	۱۸۲	۱۸۷	۱۷۷	۱۷۷	۱۷۲	۱۶۲

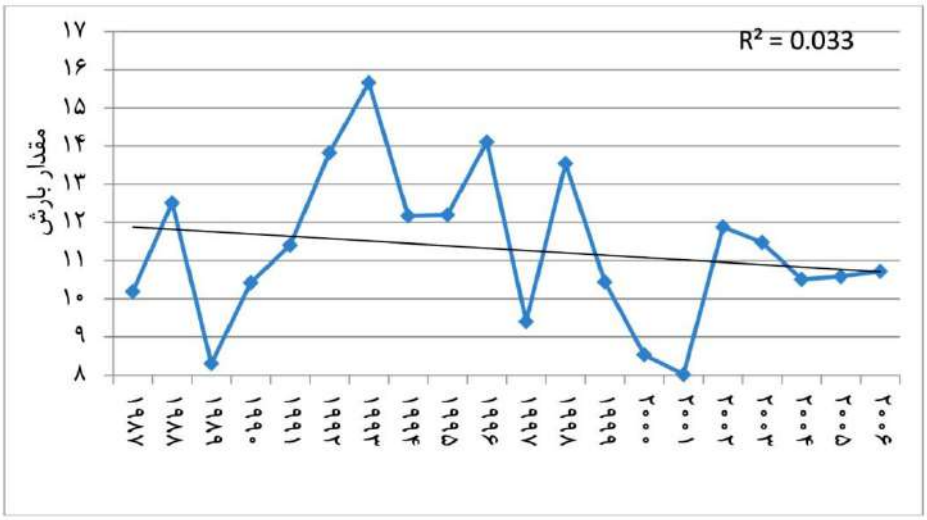
از نظر تغییرات سالانه میزان سبزینگی پوشش گیاهی در شرایط حداکثر سبزینگی، شرایط مطلوب آب و هوایی برای پوشش گیاهی فراهم است. شکل ۶-۶ بیانگر میزان شاخص NDVI بر اساس تصاویر NOAA_AVHRR می‌باشد (فتح نیا، ۱۳۸۹). به‌طور معمول این شاخص مقادیر سبزینگی را بین اعداد ۱- تا ۱+ نشان می‌دهد که برای سهولت تفسیر همه ارقام به دامنه بین صفر تا ۲۵۵ تبدیل شده است. از این‌رو هر قدر ارزش محاسبه شده بیشتر باشد بیانگر سبزینگی بیشتر خواهد بود. نمودار تهیه شده حکایت از نوسان بسیار زیاد شاخص پوشش گیاهی در طی سالهای ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۶ می‌باشد که سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ بدترین سالها از نظر شاخص سبزینگی بوده و ارزش آن به حدود ۱۲۶ رسیده است؛ درحالیکه طی سالهای ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰ میزان شاخص با مقدار ۱۳۲ بهترین شرایط ممکن را داشته است. در کل نمودار بیانگر روند منفی می‌باشد که حکایت از اثر تغییر آب و هوایی بر میزان رشد و سبزینگی پوشش گیاهی دارد. شکل ۶-۷ بیانگر تغییرات دما در همان سالهای مورد مطالعه پوشش گیاهی در کشور بر اساس دامنه صفر تا ۲۵۵ است. همانطور که شکل مذکور نشان می‌دهد دما دارای روند افزایشی بوده و از عوامل تأثیر گذار بر رشد پوشش گیاهی و ایجاد فشارهای دمایی بر پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی بوده است. برعکس روند افزایشی دما، مقادیر بارش‌ها (شکل ۶-۸)، میانگین رطوبت نسبی (شکل ۶-۹) و حداکثر رطوبت نسبی (شکل ۶-۱۰) سالانه از روند کاهشی برخوردار بوده و تائید کننده وجود فشارهای آب و هوایی و در نتیجه کاهش سبزینگی می‌باشد.



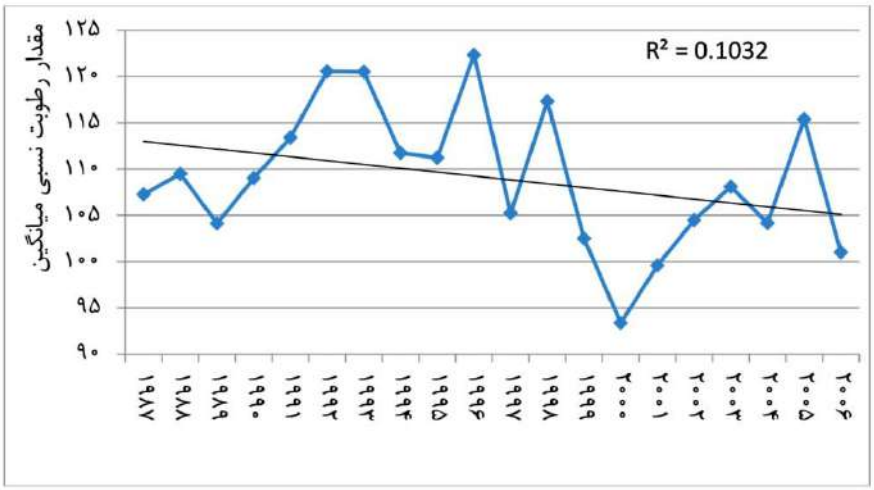
شکل۶-۶: نمودار میانگین NDVI سالیانه



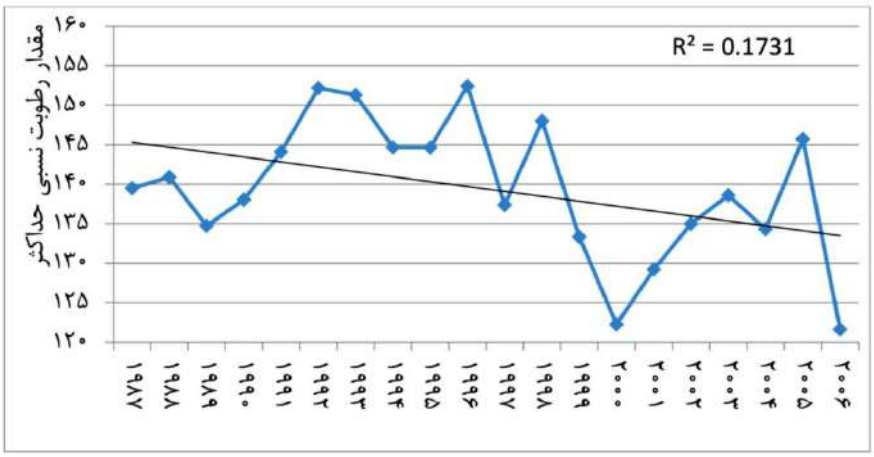
شکل۶-۷: نمودار دمای میانگین سالیانه



شکل۶-۸: نمودار بارش سالیانه

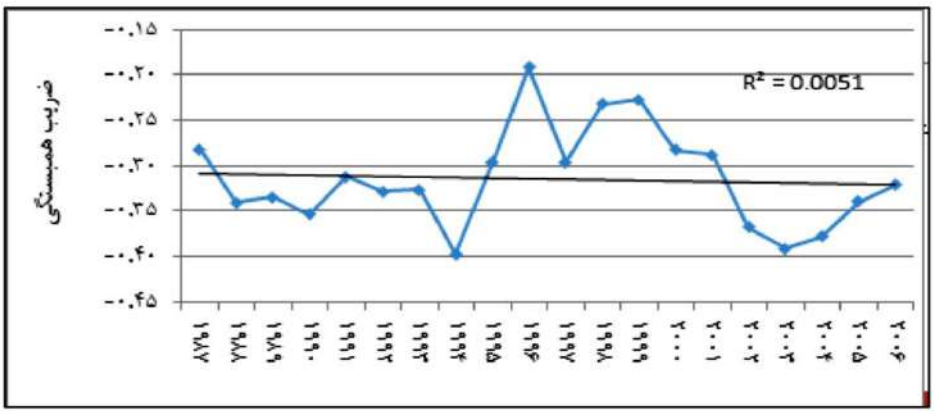


شکل۶-۹: نمودار رطوبت نسبی میانگین سالیانه

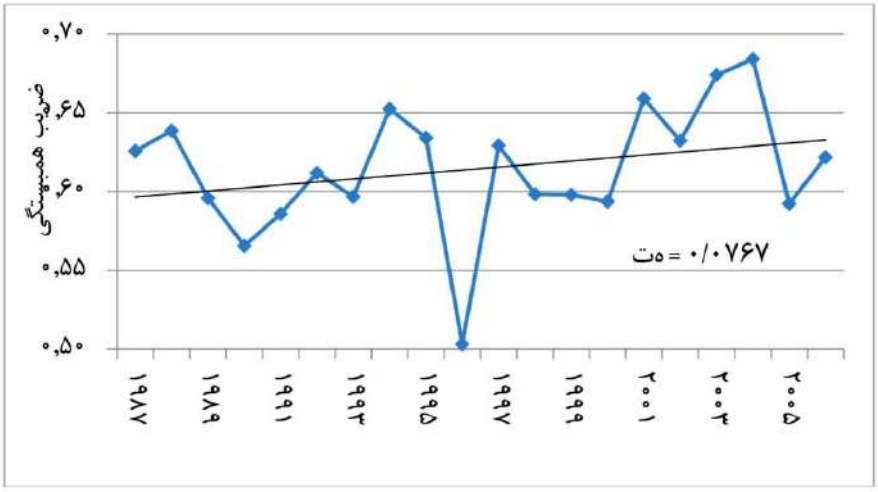


شکل۶-۱۰: نمودار رطوبت نسبی حداکثر سالیانه

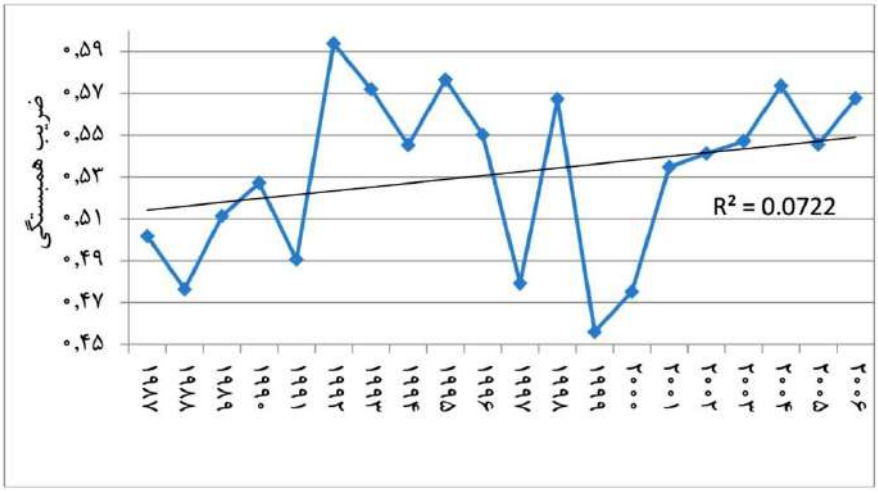
بررسی ارتباط بین میزان شاخص پوشش‌گیاهی با هریک از عناصر دما، بارش و رطوبت نسبی در شکل‌های ۶-۱۱، ۶-۱۲ و ۶-۱۳ نشان داده شده است. همانطور که نمودارهای مذکور نشان می‌دهد میزان ضریب همبستگی در سالهای مختلف متفاوت بوده و بیانگر این نکته است که در برخی سالها شرایط عنصر آب و هوایی به نفع رشد پوشش‌گیاهی و افزایش میزان شاخص سبزینگی بوده و در برخی سالها نیز شرایط مطلوبی را ایجاد نکرده است. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که شرایط آب و هوایی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در کیفیت پوشش‌گیاهی جنگلی و مرتعی بوده و همواره پوشش‌گیاهی از آن تأثیر می‌پذیرد (فرج زاده و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل۶-۱۱: نمودار ضریب همبستگی دمای میانگین و NDVI سالیانه



شکل۶-۱۲: نمودار ضریب همبستگی بارش و NDVI سالیانه



شکل۶-۱۳: نمودار ضریب همبستگی رطوبت نسبی میانگین و NDVI سالیانه

استفاده بی‌رویه و غیر اصولی از مناطق جنگلی و مرتعی و همچنین استفاده بی‌رویه از اراضی کشاورزی موجب کاهش قابلیت تولید در این اراضی شده و باعث می‌گردد میزان بازدهی آن به حداقل ممکن کاهش یابد؛ پدیده‌ای که تحت عنوان بیابان‌زایی از آن یاد می‌شود. تقریباً ۳۴ میلیون هکتار از اراضی کشور مناطقی هستند که هیچگونه قابلیت کشاورزی در آنها وجود ندارد که تحت عنوان اراضی بیابانی از آنها یاد می‌شود (Amiraslani and Dragovich, 2011). اقدامات مختلفی نیز برای مقابله با گسترش بیابان‌زایی در کشور از گذشته‌های دور در حال انجام است که با توجه به گستردگی اراضی بیابانی و کمبود اعتبارات مورد نیاز این کار به کندی صورت می‌گیرد. در کل از عوامل مهمی که برای رخداد بیابان‌زایی مطرح می‌شود شرایط آب و هوایی کشور است که به دلیل کمبود بارش و افزایش میزان دما و تبخیر اراضی با خشکی و کمبود رطوبت خاک روبرو بوده و بدین ترتیب آنها را از نظر استفاده‌های طبیعی از اراضی دچار مشکل می‌کند. با توجه به تغییرات عناصر آب و هوایی انتظار می‌رود در آینده نیز شرایط بیابان‌زایی در کشور رو به افزایش باشد و اگر اقدامات لازم برای مهار یا کاهش بیابان‌زایی صورت نگیرد شرایط کشور از نظر گسترش اراضی بیابانی رو به وخامت رفته و شرایط هرچه بیشتر بحرانی‌تر خواهد شد.

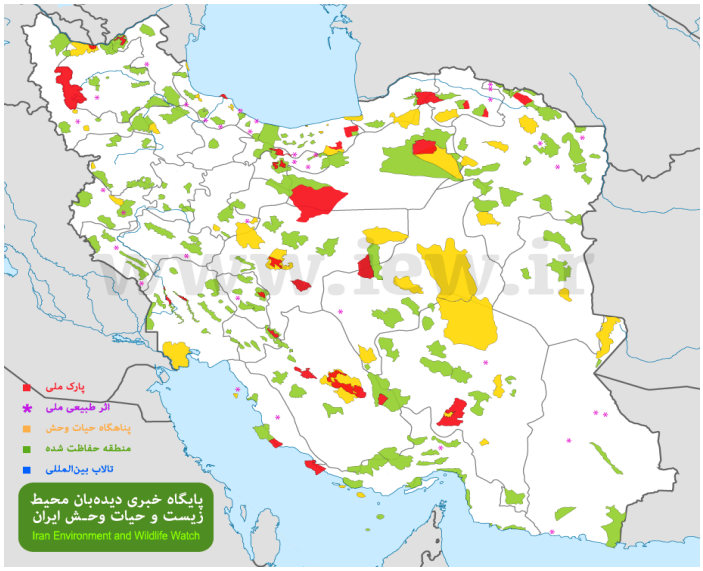
۶-۶- اثر تغییر آب و هوا بر حیات جانوری کشور

در حال حاضر تغییر آب و هوایی یکی از عوامل مهم در انقراض گونه‌هاست. افزایش شرایط خشکسالی ممکن است به‌صورت غیر مستقیم یا مستقیم بر جمعیت حیات وحش تأثیرگذار باشد. خشکسالی در طی چند سال اخیر جدی‌ترین تهدید حیات وحش در بسیاری از مناطق و زیستگاههای جهان و ایران بوده است. تغییر آب و هوا در حال تغییر الگوی زندگی تمام اشکال حیات بر روی کره

زمین می‌باشد. آب و هوای در حال تغییر گیاهان و حیوانات را مجبور به مهاجرت به منظور بقاء می‌کند و این تغییر رفتار و مهاجرت‌های اجباری بی‌شک به نفع گونه تمام نخواهد شد و در درازمدت انقراض آنها را سبب خواهد شد. اتفاق بدتر این است که به دلیل توسعه ناپایدار، زیستگاهها دچار تخریب و از هم گسستگی شده‌اند و عملاً کارایی خود را به عنوان زیستگاههای با کیفیت و سودمند برای حیات وحش از دست داده‌اند و تغییر آب و هوا فشار مضاعفی را بر حیات وحش تحمیل می‌کند. در عصر حاضر انسان مسئول نرخ بی‌سابقه کاهش تنوع زیستی جهانی است با ایجاد نوسانات آب و هوایی، آلودگی ها، تخریب و تکه تکه شدن زیستگاهها و کاهش کیفیت آنها و ورود گونه‌های غیر بومی که پیامد آن رشد سریع انقراض‌هاست. تخریب زیستگاه موجب کاهش جمعیت می‌شود و این موضوع خود می‌تواند سبب انقراض گونه‌ها گردد. گرمایش جهانی در حال وقوع، بر گستره جغرافیایی گونه‌ها اثرات شدیدی خواهد داشت. اما نگرانی عمده این است که گونه‌ها به آن سرعت مهاجرت نکنند که با نبض گرمایش جهانی همخوانی داشته باشد و این که سازگاری‌های ژنتیکی مربوط به محیط‌های محلی از دست برود.

حیات وحش ایران گونه‌های گیاهی و جانوری و زیستگاه طبیعی آنان را در بر می‌گیرد. یکی از معروفترین گونه‌های جانوری ایران آخرین گونه یوز آسیایی است که یوز ایرانی هم خوانده می‌شود و امروزه فقط در ایران یافت می‌شود. ایران گونه‌های شیر و ببر مازندران را در اوایل قرن بیستم از دست داده است. طبق آمار سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۵۰۰ گونه جانوری اعم از پستاندار، پرنده، خزنده، دوزیست و ماهیان آبهای داخلی و حدود ۶۵۰ گونه ماهی در آبهای دریایی در اکوسیستم‌های خشکی و آبهای داخلی کشور شناسایی شده است (URL 6-1). از این گونه‌ها می‌توان به ۱۹۷ گونه پستاندار، ۵۳۵ گونه پرنده، ۲۲۷ گونه خزنده، ۲۱ گونه دوزیست و ۱۶۰ گونه ماهیان آبهای داخلی اشاره کرد. از این تعداد حدود ۷۶ گونه از رده‌های جانوری ایران در فهرست قرمز اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت قرار دارد که این گونه‌ها شامل ۱۹ گونه از پستانداران، ۲۵ گونه از پرندگان، ۱۶ گونه از خزندگان، چهارگونه از دوزیستان و ۱۰ گونه از ماهیان آبهای داخلی است. سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۹۲ اعلام کرد که دست‌کم ۷۴ گونه از جانوران این کشور در سیاهه قرمز اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت قرار دارند. به جز یوزپلنگ ایرانی که در وضعیت بحرانی قرار دارد، پستاندارانی مانند گوزن زرد ایرانی، گورخر آسیایی، فک دریای خزر، هوبره، پلنگ، خرس سیاه آسیایی، تمساح پوزه کوتاه، نهنگ آبی و نهنگ باله‌ای نیز در معرض خطر انقراض هستند.

جدول ۶-۳ نشان دهنده فهرست پناهگاه‌های حیات وحش ایران و شکل ۶-۱۴ نشان دهنده موقعیت جغرافیایی آنها می‌باشد. در هریک از این پناهگاهها فراخور وجود امکانات طبیعی انواع مختلفی از پستانداران، پرندگان، خزندگان و ... یافت می‌شود که توضیحات مفصل آنها در پایگاه خبری محیط زیست ارائه شده است که علاقمندان می‌توانند به آن مراجعه نمایند.



شکل۶-۱۴: موقعیت جغرافیایی پناهگاههای حیات وحش ایران

جدول۶-۳: فهرست پناهگاههای حیات وحش ایران (پایگاه خبری دیده بان محیط زیست و حیات وحش ایران، ۱۳۹۷)

	نام	استان	مساحت به هکتار
۱	پناهگاه حیات وحش آستارا (لوندویل)	گیلان	۹۴۹
۲	پناهگاه حیات‌وحش کیامکی	آذربایجان شرقی	۸۴،۴۰۰
۳	پناهگاه حیات‌وحش دشت ناز	مازندران	۵۵
۴	پناهگاه حیات‌وحش خوش ییلاق	مازندران	۱۵۴،۴۰۰
۵	پناهگاه حیات‌وحش توران	خراسان	۵۳۷،۵۰۰
۶	پناهگاه خبرووروچون	کرمان	۱۷۳،۷۵۰
۷	پناهگاه حیات‌وحش مهدوئیه	بندرعباس	۷۴۶۸
۸	پناهگاه حیات‌وحش امیرکلایه	گیلان	۱۲۳۰
۹	پناهگاه حیات‌وحش انگوران	زنجان	۲۸،۶۰۰
۱۰	پناهگاه حیات‌وحش بختگان	فارس	۳۲۷،۸۲۰
۱۱	بیستون (ورمنجه)	باختران	۳۱۲۵۰
۱۲	پناهگاه حیات‌وحش خارکو	بوشهر	۳۱۲
۱۳	پناهگاه حیات‌وحش دز	خوزستان	۵۲۴۰
۱۴	ناهگاه حیات‌وحش کرخه	خوزستان	۳۶۰۰
۱۵	پناهگاه حیات‌وحش دولنگه	مازندران	۶۷۰۰

	نام	استان	مساحت به هکتار
۱۶	پناهگاه حیات‌وحش سلکه	گیلان	۳۶۰
۱۷	پناهگاه حیات‌وحش شادگان	خوزستان	۲۹۶،۰۰۰
۱۸	پناهگاه حیات‌وحش شیدور	هرمزگان	۱۶۰
۱۹	پناهگاه حیات‌وحش قمیشلو	اصفهان	۴۹۲۵
۲۰	پناهگاه حیات‌وحش کلاه قاضی	اصفهان	-
۲۱	پناهگاه حیات‌وحش میاندشت	خراسان	۵۲،۰۰۰
۲۲	پناهگاه حیات‌وحش میانکاله	مازندران	۶۸،۸۰۰
۲۳	پناهگاه حیات‌وحش موته	اصفهان - مرکزی	۲۰۰،۰۰۰
۲۴	پناهگاه حیات‌وحش فریدون‌کنار	مازندران	۱۴۸
۲۵	پناهگاه حیات‌وحش سمسکنده	مازندران	۹۳۷

از منظر حیات وحش می‌توان کشور را به مناطق خزری، کوهستانی و بیابانی و نیمه بیابان تقسیم بندی نمود و حیات وحش آنها را بررسی نمود (فرجی، ۱۳۶۶). بر مبنای این تقسیم بندی در جنگل‌هایی منطقه خزری می‌توان گربه وحشی، گرگ، شغال، گراز، خرس و خوک وحشی و همچنین در مردابها و باتلاق‌های این منطقه می‌توان انواع قورباغه، مار، سنگ‌پشت، خرچنگ، و انواع پرندگان مانند مرغابی، غاز، قو و حواصیل و در دریای خزر و رودهای الحاقی به آنها نیز انواع ماهیان را مشاهده نمود. در منطقه کوهستانی نیز حیواناتی از قبیل خرس، کفتار، خرگوش، بز وحشی، انواع قوچ و میش وحشی، گوزن زرد، گوزن خالدار و پلنگ همچنین پرندگانی از قبیل عقاب، کیک، تیهو، کرکی و غیره قابل رؤیت است. در منطقه بیابانی، آهو، یوزپلنگ، گورخر و پرندگانی از قبیل پلیکان، فلامینگو و درنا و در کناره‌های خلیج فارس و دریای عمان و در میان آبها می‌توان سنگ‌پشت، ستاره دریایی، میگو، خرچنگ، صدف و انواع مختلف ماهی‌ها را دید.

در تابستان سال ۱۳۹۴ بیماری طاعون نشخوارکنندگان، برخی مناطق حفاظت شده سازمان حفاظت محیط زیست در استانهای مرکزی، زنجان، البرز و قزوین را درگیر کرد که در پی آن نزدیک به ۹۰۰ راس علفخوار در معرض این بیماری قرار گرفته و تلف شدند که ردپای خشکسالی در تلفات مشهود است. به گفته کارشناسان خشکسالی‌های شدید باعث از بین رفتن پوشش گیاهی می‌شود که گونه‌های حیات‌وحش به حوالی سکونتگاه‌های انسانی حرکت کرده و طاعون نشخوارکنندگان کوچک که در دامهای اهلی ایجاد می‌شود به حیات وحش نیز منتقل شود. بر اساس مطالعه صورت گرفته در خصوص ارتباط بین آب و هوا، بیماری حیوانات اهلی و تعارضات انسان- پلنگ در پارک ملی گلستان - توسط موسسه میراث پارسیان در سال ۲۰۱۳ از طریق بررسی‌های پرسشنامه‌ای از روستاهای اطراف پارک ملی گلستان- نتایج نشان دادند که دامنه دمای هوای سالانه و ویژگیهای بارش، نقش کلیدی در وقوع بیماریهای احشام ایفا می‌کند. بیماری احشام منجر به تشدید تعارضات انسان-پلنگ در روستاهای

پیرامون پارک ملی گلستان می‌شود و تغییر آب و هوایی نقش کلیدی در وقوع بیماری دارد. از طرفی وقوع خشکسالی‌ها سبب از بین رفتن زیستگاهها و پوشش گیاهی می‌شود و طعمه‌های طبیعی از بین خواهند رفت و این امر مجدداً تعارض گوشتخواران و احشام را به سبب نبود طعمه‌های ترجیحی و طبیعی افزایش خواهد داد که نمونه‌های آن در سالهای اخیر فراوان به چشم می‌خورد.

۶-۷- سازگاری در برابر تغییر آب و هوا در بخش تنوع زیستی کشور

اهم برنامه سازگاری که می‌توان در این بخش برای کشور می‌توان در نظر گرفت به صورت زیر است (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۶):

- تهیه برنامه ملی حفاظت از جنگل‌ها و مراتع با رویکرد سازگاری تغییر آب و هوایی
- استفاده از ظرفیت‌های تخصصی و مالی (اعتباری) سازمانهای بین المللی تخصصی در خصوص سازگاری طرح‌های اجرائی بخش جنگل نسبت به پیامدهای تغییر آب و هوایی
- افزایش ضریب حفاظتی جنگل‌های از سطح ملی ۴۰ درصد به ۹۰ درصد
- افزایش سطح پوشش سرانه جنگل از ۱۷۰۰ به ۲۵۰۰ متر مربع براساس قانون افزایش بهره‌وری کشاورزی و منابع طبیعی
- بازسازی جنگل‌هایی تخریب یافته و جوان‌سازی جنگل‌های و توجه خاص به ملاحظات اکولوژیک
- کاشت گونه‌های بومی و مقاوم در برابر تغییر آب و هوایی و خشکسالی و
- ارتقای تنوع زیست گونه‌ای و بین گونه‌ای
- جلوگیری از شکار بی رویه
- احیاء زیستگاههای طبیعی حیات وحش
- ایجاد زیستگاههای مصنوعی در مناطقی که امکان دسترسی به آب و غذا با محدودیت روبرو است
- ایجاد موسسات تحقیقاتی برای تکثیر و پرورش حیات وحش
- حمایت مالی از روستانشینان و جنگل نشینان در صورت حمله حیوانات به دام‌های آنها
- ایجاد کمپ‌های نگهداری و حفاظت از انواع حیوانات حیات وحش
- ایجاد موانع در کنار جاده‌ها برای جلوگیری از تصادف حیوانات با خودروهای عبوری
- پایش و مدیریت شاخص NDVI برای دوره‌های آتی

منابع فصل ششم

ابراهیمی رستاقی، م، ۱۳۸۲. جنگل‌هایی ایران: جنگل‌هایی خشک، در کیمیای سبز، تهران: سازمان جنگل های، مراتع و آبخیزداری کشور.

اسکندری،ن، عسگرعلیزاده و فاطمه مهدوی، ۱۳۸۷. سیاست‌های مرتعداری در ایران. نشر پونه به سفارش سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۹۰ صفحه.

پایگاه خبری دیده بان محیط زیست و حیات وحش ایران، ۱۳۹۷. http://www.iew.ir

ثابتی، ح، ۱۳۴۶. جنگل‌هایی ایران، تهران، چاپ پنجم.

سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۳۶۶. آشنایی با منابع طبیعی تجدید شونده جنگل– مرتع– خاک، انتشارات سازمان ترویج کشاورزی.

سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۶، برنامه راهبرد ملی تغییراقلیم، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست.

فرج زاده، م، امان اله فتح نیا، بهلول علیجانی، پرویز ضیائیان، ۱۳۹۰. ارزیابی اثر عوامل آب و هوایی بر پوشش گیاهی منطقه زاگرس با استفاده از اطلاعات رقومی ماهواره ای، فصلنامه علمی و پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۸، شماره ۱، ص ۱۲۳-۱۰۷.

فرجی، ع، ۱۳۶۶. جغرافیای کامل ایران: قسمت اول، انتشارات دفتر تحقیقات، برنامه ریزی و تالیف وزارت آموزش و پرورش.

میرآخورلو، خ، اخوان رضا، ۱۳۹۶. ارزیابی تغییرات سطح جنگل‌های هیرکانی از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۵، نشریه طبیعت ایران، جلد۲، شماره ۳، ص ۴۵-۴۰.

مصداقی، م، ۱۳۸۲. مرتع داری در ایران. انتشارات آستان قدس رضوی، ۳۳۳صفحه.

مقدم، م، ۱۳۹۰. مرتع و مرتعداری. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۰ صفحه.

هدایتی، م، ۱۳۸۲. جنگل‌های هیرکانی و ویژگیهای زیست محیطی آن، در کیمیای سبز، تهران: سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور.

Amiraslani, F and Dragovich, D., 2010: combating desertification in Iran over the last 50 years: an overview of changing approaches, Journal of environmental management, No. 91, P 1-13.

Convention on Biological Diversity, 2016: Secretariat of the Convention on Biological Diversity United Nations Environment Programme.

Dawson, T.P., S.T. Jackson, J.I. House, I.C. Prentice, and G.M. Mace, 2011: Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. Science, 332(6025), 53-58.

Fischlin, A., G.F. Midgley, J.T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M.D.A. Rounsevell, O.P. Dube, J. Tarazona, and A.A. Velichko., 2007: Ecosystems, their

properties, goods, and services. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 211-272.

Gibson, L., T.M. Lee, L.P. Koh, B.W. Brook, T.A. Gardner, J. Barlow, C.A. Peres, C.J.A. Bradshaw, W.F. Laurance, T.E. Lovejoy, and N.S. Sodhi., 2011: Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. Nature, **478(7369)**, 378- 381.

Hedy, H. F., 1975: Rangeland management, Mc grew hill Book Company, Sanfranisco, U.S.A.

IPCC, 2007c: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers.

Lesser, M. (2007), Coral Reef Bleaching and Global Climate Change: Can Corals Survive the Next Century?', Proceedings of the National Academy of Sciences, 104 (12), pp. 5259–5260.

Le Quéré, C., R.J. Andres, T. Boden, T. Conway, R.A. Houghton, J.I. House, G. Marland, G.P. Peters, G. van der Werf, A. Ahlstrom, R.M. Andrew, L. Bopp, J.G. Canadell, P. Ciais, S.C. Doney, C. Enright, P. Friedlingstein, C. Huntingford, A.K. Jain, C. Jourdain, E. Kato, R.F. Keeling, K. Klein Goldewijk, S. Levis, P. Levy, M. Lomas, B. Poulter, M.R. Raupach, J. Schwinger, S. Sitch, B.D. Stocker, N. Viovy, S. Zaehle, and N. Zeng., 2012: The global carbon budget 1959-2011. Earth System Science Data, 5(2), 1107-1157.

Nicholls,M., 2014: Climate Change: Implications for Tourism, Key Findings from the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, university of Cambridge. National Level and the Implications for Adaptation', Global Environmental Change, 15, pp. 51–162

Pielke, R.A., A. Pitman, D. Niyogi, R. Mahmood, C. McAlpine, F. Hossain, K.K. Goldewijk, U. Nair, R. Betts, S. Fall, M. Reichstein, P. Kabat, and N. de Noblet, 2011: Land use/land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, **2(6)**, 828-850.

Silva,RA et al., 2016: The effect of future ambient air pollution on human premature mortality to 2100 using output from the ACCMIP model ensemble, Atmos. Chem. Phys., 16, 9847–9862, 9847–9862, 2016 www.atmos-chem-phys.net/16/9847/2016/ doi:10.5194/acp-16-9847-2016

Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J.T. Overpeck, and M.A. Taboada., 2014: Terrestrial and inland water systems. In: Climate Change, 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 271-359.

UNESCO-WHC, 2007: Case Studies on Climate Change and World Heritage.

Vallentine J. F., 1971: Range Development and Improvements, Brigham Young University Press, Provo, Utah.

URL 6-1: http://zistonline.com/print/59905

فصل هفتم

تغییر آب و هوا و انرژی

۷-۱- مقدمه

بخش تأمین انرژی، بزرگ‌ترین مشارکت را در انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای دارد. در سال ۲۰۱۰، بخش تأمین انرژی تقریباً ۳۵ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای انسان منشأ را به خود اختصاص داد. باوجود کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییر آب و هوایی(UNFCCC) و پروتکل کیوتو، انتشار گازهای گلخانه‌ای بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ سریع‌تر از دهه‌ی قبل از آن افزایش یافت. رشد سالانه انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی جهانی از ۱/۷ درصد در سال طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ به ۳/۱ درصد در سال بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ افزایش یافته است. سهم اصلی این روند، تقاضای بیشتر انرژی در ارتباط با رشد سریع اقتصادی و افزایش سهم زغال‌سنگ در مصرف سوخت جهانی بود (Bruckner, 2014). هدف از ارائه‌ی این بخش از کتاب نمایش نقش انرژی در جایگاه تغییر آب و هوایی جهان و ایران است.

۷-۲- مروری بر منابع انرژی جهانی

- **ارزیابی منابع سوخت‌های فسیلی موجود**

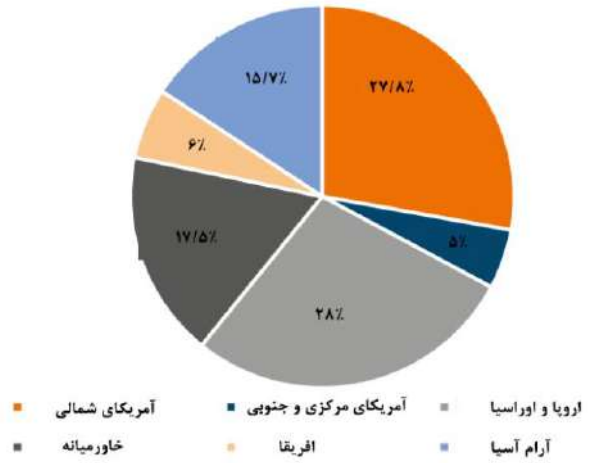
جدول ۷-۱ خلاصه‌ای از برآورد منابع سوخت فسیلی را از نظر انرژی و مقدار کربن ارائه می‌دهد. منابع سوخت فسیلی ثابت نیستند بلکه پویا و در حال تغییر هستند. برآوردها نشان می‌دهد که

گسترش آن نشان دهنده‌ی عدم قطعیت کلی است که به محدودیت دانش مرتبط است. تغییر شرایط اقتصادی، پیشرفت فنّاوری و سیاست‌های زیست‌محیطی ممکن است مقادیر آن را کاهش یا افزایش دهد.

جدول۷-۱: برآوردها از منابع فسیلی و میزان کربن آنها

	ذخایر		منابع	
	EJ[۲]	GtC[۱]	EJ	GtC
نفت متعارف	۴۹۰۰-۷۶۱۰	۹۸-۱۵۲	۴۱۷۰-۶۱۵۰	۸۳-۱۲۳
نفت غیرمتعارف	۳۷۵۰-۵۶۰۰	۷۵-۱۱۲	۱۱۲۸۰-۱۴۸۰۰	۲۲۶-۲۹۷
گاز متعارف	۵۰۰۰-۷۱۰۰	۷۶-۱۰۸	۷۲۰۰-۸۹۰۰	۱۱۰-۱۳۶
گاز غیرمتعارف	۲۰۱۰۰-۶۷۱۰۰	۳۰۷-۱۰۲۶	۴۰۲۰۰-۱۲۱۹۰۰	۶۱۴-۱۸۶۳
زغال سنگ	۱۷۳۰۰-۲۱۰۰۰	۴۴۶-۵۴۲	۲۹۱۰۰۰-۴۳۵۰۰۰	۷۵۱۰-۱۱۲۳۰
مجموع	۵۱۰۵۰-۱۰۸۴۱۰	۱۰۰۹-۱۹۴۰	۳۵۳۸۵۰-۵۸۶۷۵۰	۸۵۴۳-۱۳۶۴۹

برآوردهای ذخایر و منابع زغال‌سنگ، ناشی از عدم قطعیت و ابهام است، به ویژه هنگامی‌که در واحدهای حجیم (تن) و بدون تمایز واضح و مشخص از مقدار انرژی خاص خود که می‌تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد گزارش شود. مقدار زغال سنگ سخت (سیاه) به طور قابل ملاحظه‌ای بر مقدار لیگنیت (زغال سنگ قهوه‌ای) پیشی گرفته است (Rogner et al., 2012).



شکل۷-۱: سهم ناحیه‌ای تولید گاز طبیعی در سال ۲۰۱۵ (BP, 2016)

[1] gigatonnes of carbon
[2] exajoules

مجموع تولید نفت خالص روند کاهشی دارد و این نشان می‌دهد که اوج تولید نفت خالص، قریب‌الوقوع است یا حتی ممکن است از موعد خود گذشته باشد و مرحله اوج را طی کرده باشد (Höök et al., 2009)؛ با این حال، حتی توجه به عواملی مانند تقاضا، میزان استفاده و بهبودی قابل ملاحظه در میدانهای نفتی (IEA, 2008) و همچنین حتی وجود دامنه‌ی متعددی از ذخایر و در نظر گرفتن حداکثر منابع، تولید نفت را تنها به دو دهه دیگر به تعویق خواهد انداخت. پس از آن انتظار می‌رود که تولید نفت خالص جهانی کاهش یابد و منجر به وابستگی بیشتر به منابع غیر متعارف خواهد شد. میزان منابع غیرمتعارف یا غیر خالص نفت نسبت به نفت معمولی بیشتر است. مقادیر زیادی از منابع غیر متعارف به شکل نفت شیل، نفت سنگین، قیر، ماسه نفت و ... در سنگ‌های رسوبی در چندین هزار حوضه در سراسر جهان قرار دارد.

برخلاف نفت، از دهه ۱۹۷۰، حجم تولید و منابع ذخایر گاز طبیعی به طور مداوم افزایش یافته است (IEA, 2012a). از لحاظ جغرافیایی، پایه منابع جهانی گاز گسترده‌تر از نفت است. در حال حاضر تخمین زده می‌شود که ذخایر طبیعی غیرمتعارف گاز، مانند متان زغال‌سنگ، گاز شیل و گاز سخت بیشتر از ذخایر و منابع خالص گاز است. در حال حاضر در برخی از نقاط جهان، عرضه گاز غیرمتعارف یا غیر خالص بخش قابل توجهی از برداشت گاز را به خود اختصاص داده است. در تغییر آب و هوایی، دی اکسید کربن ناشی از سوخت‌های فسیلی به جو وارد می‌شود. در مقایسه با بودجه‌های تخمین زده شده‌ی دی اکسید کربن از سناریوهای انتشار، رها سازی آن به جو باعث افزایش دما خواهد شد اما برای آن محدودیت‌هایی در نظر گرفته می‌شود.

- **انرژی‌های تجدید پذیر**

در گزارش هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا، انرژی‌های تجدید پذیر شامل انرژی بیولوژیکی، انرژی مستقیم خورشیدی، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی آبی، انرژی اقیانوس و انرژی باد تعریف شده است. پتانسیل فنی انرژی‌های تجدید پذیر توسط وربراگن[1] و همکاران به صورت زیر تعریف شده است: «مقدار تولید انرژی تجدید پذیر که با استفاده‌ی کامل از فنّاوری‌ها یا شیوه‌های مشخص، قابل دستیابی است» (Verbruggen et al., 2010).

به منظور برآورد پتانسیل فنی انرژی‌های تجدید پذیر، از شیوه‌های عملی، کاربری اراضی و موانع محیط‌زیستی و یا اقتصادی استفاده می‌شود، تعریف پتانسیل فنی انرژی‌های تجدید پذیر در مطالعات مختلف تفاوت دارد.

گزارش ویژه در مورد منابع انرژی تجدید پذیر و کاهش تغییر آب و هوایی(SRREN[2])، (IPCC, 2011) نتیجه‌گیری کرده است که پتانسیل فنی جهانی انرژی‌های تجدید پذیر به طور قابل توجهی

[1] Verbruggen
[2] Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation

بالاتر از تقاضای جهانی انرژی است که در این میان پتانسیل فنی خورشیدی بزرگ‌ترین مقدار است. فیشدیک[1] و همکاران گزارش کرده اند که به طور کلی پتانسیل فنی انرژی‌های تجدید پذیر، در تمام مناطق جهان، حداقل ۲/۶ برابر کل تقاضای انرژی در سال ۲۰۰۷ بوده است (Fischedick et al., 2011).

- **انرژی هسته‌ای**

میانگین غلظت اورانیوم در پوسته قاره‌ای زمین حدود ۲/۸ ppm است، در حالی که میانگین غلظت آن در آب اقیانوس ۳ تا ۴ ppb[2] است (Bunn et al, 2003). اورانیوم موجود در پوسته زمین ۱۰۰ تراتن[3] تخمین زده می‌شود که ۲۵ تراتن آن در ۱/۶ کیلومتری از سطح قرار دارد (Lewis, 1972). مقدار اورانیوم محلول در آب دریا ۴/۵ گیگاتن[4] است (Bunn et al, 2003). شرایط فعلی بازار و فنّاوری، استخراج منابع اورانیوم متعارف را به غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ ppmمحدود کرده است. در مجموع، ۴۲۰۰ EJ (یا ۷/۱ MtU[5]) از منابع شناخته شده اورانیوم موجود، با هزینه‌های استخراج کمتر از ۲۶۰ دلار/ کیلوگرم اورانیوم (USD / kgU[6]) قابل دسترس هستند.

تخمین زده می‌شود که منابع مازاد اورانیوم متعارف در حدود ۴۴۰۰ EJ را می‌توان در هزینه‌های بیش از ۲۶۰ USD/KgU برداشت نمود(NEA and IAEA, 2012). با توجه به تقاضای موجود، منابع اورانیوم موجود برای بیش از ۱۳۰ سال و اگر همه موارد معمول اورانیوم در نظر گرفته شود، برای بیش از ۲۵۰ سال کافی است.

۷-۳- تولید، تبدیل، انتقال و توزیع انرژی طی دوره مشاهداتی و آینده در مقیاس جهانی

- **دوره مشاهداتی**

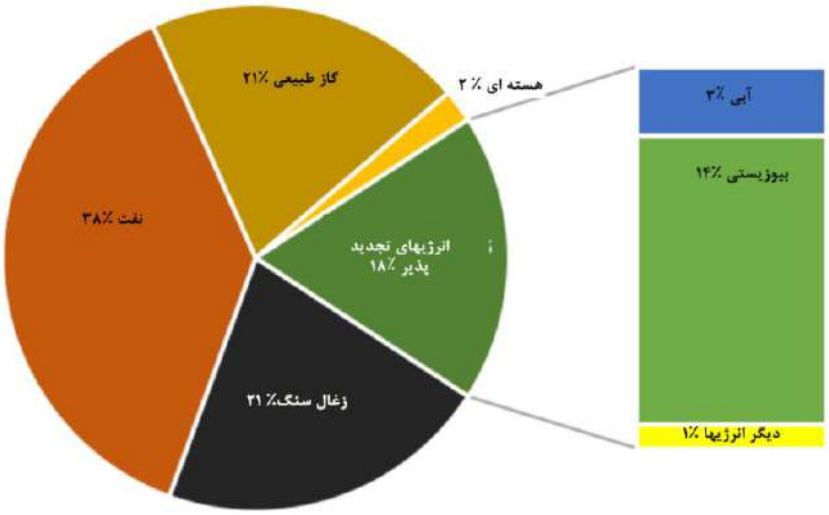
بخش تأمین انرژی بیش از ۷۵ درصد عرضه‌ی کل انرژی اولیه[7] را به شکل‌های دیگر، یعنی برق، گرما، محصولات تصفیه‌شده نفت، کک، زغال‌سنگ غنی‌شده و گاز طبیعی، تبدیل می‌کند. صنعت (استفاده از انرژی در تولید مواد در بخش‌های مختلف) ۸۴ درصد از مصرف نهایی زغال‌سنگ، ۲۶ درصد محصولات نفتی، ۴۷ درصد گاز طبیعی، ۴۰ درصد برق و ۴۳ درصد گرما را مصرف می‌کند. حمل و نقل، ۶۲ درصد سوخت‌های مایع را مصرف می‌کند. بخش ساخت و ساز مسئول ۴۶درصد مصرف گاز

[1] Fischedick
[2] Parts per Billion
[3] teratonnes (Tt)
[4] Gigatonnes(Gt)
[5] million tonnes uranium
[6] Kilogram uranium
[7] total primary energy supply(TPES)

طبیعی، ۷۶ درصد سوخت‌های قابل‌احتراق تجدیدپذیر، ۵۲ درصد برق و ۵۱ درصد از گرما است(Bruckner et al., 2014).

بخش تأمین انرژی خود به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی است. تلفات انرژی به‌صورت تفاوت بین انرژی‌های ورودی (۷۸ درصد از TPES) و انرژی‌های خروجی این بخش (۴۸/۷ درصد از TPES) ۲۹/۳ درصد از کل انرژی اولیه ارزیابی شده است. کل انرژی اولیه نه‌تنها تابع تقاضای مصرف‌کنندگان نهایی برای انرژی‌های با کیفیت بالا است، بلکه همچنین به بهره‌وری کم فرایندهای تبدیل، انتقال و توزیع انرژی نیز مرتبط است. با این حال، بهره‌وری کم و استفاده‌ی بالا از انرژی منجر به چندین اثر غیرمستقیم در ذخیره انرژی در کاربران نهایی می‌شود(Bruckner et al., 2014).

عرضه‌ی کل انرژی اولیه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به‌طور جهانی، ۲۷ درصد رشد نمود (۲/۴ درصد در سال) در حالی که به‌طور ناحیه‌ای این مقدار ۷۹ درصد در آسیا، ۴۷ درصد در خاورمیانه و آفریقا، ۳۲ درصد در آمریکای لاتین ، ۱۳ درصد در اقتصادهای در حال گذار و تقریباً ثابت برای کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه ۱۹۹۰ بود(IEA, 2012a). پس از سال ۲۰۱۰، کل انرژی اولیه جهانی رشد آهسته‌تری را نشان داد (حدود ۲ درصد در سال در طول سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲) ، میانگین رشد سالانه کل انرژی اولیه در آسیا، خاورمیانه و آفریقا، و آمریکای لاتین و کارائیب، پس از سال ۲۰۱۰ نسبت به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ ، نصف شد و کاهش مصرف انرژی در کشورهای با اقتصاد در حال گذار و کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه‌ی ۱۹۹۰ (Enerdata, 2013) دیده شد؛ بنابراین تمام تقاضای بالای انرژی پس از سال ۲۰۰۰ در خارج از کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه‌ی ۱۹۹۰، ثبت شده است. پویایی تحول بازارهای انرژی در آسیا از بازارهای دیگر، متفاوت است. این منطقه تقریباً ۷۰ درصد از رشد جهانی کل انرژی اولیه را در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ (بیش از ۹۰ درصد در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲) ثبت کرده است و مسئول تقریباً کل تقاضای مازاد زغال‌سنگ، حدود ۷۰ درصد از تقاضای مازاد نفت، بیش از ۷۰ درصد از مازاد هیدرولیک و ۲۵ درصد از تولید انرژی باد می‌باشد (Enerdata, 2013; IEA, 2012a). بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، چین به تنهایی کل انرژی اولیه خود را به بیش از دو برابر افزایش داد و در نیمی از افزایش کل انرژی اولیه جهانی مشارکت داشت و در حال حاضر مهمترین کشور مصرف‌کننده انرژی است. شکل ۷-۲ مصرف انرژی در سال ۲۰۱۳ را نمایش می‌دهد.



شکل۷-۲: مصرف جهانی انرژی در سال ۲۰۱۳ (داده‌های ارائه شده از World Bioenergy Association (2016) به نقل از Wourld energy council, 2016)

اگرچه استفاده از سوخت‌های مایع در کشورهای غیر OECD (بیشتر در آسیا و خاورمیانه و آفریقا) رشد کرده است، تقاضای اندک OECD90، سهم نفت در تأمین انرژی جهانی را در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ کاهش داده است. هزینه حمل و نقل نسبتاً کم، شانس ایجاد یک بازار جهانی با ۵۵ درصد از مصرف نفت خام و ۲۸ درصد از محصولات نفتی حاصل از تجارت مرزی را بالا برده است. سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک) در سال ۲۰۱۲، ۴۳ درصد کل ذخایر نفت جهان را در اختیار داشت که سهم خاورمیانه در این بین ۳۳ درصد است (BP, 2013). مهمترین کشورهای مشارکت کننده غیر عضو اوپک که از سال ۲۰۰۰ تاکنون در رشد تولیدات نقش داشتند، روسیه، کانادا، ایالات‌متحده، قزاقستان، برزیل و چین بوده‌اند (IEA, 2012b). افزایش وابستگی به واردات نفت سبب افزایش نگرانی کشورهای آسیایی و دیگر کشورهای غیر عضو OECD در مورد قیمت نفت و تأمین امنیت می‌شود(IEA, 2012b).

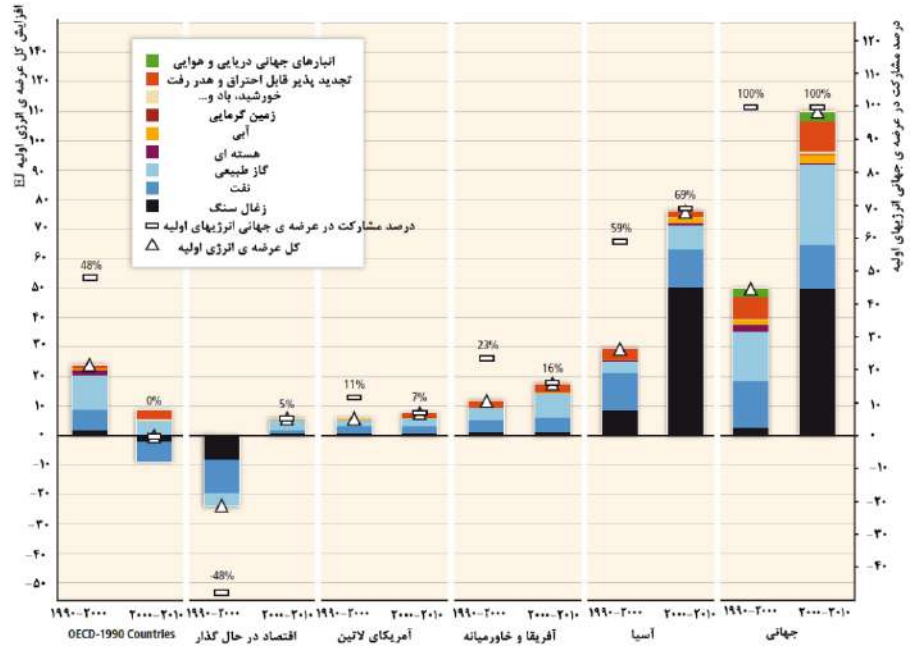
در توازن جهانی گاز، سهم تولید گاز غیر متعارف (گاز شیل، گاز سخت، متان زغال سنگ و بیوگاز) در سال ۲۰۱۱ به ۱۶ درصد افزایش یافت (IEA, 2012c). انقلاب گاز شیل باعث شد که ایالات‌متحده (از سال ۲۰۰۰، در ایالات متحده سهم گاز غیرمتعارف به مقدار دو برابر و در سال ۲۰۱۱ به ۶۷ درصد رسیده است) در فهرست اول مشارکت‌کنندگان عمده برای تأمین گاز مازاد (از سال ۲۰۰۰) باشد و سپس قطر، ایران، چین، نروژ و روسیه (BP,2013) در رده‌های بعدی قرار دارند. گرچه در میان مناطق، افزایش مصرف گاز طبیعی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بیش از نفت و زغال‌سنگ رایج شد، اما افزایش

مصرف گاز در آسیا و خاورمیانه و آفریقا غالب‌تر بوده است. تراکم پایین انرژی گاز به این معنی است که انتقال و ذخیره‌سازی، بخش بزرگی از کل هزینه‌های زنجیره تأمین را تشکیل می‌دهد و بنابراین توسعه بازار را محدود می‌کند. با وجود این، افزایش بازار گاز مایع (LNG[1]) تا ۳۲ درصد از تجارت بین‌المللی گاز در سال ۲۰۱۲ (BP, 2013)، سبب انعطاف‌پذیری بیشتر و باز شدن راه برای تجارت جهانی گاز (MIT, 2011) شده است. رشد تولید گاز طبیعی ایالات‌متحده و کاهش قیمت‌های داخلی گاز در آن، عرضه LNG را به بازارهای با قیمت‌های بالاتر در آمریکای جنوبی، اروپا و آسیا تغییر داد (IEA, 2012b). با وجود این، عرضه گاز طبیعی توسط خطوط لوله هنوز هم بزرگ‌ترین حجم گاز را در آمریکای شمالی و اروپا ارائه می‌دهد (BP, 2013).

انرژی‌های تجدید پذیر ۱۳/۵ درصد از کل انرژی اولیه جهانی در سال ۲۰۱۰ را به خود اختصاص داده است. سهم انرژی‌های تجدید پذیر در تولید جهانی برق در سال ۲۰۱۲ به ۲۱ درصد رسید (BP, 2013)؛ و آن را سومین مشارکت‌کننده در تولید جهانی برق، پس از زغال‌سنگ و گاز، و با شانس زیادی برای تبدیل شدن به دومین مشارکت‌کننده در تولید برق تا قبل از سال ۲۰۲۰ تعیین نموده‌اند. بزرگ‌ترین رشد در طول سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۵ مربوط به انرژی‌های با منشأ باد و خورشید بوده است به طوری که انرژی با منشأ باد، افزایش ۵ برابری و انرژی با منشأ خورشید، رشد ۲۵ برابری را نشان داده است. تا سال ۲۰۱۲، انرژی باد بیش از ۲ درصد تولید برق جهان را به خود اختصاص داده است. استفاده‌ی مازاد از انرژی خورشید و باد، بیشتر توسط دو منطقه، OECD90 و آسیا مشاهده شده است (IEA, 2012d). در سال ۲۰۱۲، برق‌آبی، ۱۶/۳ درصد برق جهان را تأمین کرده است (BP, 2013).

پس از سال ۲۰۰۰ ، روند جدیدی برای نقش انرژی هسته‌ای در سیستم‌های جهانی انرژی ثبت شد. در سال‌های اخیر، سهم انرژی هسته‌ای در تولید انرژی جهان کاهش یافته است. انرژی هسته‌ای ۱۱ درصد از تولید برق جهان را در سال ۲۰۱۲ به خود اختصاص داد و از سال ۱۹۹۹ به میزان ۱۷ درصد افزایش یافت. سهم آن در کل انرژی اولیه جهانی از سال ۲۰۰۲ کاهش یافته است (IEA, 2012b). این روند تا قبل از حادثه در نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما در مارس ۲۰۱۱ و بعد از مرور سیاست‌های مربوط به انرژی هسته‌ای توسط چندین دولت شکل گرفت (IEA, 2012e). پس از سال ۲۰۰۰، افزایش مشارکت هسته‌ای در کل انرژی اولیه تنها در کشورهای با اقتصاد در حال گذار و آسیا (بیشتر در روسیه و چین) مشاهده شد.

[1] Liquid Natural Gas



شکل۷-۳: مشارکت منابع انرژی در افزایش مصرف انرژی اولیه جهانی و منطقه‌ای(Bruckner et al., 2014)

- **افق ۲۰۵۰**

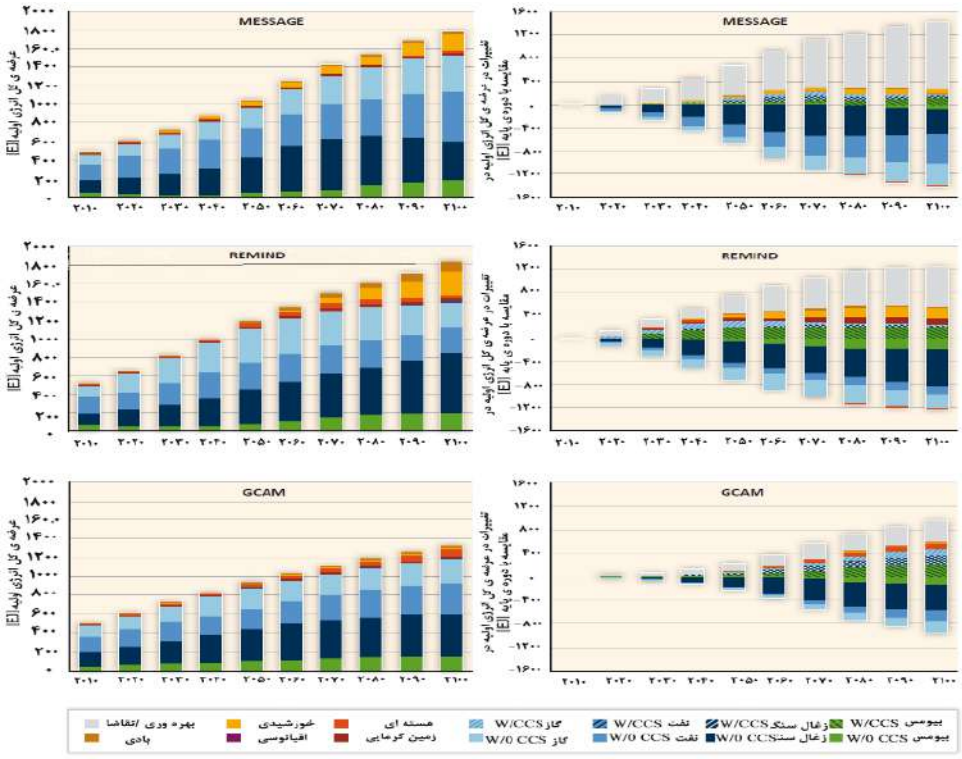
شکل ۷-۴ نمونه‌ای از خط سیرهای تبدیل سیستم‌های جایگزین انرژی را نشان می‌دهد که با محدود کردن غلظت CO2eq[1] به حدود ۴۸۰ CO2eq ppm تا سال ۲۱۰۰ سازگار است. سناریوهای سه مدل انتخابی به طور گسترده‌ای از راهبردهای مختلف برای تبدیل سیستم انرژی استفاده می‌کنند. در غیاب سیاست‌های جدید برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تأمین انرژی از این سناریوها همچنان تحت تأثیر سوخت‌های فسیلی قرار دارند. عرضه‌ی جهانی انرژی در سه حالت پایه از دوره پایه تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ EJ در سال افزایش خواهد یافت. در سناریوهایی که سیاست‌های آب و هوایی را در نظر می‌گیرند تا سال ۲۰۵۰، مصرف انرژی فسیلی ۲۳۰ تا ۶۷۰ EJ پایین‌تر از سناریوهای با خط‌مشی غیر خطوط آب و هوایی است(Bruckner et al., 2014). شکل ۷-۵ به مقایسه پتانسیل فنی جهانی منابع انرژی تجدید پذیر می‌پردازد.

- **افق ۲۱۰۰**

تا سال ۲۱۰۰، به عنوان مثال، در MESSAGE[2] حدود ۱۲۰۰ EJ سوخت‌های فسیلی از طریق بهبود بازده و بهبود تقاضا جایگزین می‌شود که این در مقایسه با حدود ۴۰۰ EJ در سناریوی GCAM[3]، رقم بسیار

[1] carbon equivalent
[2] Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact
[3] Global Change Assessment Model

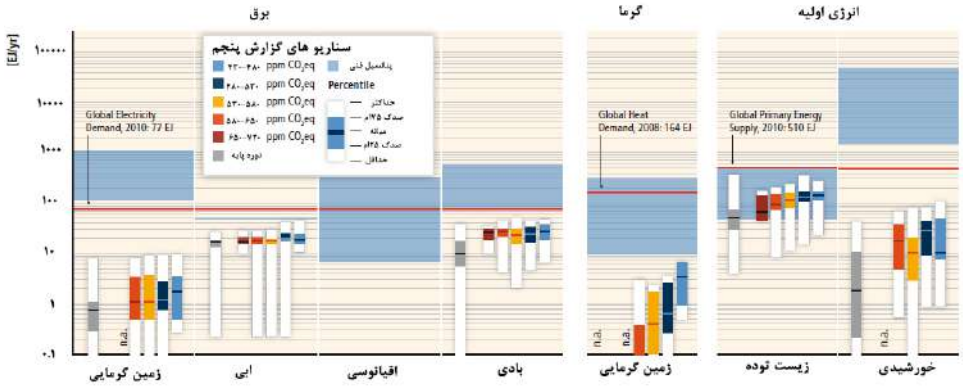
قابل توجهی است. درمجموع، سیاست‌های کاهش منجر به کاهش تقاضای انرژی اولیه می‌شود. با این حال، دو مورد از سیاست‌های قابل ملاحظه‌ی کاهش ظاهر می‌شوند – در یکی از آنها سوخت‌های هیدروکربنی، از جمله زیست‌توده، انرژی زیستی با ضبط و نگهداری دی اکسید کربن (BECCS[1]) و ضبط و نگهداری دی اکسید کربن(CCS[2]) فسیلی نقش مهمی ایفا می‌کنند؛ و در دیگری، انرژی‌های تجدید پذیر غیر بیوماس و انرژی هسته‌ای مورد توجه هستند. در هر دو مورد، تا سال ۲۱۰۰، سهم انرژی فسیلی بدون ضبط و نگهداری کربن به کمتر از ۲۰ درصد از مقدار کل کاهش می‌یابد.



شکل۷-۴: عرضه اولیه انرژی سالانه (EJ) در سه سناریوی پایه (ستون سمت چپ)؛ و تغییر عرضه‌ی انرژی اولیه در مقایسه با مقادیر پایه برای رسیدن به اهداف بلندمدت با غلظت بین ۴۳۰ تا ۵۳۰ ppm CO2eq (ستون سمت راست) (Bruckner et al., 2014)

*نکته: W/CCS وات بر ضبط و نگهداری کربن، W/0CCS وات بر بدون ضبط و نگهداری کربن

[1] bioenergy with CCS (BECCS)
[2] CO2 capture and storage(CCS)

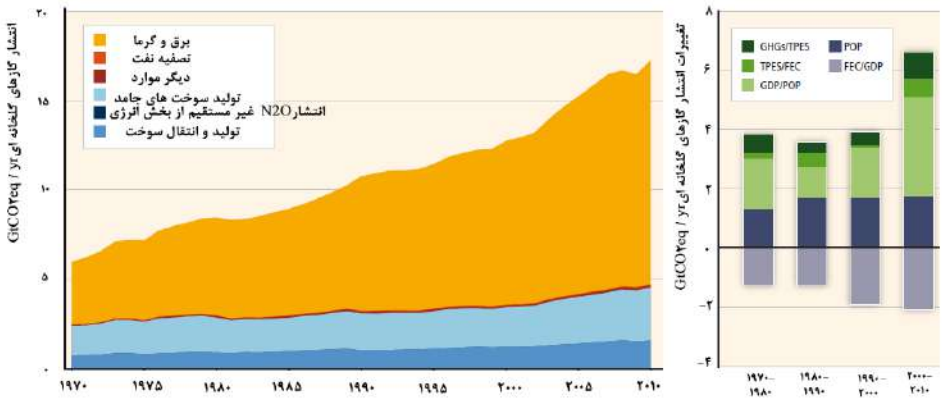


شکل۷-۵: مقایسه پتانسیل فنی جهانی منابع انرژی تجدید پذیر(Moomaw et al., 2011) و توسعه‌ی فنّاوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر تا سال ۲۰۵۰ (گزارش هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا)

۷-۴- روندهای مشاهداتی و آینده محرک‌های انتشار

در سال ۲۰۱۰، بخش تأمین انرژی ۴۹ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به کل انرژی (JRC / PBL, 2013) و ۳۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای انسان منشأ را به خود اختصاص داده است که از سال ۱۹۷۰ از ۱۳ درصد به میزان ۲۲ درصد افزایش داشته است. این جایگاه باعث شد که بخش تامین انرژی به عنوان اولین مشارکت‌کننده در انتشار گازهای گلخانه‌ای در رتبه نخست قرار گیرد. با توجه به پایگاه داده‌ای انتشار برای تحقیقات جوی جهانی (EDGAR[1]) / مجموعه داده‌های آژانس بین‌المللی انرژی (IEA[2])، در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، میزان عرضه گازهای گلخانه‌ای جهان به میزان ۳۵/۷ درصد افزایش یافت و به طور متوسط انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی تقریباً به‌طور سالانه ۱ درصد سریعتر از انتشار گازهای گلخانه‌ای انسان منشأ افزایش می‌یابد. با وجود پروتکل UNFCCC و پروتکل کیوتو، انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بیشتر از دهه قبل از این دوره افزایش یافته است. رشد در بخش تأمین انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای از ۱/۷ درصد در سال از ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ به ۳/۱ درصد در سال بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ افزایش یافت (شکل ۷-۶). در سال ۲۰۱۲، انتشار از این بخش، ۶ درصد بیشتر از سال ۲۰۱۰ (BP, 2013)، یا بیش از ۱۸ GtCO2eq بود. در سال ۲۰۱۰، ۴۳ درصد از انتشار گازهای دی‌اکسید کربن از احتراق سوخت زغال‌سنگ، ۳۶ درصد از نفت و ۲۰ درصد از گاز (IEA, 2012f) تولید شد.

[1] Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)
[2] International Energy Agency (IEA)



میانگین نرخ رشد سالانه ٪

	دهه ۷۰	دهه ۸۰	دهه ۹۰	دهه ۰۰
برق و گرما	۴/۵۱	۳/۲۲	۱/۹۶	۳/۱۹
پالایش نفت	۲/۰۹	۱/۱۱	۱/۸۸	۲/۵۸
تولید سوخت های جامد	۴/۲۶	۸/۲۶	۱/۱۶	۵/۰۵
تولید و انتقال سوخت	۱/۷۸	۰/۵۹	۰/۶۰	۳/۹۲
دیگر موارد	۳/۷۷	۲	-۰/۲۸	۳/۷۲
انتشار N2O غیر مستقیم از بخش انرژی	۴/۷۴	۲/۱۹	۲/۱۷	۳/۶۶
کل بخش انرژی	۳/۵۲	۲/۴۲	۱/۶۸	۳/۱۰

درصد سهم

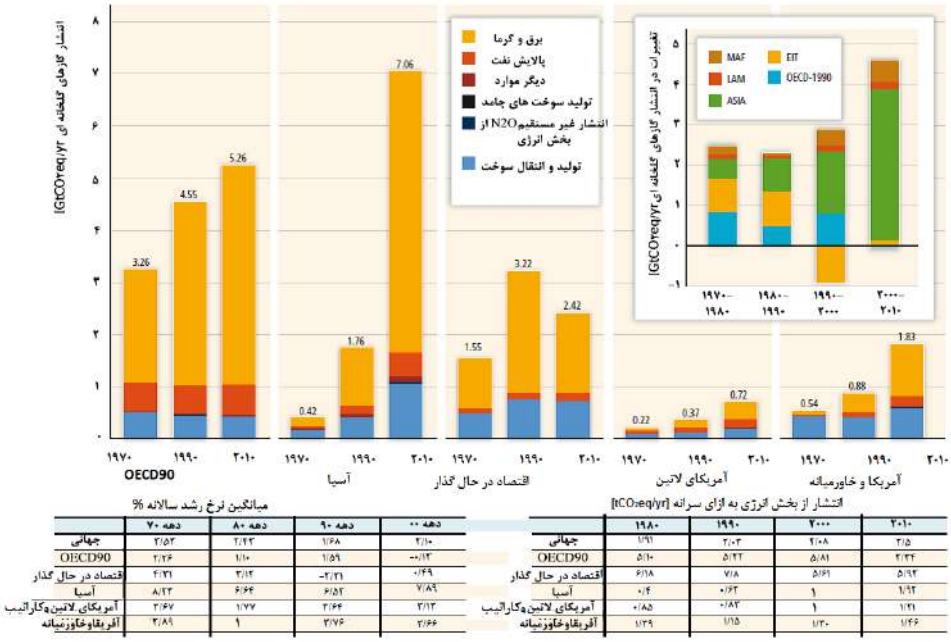
۱۹۷۰	۱۹۹۰	۲۰۱۰
۵۸/۰۹	۶۹/۹	۷۲/۶
۱۲/۳	۹/۶	۹/۱
۰	۰	۰
۲۷/۵	۱۹/۳	۱۷/۱
۱/۱	۱	۰/۹
۰/۳	۰/۳	۰/۳
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

شکل۷-۶: انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط زیرمجموعه‌های مختلف بخش انرژی. جدول نشان دهنده‌ی میانگین رشد سالانه انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول دهه‌ها و سهم هر زیرمجموعه است. نمودار سمت راست نشان‌دهنده مشارکت محرک‌های مختلف (POP = جمعیت، GDP = تولید ناخالص داخلی، FEC = مصرف نهایی انرژی، TPES = کل عرضه‌ی انرژی اولیه) در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس تحقیقات IEA, 2012a است. نمودار بزرگ و جدول بر اساس پایگاه داده‌ای EDGAR / IEA (IEA, 2012g) است

انتشار از بخش تولید برق و گرما در ۷۵ درصد از افزایش انتشار در دهه گذشته مشارکت داشته است و به دنبال آن ۱۶ درصد برای تولید و انتقال سوخت و ۸ درصد برای پالایش نفت بود. گرچه این بخش‌ها عمدتاً دی اکسید کربن بالایی را انتشار می‌دهند اما همچنین انتشار گاز متان (که ۳۱ درصد به‌طور عمده به تولید و انتقال زغال‌سنگ و گاز مربوط می‌شود) و اکسید نیتروژن غیرمستقیم (که ۹ درصد آن از زغال‌سنگ و احتراق سوخت چوب است) نیز در مراحل بعدی قرار دارند(IEA, 2012f). تجزیه شکل نشان می‌دهد که رشد جمعیت در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ تا ۳۹/۷ درصد در افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و با رشد تولید ناخالص داخلی ۷۲/۴ درصد به ازای سرانه نقش داشته است. در طی مدت مشابه، کاهش شدت انرژی (مصرف نهایی انرژی در واحد تولید ناخالص داخلی) سبب کاهش روند افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای به میزان ۴۵/۴ درصد شد. از آنجایی که تولید برق با سرعت یک درصد در سال سریع‌تر از کل انرژی اولیه رشد کرد، نسبت TPES / FEC در ۱۳/۱ درصد از میزان انتشار مازاد مشارکت داشت. شدت بخش کربن نسبت به TPES مسئول ۲۰/۲ درصد از میزان تولید مازاد گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی بود. علاوه بر رشد قوی‌تر TPE، در دهه گذشته پیشرفت

اندکی در کربن‌زدایی در ترکیب سوخت جهانی ایجاد شده است. با رشد سالانه به میزان ۳/۱ درصد در بخش تولید گازهای گلخانه‌ای، این دهه با وجود سیاست‌های شدید برای کاهش، یکی از قوی‌ترین رشدهای انتشار در ۳۰ سال گذشته را ثبت نموده است. کاهش شدید کربن در OECD90 شتاب گرفت و در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ توسط کشورهای با اقتصاد در حال گذار و در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ توسط آمریکای لاتین و کارائیب (IEA ،2012a) مورد توجه قرار گرفت. اکثر کشورهای در حال توسعه، کربن‌زدایی اندک یا عدم کربن‌زدایی را نشان می‌دهند. پیشرفتها در زمینه‌ی کربن‌زدایی انرژی در OECD90 (۰/۴- درصد در سال در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰) کمتر از سه دهه گذشته بود، اما همچنان به تلاش‌های خود برای دستیابی به کربنی پایین‌تر از سطح سال ۲۰۰۰ تلاش می‌کنند. در کشورهای غیر OECD90، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی به طور متوسط از ۱/۷ درصد در سال بین سال‌های ۲۰۰۰ - ۱۹۹۰ به ۵ درصد در سال بین سال‌های ۲۰۱۰ - ۲۰۰۰ افزایش یافت که به دلیل رشد TPES همراه با رشد ۰/۶ درصد در سال به علت شدت دادن به انرژی کربن بوده است که عمدتاً توسط زغال‌سنگ مورد تقاضا در آسیا (IEA ،2012b) تحریک می‌شود. در نتیجه، در سال ۲۰۱۰، در کشورهای غیر عضو OECD90 میزان عرضه گازهای گلخانه‌ای، ۲/۳ برابر کشورهای OECD90 بود. در سال ۱۹۹۰، OECD90، بزرگ‌ترین ناشر و تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی بود (۴۲ درصد از کل جهانی) و پس از آن منطقه‌ی اقتصاد در حال گذار (۳۰ درصد) در رتبه‌ی بعد قرار داشت. در سال ۲۰۱۰، آسیا به بازی‌کننده اصلی این میدان با دارا بودن ۴۱ درصد از این سهم تبدیل شد. انتشار گازهای گلخانه‌ای چین بیش از ایالات‌متحده و هند بیش از روسیه است (2012f، IEA) آسیا ۷۹ درصد از میزان تولید انرژی مازاد در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ و ۸۳ درصد از آن را در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به خود اختصاص داده است؛ و سپس کشورهای خاورمیانه، آفریقا، آمریکای لاتین و کارائیب قرار دارند.

میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در سرتاسر جهان در کشورهای در حال توسعه پایین‌تر از میانگین جهانی است، اما این شکاف در آسیا بسیار زیاد است (شکل ۷-۷). میزان تولید گاز دی اکسید کربن در سرتاسر آسیا (به استثنای چین) در سال ۲۰۱۰ تنها ۰/۷۵ تن کربن در مقایسه با ۲/۰۶ تن کربن در مقیاس متوسط جهانی بود، در حالی که تولید گاز دی اکسید کربن در سال ۲۰۱۰ در چین، ۲/۸۶ تن کربن بود که این مقدار از عدد ۲/۸۳ تن کربن در OECD اروپا (2012f، IEA) پیشی گرفته است.



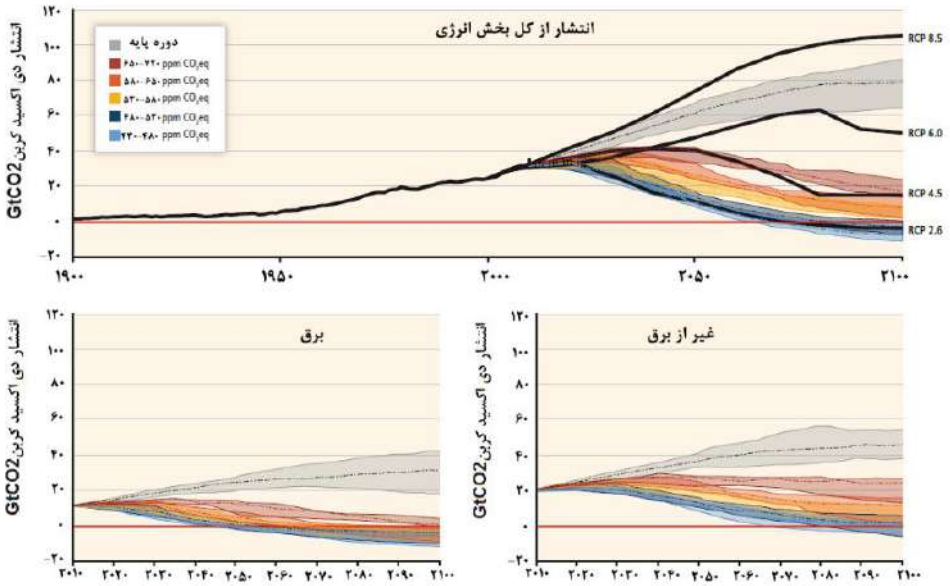
	دهه ۷۰	دهه ۸۰	دهه ۹۰	دهه ۰۰
جهانی	۲/۵۳	۲/۴۳	۱/۶۸	۲/۱۰
OECD90	۲/۲۶	۱/۱۰	۱/۵۹	-۰/۱۳
اقتصاد در حال گذار	۴/۳۱	۳/۱۴	-۲/۳۱	۰/۴۹
آسیا	۸/۲۲	۶/۶۴	۶/۵۲	۷/۸۹
آمریکای لاتین وکارائیب	۲/۶۷	۱/۷۷	۲/۶۴	۳/۱۲
آفریقاوخاورمیانه	۳/۸۹	۱	۳/۷۶	۳/۶۶

	۱۹۸۰	۱۹۹۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰
جهانی	۱/۹۶	۲/۰۳	۲/۰۸	۲/۱۵
OECD90	۵/۱۰	۵/۲۲	۵/۸۱	۴/۳۲
اقتصاد در حال گذار	۶/۱۸	۷/۱۸	۵/۹۱	۵/۹۲
آسیا	۰/۴	۰/۶۲	۱	۱/۲۲
آمریکای لاتین وکارائیب	۰/۸۵	۰/۸۲	۱	۱/۲۱
آفریقاوخاورمیانه	۱/۳۹	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۴۶

شکل۷-۷: عرضه گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی توسط مناطق مختلف: کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه(OECD-90)، آسیا(ASIA)، اقتصاد در حال گذار (EIT)، آفریقا و خاورمیانه (MAF) و آمریکای لاتین و کارائیب (LAM). نمودار سمت راست سهم مناطق مختلف در افزایش انتشار در هر دهه را نشان می‌دهد (منبع: پایگاه EDGAR / IEA (IEA, 2012g).

در سناریوهای پایه ارزیابی‌شده، انتشار مستقیم دی اکسید کربن در بخش انرژی، از ۱۴/۴ گیگاتن دی اکسید کربن در سال، در سال ۲۰۱۰، به ۲۴ - ۲۳ گیگاتن دی اکسید کربن در سال، در سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد. این نتایج با اکثر سناریوهای پایه ارزیابی شده‌اند که نشان‌دهنده افزایش چشمگیری در غلظت دی اکسید کربن است. در غیاب سیاست‌های کاهش میزان تغییر آب و هوایی، انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰، انتشار گازهای گلخانه‌ای از میزان فعلی تا حدود ۵۵ تا ۷۰ گیگاتن دی‌اکسید کربن افزایش یابد. این افزایش متناظر با افزایشی در حدود ۸۰ تا ۱۳۰ درصد در مقایسه با سال ۲۰۱۰ است که ۳۰ گیگاتن کربن انتشار داده شده است (Bruckner et al., 2014).

در اکثر سناریوها که با هدف تمرکز بلندمدت به مقداری زیر ۴۸۰ CO2eq ppm موافق هستند، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ به حداکثر خود می‌رسد و در سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ تا ۱۵ گیگاتن کاهش می‌یابد (شکل۷-۸). این عامل به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۵۰ مربوط می‌شود که به مقداری بین ۵۰ تا ۷۰ درصد در مقایسه با سال ۲۰۱۰ (بین ۷۵ تا ۹۰ درصد) می‌رسد (Bruckner et al., 2014).



شکل۷-۸: انتشار دی‌اکسید کربن از دو بخش برق و غیر برق(Bruckner et al., 2014)

تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای نیاز به تغییرات اساسی در سیستم انرژی جهانی نسبت به یک سناریوی پایه دارد. به عنوان مثال، در سناریوهای کاهش به میزان ۴۵۰ CO2eq ppm در سال ۲۱۰۰، انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش تأمین انرژی در دهه‌های آینده کاهش می‌یابد و در سال‌های ۲۰۴۰ تا ۲۰۷۰ به مقدار ۹۰درصد کاهش خواهد یافت که بسیار پایین‌تر از سطوح سال ۲۰۱۰ می‌باشد و در بسیاری از موارد پس از آن، کمتر از صفر است(Bruckner et al., 2014). انتشار گازهای گلخانه‌ای به دو واحد اصلی تولید برق و بقیه سیستم انرژی تقسیم می‌شود. سناریوهای غلظت تا سال ۲۱۰۰ را بر اساس موارد جدول ۷-۲ در نظر می‌گیرند:

جدول۷-۲: سناریوهای انتشار تا سال ۲۱۰۰

ppm CO2eq ۵۳۰-۵۸۰	ppm CO2eq ۴۸۰-۵۳۰	ppm CO2eq ۴۳۰-۴۸۰
ppm CO2eq ۷۲۰-۱۰۰۰	ppm CO2eq ۶۵۰-۷۲۰	ppm CO2eq ۵۸۰-۶۵۰
		بیش از ۱۰۰۰ ppm CO2eq

سخت‌ترین این سناریوها منجر به افزایش غلظت در سال ۲۱۰۰ در مقداری بین ۴۳۰ و ۴۸۰ CO2eq می‌شود که سبب تغییر دما در دوره پایانی قرن به مقداری بین ۱/۵ تا ۱/۷ درجه سانتیگراد نسبت به دوره‌های ماقبل صنعتی می‌گردد. سناریوهای در رده‌ی غلظت ۷۲۰ -۶۵۰ CO2eq ppm سبب افزایش دما در حدود ۲/۹-۲/۶ درجه سانتیگراد تا سال ۲۱۰۰ خواهد شد(Bruckner et al., 2014).

۷-۵- کاهش و سازگاری در بخش انرژی در مقیاس جهانی

- **انرژی فسیلی**

چندین روند مهم و فرصت برای کاهش انتشار گازهای همراه با استخراج، حمل و نقل و تبدیل سوخت‌های فسیلی وجود دارد: (۱) فناوری‌های جدید که ذخایر قابل توجهی از گاز شیل و نفت غیرمتعارف را در دسترس قرار می‌دهند؛ (۲) تمرکز بر بهبود انتشار گازهای مضر نظیر متان، به ویژه در تولید گاز؛ (۳) افزایش تلاش مورد نیاز برای کاوش و استخراج نفت؛ و (۴) فناوری‌های بهبودیافته برای بهره‌وری انرژی و ضبط یا پیشگیری از انتشار متان در زنجیره تأمین سوخت.

تلاش‌های کلیدی شامل راه‌اندازی سریع فناوری‌های هیدرولیک و حفاری افقی است که عرضه گاز را افزایش داده و متنوع کرده است و به تغییر مصرف برق و حرارت تولیدشده از زغال‌سنگ به گاز توجه اساسی دارد (IEA, 2012b)؛ این مورد دلیل مهمی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایالات‌متحده است. در عین حال، افزایش استفاده از گاز، مسئله انتشار گازهای متان را از تولید گازهای معمولی و شیل افزایش داده است. در حالی که برخی مطالعات تخمین می‌زنند که حدود ۵ درصد از گاز تولیدشده در زنجیره تأمین به جو گسیل شود، در سایر تحلیل‌ها، این میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان یک درصد تخمین زده می‌شود(Stephenson et al, 2011) . طی تجزیه و تحلیل‌های اخیر، برآوردهای انتشار از گاز، در حدود ۳ - ۲درصد (۱$\pm$درصد) است (Jaramillo et al., 2007). انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی به اقدامات برای کاهش انتشار مانند جداسازی و ضبط هیدروکربن‌ها در طول تکمیل حفره‌ها، شناسایی و تعمیر نشت‌ها در طول استخراج و حمل و نقل گاز، بستگی دارد. نرخ انتشار به طور گسترده‌ای به عوامل زمین‌شناسی مانند سن زغال‌سنگ نیز بستگی دارد. با توجه به برآوردهای تجدیدنظر شده برای انتشار گازهای فرار متان، ارزیابی‌های اخیر چرخه حیات نشان می‌دهد که انتشار گازهای گلخانه‌ای خاص با تغییر مصرف از سوخت‌های فسیلی به گاز به نصف مقدار کنونی کاهش می‌یابد (Burnham et al., 2012)، این کاهش در نتیجه‌ی مقدار پایین کربن در گاز طبیعی (۱۵/۳ gC / MJ[1]) در مقایسه با ۲۶/۲ gC / MJ در زغال‌سنگ است(IEA, 2011).

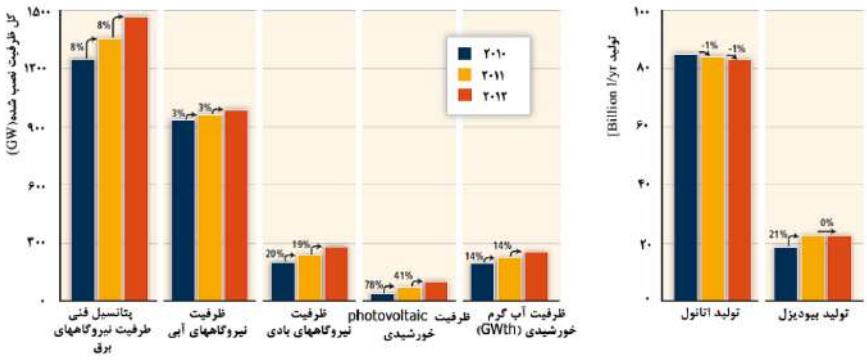
تولید نفت از منابع غیرمتعارف و از میدانهای نفتی معمولی نیاز به انرژی بیشتری نسبت به تولید آن از بخش‌های متعارف باقیمانده دارد. انتشار گازهای همراه با تولید نفت خام از ماسه‌های نفتی بالاتر از منابع طبیعی متعارف است. این انتشارها مربوط به نیاز به انرژی مازاد، انتشار گازهای فرار از خروج و فوران و کاربری اراضی است. میزان انتشار گازهای مرتبط با استخراج نفت و تبدیل آن به بنزین، ۳۵ تا ۵۵ gCO2eq / MJ[2] تخمین زده می‌شود که در مقایسه با انتشار با مقدار ۲۰ gCO2eq / MJ برای تولید و پالایش نفت بسیار بالاتر است و برای احتراق آن نیز به طور منظم ۷۰ gCO2eq / MJ انتشار

[1] grams of carbon per megajoule
[2] gram of carbon equivalent per megajoule

می‌یابد (Burnham et al., 2012). به طور کلی، در حال حاضر تخمین زده شده است که استخراج و توزیع سوخت فسیلی، ۵ تا ۱۰ درصد کل انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با کل سوخت فسیلی را شامل شود (Burnham et al.,2012). انتشار گازها در مرحله‌ی تولید و انتقال سوخت می‌تواند از طریق افزایش بهره‌وری انرژی و استفاده از منابع انرژی پایین‌تر در معادن، زمینه‌ها و شبکه‌های حمل و نقل (Hasan et al., 2011)، ضبط و بهره برداری و تصفیه متان در منابع زغال‌سنگ کاهش یابد.

- **انرژی‌های تجدید پذیر**

همان‌طور که در IPCC (2011) بحث شده است، تعداد روزافزون فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر به سطح بالایی از بلوغ فنّاوری و اقتصادی دست‌یافته‌اند، در حالی که برخی از آنها کمتر توسعه یافته‌اند و هنوز به طور گسترده‌ای گسترش نیافته اند. به عنوان مثال، بیشتر فنّاوری‌های برق‌آبی، از لحاظ فنی و اقتصادی رشد داشته اند. در عین حال، فناوری‌های زیست فنّاوری زیاد توسعه نیافته‌اند؛ نمونه‌هایی از فناوری‌های تکامل یافته شامل نیروگاه‌های سوخت زیستی و سیستم‌های گرمایشی و همچنین تولید اتانول از شکر و نشاسته هستند، در حالیکه بسیاری از سوخت‌های حمل و نقل مبتنی بر لیگنوسلولز در مرحله قبل از تجاری‌سازی قرار دارند. پیشرفت انرژی خورشیدی از مرحله تحقیق و توسعه (از جمله سوخت‌های تولیدشده از انرژی خورشیدی) به نسبت بالاتری از تکنیک دست یافته است. با این حال، حتی فناوری‌هایی که از لحاظ فنی رشد یافته اند، به یک وضعیت رقابتی اقتصادی دست نیافته‌اند. فناوری‌های گرمایشی و نیروگاه‌های زمین‌گرمایی که بر منابع هیدروگرمایی متکی هستند، از فناوری‌های رشد یافته استفاده می‌کنند (گرچه خطرات مخزن همچنان قابل ملاحظه است). فناوری‌های انرژی اقیانوسی نیز در مرحله نمایش قرار دارند و به تحقیق و توسعه بیشتری نیاز دارند. فناوری‌های باد بر پایه سنتی توسعه یافته‌اند. در حالی که استفاده از انرژی باد در مناطق دریایی در حال افزایش است، اما معمولاً هزینه آن بیشتر از انرژی باد مبتنی بر مناطق خشکی است.



شکل۷-۹: شاخص‌های انتخاب‌شده از رشد جهانی انرژی‌های تجدید پذیر(REN21, 2012)، شکل سمت چپ، ظرفیت مخازن را به گیگاوات و شکل سمت راست تولید را در واحد میلیارد در سال نشان می‌دهد

در مجموع، رشد ظرفیت برق تجدید پذیر از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ و از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۲، ۸ درصد بوده است. سوخت‌های زیستی ۳/۴ درصد از کل مصرف جهانی حمل و نقل جاده‌ای را در سال ۲۰۱۲ تشکیل داده‌اند. هرچند این رشد از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ محدود بود، اما از زمان گزارش چهارم هیئت بین الدول تغییرات آب و هوایی بسیار مهم بوده است. تا پایان سال ۲۰۱۲، استفاده از پتانسیل فنی در بازار گرمایش آب شامل ۲۹۳ GW_{th}[1] از زیست‌توده مدرن، ۲۵۵ GW_{th} از خورشید و ۶۶ GW_{th} از زمین‌گرمایی(REN21, 2013) بوده است.

به طور خلاصه، کشورهای در حال توسعه بخش قابل توجهی از ظرفیت تولید برق تجدید پذیر جهانی را میزبانی می‌کنند، چین در سال ۲۰۱۲، با اضافه کردن ظرفیت، بیشتر از هر کشور دیگری پیشی گرفته است. در سال‌های اخیر، به ویژه کاهش هزینه‌های PV[2] قابل‌توجه بوده است و منجر به افزایش رشد گشته است و از سال ۲۰۱۲، اکثر تأسیسات جدید از اروپا (و به میزان کمتر آسیا و آمریکای شمالی) منشا گرفته‌اند و با تغییرات تولید در آسیا همراه بوده است. ایالات‌متحده و برزیل به ترتیب ۶۱ و ۲۶ درصد تولید بیو اتانول جهانی در سال ۲۰۱۲ را به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که چین در استفاده از آب گرم خورشیدی (REN21, 2013) پیشرو است.

- **انرژی هسته‌ای**

انرژی هسته‌ای در تولید برقِ ۳۰ کشور دنیا استفاده می‌گردد (IAEA, 2013a). برق هسته‌ای ۱۱ درصد از تولید برق جهان را در سال ۲۰۱۲ به خود اختصاص داد و مقدار تولید کل برابر با ۲۳۴۶ TWh[3] (IAEA, 2013b) بود. در سال ۲۰۱۲، سهم تولید جهانی برق هسته‌ای به بیش از ۱۷ درصد کاهش یافته است (IEA, 2012b). ایالات‌متحده، فرانسه، ژاپن، روسیه و کره - با دارا بودن ۹۹، ۶۳، ۴۴، ۲۴ و ۲۱ GWe[4] انرژی هسته‌ای - به ترتیب پنج کشور برتر در ظرفیت نصب شده هسته‌ای هستند و باهم ۶۸ درصد از ظرفیت کل انرژی هسته‌ای جهانی تا سپتامبر ۲۰۱۳ را در اختیار داشتند (IAEA, 2013a). اکثر راکتورهای جهان بر اساس فنّاوری آب سبک[5]، طراحی شده‌اند و دارای چرخه سوخت مشابهی هستند. از کل راکتورها در سراسر جهان، تعداد ۳۵۴ راکتور، راکتور آب سبک (LWR) هستند که از این تعداد، ۲۷۰ راکتور، راکتور آب تحت فشار (PWR[6]) و ۸۴ مورد راکتور آب جوش

[1] Gigawatt hours
[2] photovoltaic
[3] terawatt-hour
[4] Gigawatt electric
[5] Light water
[6] pressurized water reactors (PWR)

(BWR[1])، (IAEA, 2013a) است. دیگر راکتورهای باقی مانده شامل ۴۸ راکتور آب سنگین (PHWR[2])، ۱۵ راکتور گاز خنک (GCR[3])، ۱۵ راکتور گرافیتی (RBMK/ LWGR[4]) و ۲ راکتور پرورش سریع (FBR[5])، هستند.

گزینه‌های بازیافت کامل بر اساس دوره‌های سوخت اورانیوم یا توریم که با طرح‌های پیشرفته راکتور طراحی شده‌اند - از جمله راکتورهای طیف نوترونی سریع و حرارتی - می‌تواند به طور قابل توجهی باعث گسترش منابع هسته‌ای و کاهش ضایعات شود. نقاط ضعف فعلی شامل هزینه‌های اقتصادی بالاتری هستند، همچنین در مراحل بعدی، پیچیدگی‌های افزایش یافته و خطرات مرتبط با چرخه پیشرفته سوخت و فناوری‌های راکتور قرار دارند.

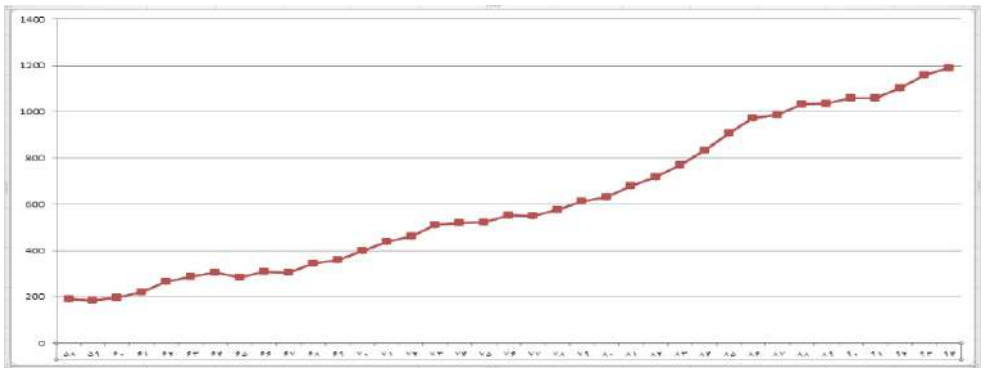
۷-۶- وضعیت تولید انرژی در کشور

در سال ۱۳۹۳ وضعیت تولید نفت و گاز به شرح زیر است (آقایان ، ۱۳۹۳): حدود ۹۶ درصد از کل انرژی مورد نیاز کشور با مصرف فرآورده‌های نفتی شامل گاز مایع، بنزین موتور، نفت سفید، نفت‌گاز، نفت کوره، سوختهای هوایی و گاز طبیعی تامین شده است. مصرف فرآورده های نفتی در این سال معادل ۴۴۲۸ هزار بشکه نفت خام بوده است که از این میزان ۳۹۸ هزار بشکه معادل نفت خام بنزین موتور (۹ درصد) ، ۵۹ هزار بشکه معادل نفت خام نفت سفید (۱/۳ درصد)، ۶۱۴ هزار بشکه معادل نفت خام نفت گاز (۱۳/۹ درصد)، ۲۳۴ هزار بشکه معادل نفت خام نفت کوره (۵/۳ درصد)، ۲۸ هزار بشکه معادل نفت خام انواع سوختهای هوایی (۰/۶ درصد) ، ۴۶ هزار بشکه معادل نفت خام گاز مایع (۱ درصد) و ۳۰۴۹ هزار معادل نفت خام گاز طبیعی (۶۸/۸ درصد) بوده است. در کل میزان مصرف فرآورده‌های انرژی‌زا و گازطبیعی در سال ۹۳ نسبت به سال ۹۲ رشدی در حدود ۴/۷ درصد داشته است که گاز طبیعی، سوخت‌های هوایی و بنزین سهم بیشتری را در افزایش این رشد داشته اند.

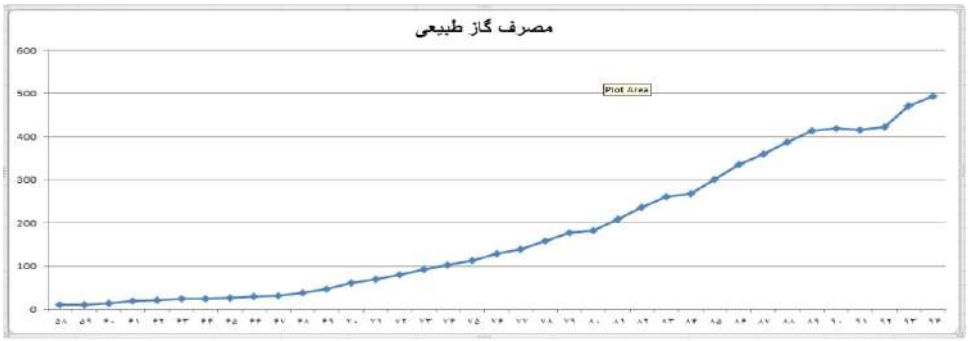
در سال ۹۷ ظرفیت تولید انرژی‌های پاک شرح شکل ۷-۱۰ بوده است(وزارت نیرو ،۱۳۹۷). شکل ۷-۱۱ و ۷-۱۲ روند مصرف انرژی را طی سالهای متمادی نمایش می‌دهند.

[1] boiling water reactors (BWR)
[2] heavy-water reactors
[3] gas-cooled reactors
[4] graphite-moderated reactors
[5] Fast breeder reactor

شکل۷-۱۰: ظرفیت تولید انرژیهای پاک در کشور در سال ۱۳۹۷



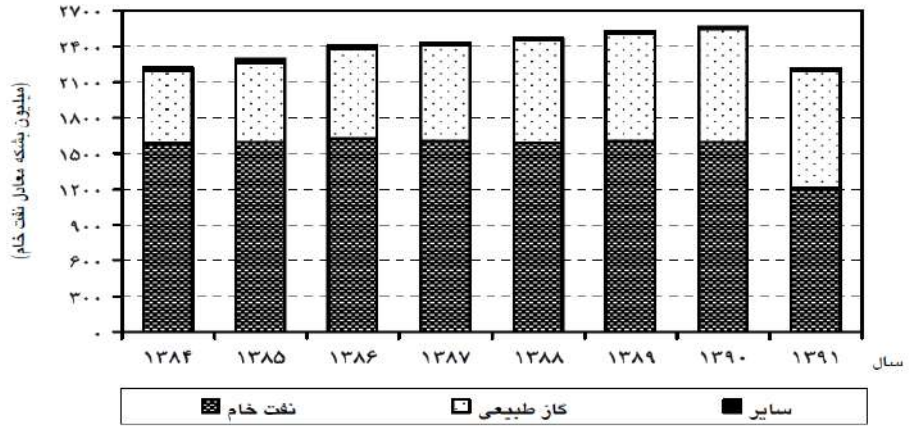
شکل۷-۱۱: مصرف انرژی در کشور از سال ۵۸ تا ۹۴ برحسب بشکه نفت(هزاربشکه در روز) (URL 7-1)



شکل۷-۱۲: مصرف گاز طبیعی از سال ۵۸ تا ۹۴ برحسب میلیون متر مکعب (URL 7-1)

از نظر تولید و توزیع، انتقال و مصرف انرژی در ایران، بر اساس گزارش کنسولگری جهانی انرژی در سال ۲۰۱۶، ذخایر زغال سنگ سخت در ایران در سال ۲۰۱۴، ۱۲۰۳ میلیون تن بوده است. تولید زغال سنگ سخت در این سال برابر با ۲/۸ میلیون تن گزارش شده است. در این سال تولید نفت در ایران معادل با ۱۶۹/۲ میلیون تن بوده است. تولید گاز نیز معادل ۳۴۰۲۰ میلیون متر مکعب گزارش شده است. در کشورهای واقع در خاورمیانه، تنها ایران و عربستان سعودی با مصرف ۶۰/۷ درصد از کل انرژی رتبه اول را از این لحاظ دارا هستند البته ایران در مصرف انرژی از عربستان سعودی نیز پیشی گرفته و با مصرف انرژی معادل ۱۹۱/۲ بیلیون متر مکعب رقم بالاتری را نسبت به عربستان (۱۰۶/۴ مترمکعب) ثبت نموده است. از لحاظ انرژی هسته‌ای، ایران تنها یک راکتور کارامد دارد که ظرفیت خالص آن ۰/۹ گیگاوات است. میزان برق تولید شده از انرژی هسته‌ای در ایران در سال ۲۰۱۵، برابر با ۳۱۹۸ گیگاوات ساعت بوده است که این مقدار در حقیقت ۱/۳ درصد از کل تولید برق را شامل می‌شود. در مورد انرژیهای تجدید پذیر مانند انرژی آبی در سال ۲۰۱۵، ایران دارای ظرفیت ۱۱۱۹۶ مگاوات بوده است. مقدار تولید خالص این انرژی در این سال معادل با ۱۳۷۸۵ گیگاوات ساعت می‌باشد. برق خالص تولید شده از بیوگازها در سال ۲۰۱۳ در ایران معادل با ۱۹۷۸ تن معادل نفت‌خام بوده است. تولید زیست توده در این سال ۴۸۸۴۴۸ تن معادل نفت خام گزارش شده است. تولید بیوگاز نیز در رقمی با مقدار ۶۴۷۳ تن معادل نفت خام ارزیابی شده است. در سال ۲۰۱۵، غلظت نیروی خورشیدی برابر با ۱۷ مگاوات بوده است. ظرفیت کل تولید نیز برابر با همین رقم است. کل مصرف برق خورشیدی در این سال برابر با رقم ۱۰۴ گیگاوات ساعت مشخص شده است. کل تولید برق خورشیدی در سال ۲۰۱۴، ۱۹ گیگاوات بوده است. در سال ۲۰۱۴، ظرفیت نصب شده با استفاده‌ی مستقیم از انرژی زمین گرمایی معادل با ۸۵/۵۰ مگاوات بوده است. کل ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاههای بادی در ایران برابر با ۱۱۷ مگاوت در سال ۲۰۱۵ بوده است. مصرف انرژی بادی ۲۴۵ و تولید آن برابر با ۲۵۶ مگاوات ساعت گزارش شده است(world energy council, 2016).

شکل ۷-۱۳ تولید انرژی اولیه را از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ نمایش میدهد. همانطور که در شکل ۷-۱۳ و جدول ۷-۳ مشخص است میزان تولید نفت خام به پایین ترین مقدار خود طی سالهای قبل رسیده است. اما گاز طی سالهای ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۱ روند افزایشی را نشان می‌دهد. زغال سنگ روند ثابتی را نشان می‌دهد درصورتیکه روند تولید انرژیهای تجدیدپذیر قابل احتراق و همچنین انرژی آبی، افزایشی است.

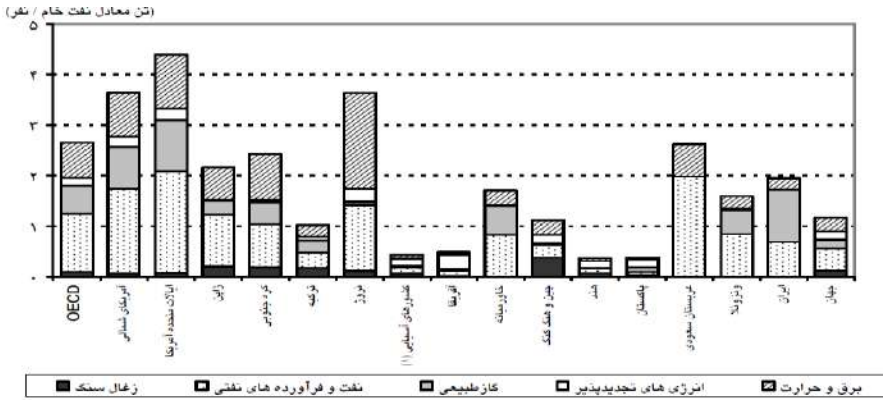


شکل۷-۱۳: تولید انرژی اولیه به تفکیک منابع (امینی و همکاران،۱۳۹۱)

جدول۷-۳: درصد سهم انواع حامل‌های انرژی در عرضه اولیه انرژی، نکته: ۱: شامل بیوماس جامد و بیوگاز می‌گردد، *: مقدار ناچیز است (امینی و همکاران ، ۱۳۹۱)

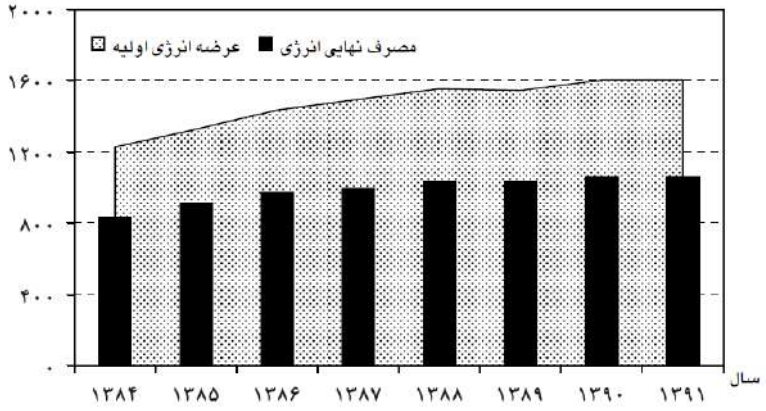
شرح	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	■۱۳۹۱
۱- عرضه انرژی اولیه				
تولید				
نفت خام	۶۴/۲۶	۶۳/۵۰	۶۲/۲۶	۵۴/۵۱
گازطبیعی	۳۵/۱۱	۳۵/۸۴	۳۶/۹۸	۴۴/۴۰
زغال‌سنگ	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۳
منابع تجدیدپذیر قابل احتراق	(۱) ۰/۲۳	(۱) ۰/۲۲	(۱) ۰/۲۳	(۱) ۰/۳۸
انرژی آبی	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۳۳
انرژی‌های خورشیدی و بادی	۰/۰۱	*	*	*
انرژی هسته‌ای	–	–	۰/۰۲	۰/۱۵
کل تولید انرژی اولیه	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

شکل ۷-۱۴ سرانه مصرف انرژی در کشورهای مختلف در قیاس با ایران را نشان می‌دهد. در ایران سرانه مصرف نفت خام معادل ۰/۶۹ تن معادل نفت خام به ازای هر نفر و سرانه مصرف گاز ۱/۰۴ تن معادل نفت خام به ازای هر نفر است. که در مقایسه با مقدار جهانی که هر کدام از آنها به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۱۷ است بسیار بالا می‌باشد. در حقیقت بعد از آمریکا، ایران دارای بالاترین سرانه مصرف گاز در بین کشورهای ذکر شده است.



شکل۷-۱۴: سرانه مصرف نهایی انرژی در ایران به تفکیک انرژی‌ها در مقایسه با سایر کشورها (امینی و همکاران، ۱۳۹۱)

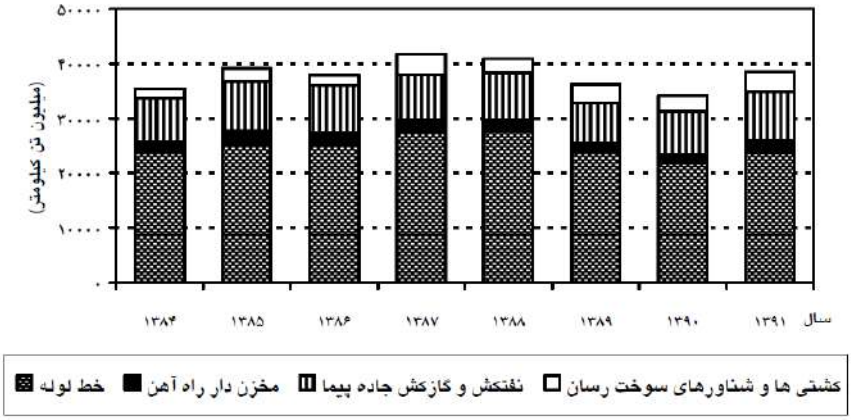
همانطور که شکل ۷-۱۵ نشان می‌دهد هم عرضه انرژی اولیه و هم مصرف آن طی سالهای مورد بررسی روند افزایشی دارد. عرضه آن در سال ۱۳۹۱، برابر با ۱۶۰۰ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده که در مقایسه با سال ۱۳۸۴، که ۱۲۰۰ میلیون بشکه نفت خام بوده است، ۴۰۰ میلیون بشکه نفت خام بر آن اضافه شده است. همچنین مصرف انرژی از ۸۰۰ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۸۴ به ۱۰۰۰ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش داشته است.



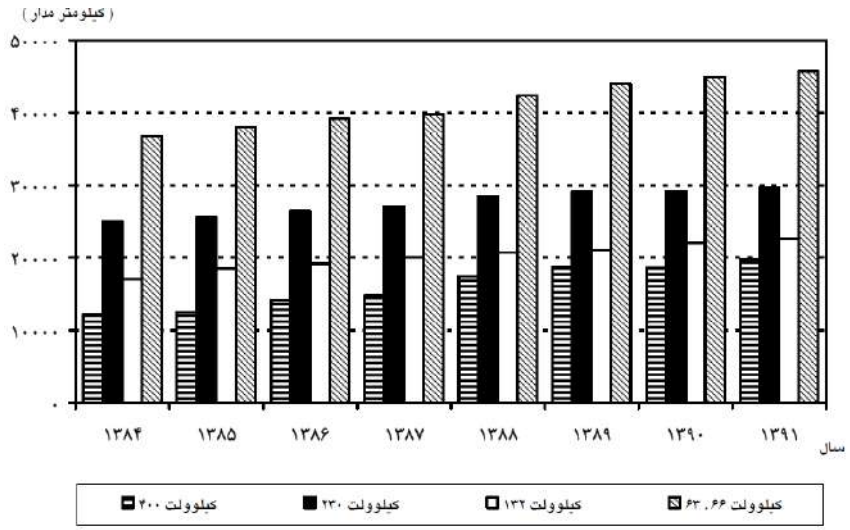
شکل۷-۱۵: عرضه انرژی اولیه و مصرف آن طی سالهای مختلف (میلیون بشکه معادل نفت خام) (امینی و همکاران، ۱۳۹۱)

شکل ۷-۱۶ عملکرد انتقال فراورده‌های نفتی طی سالهای مختلف را نمایش می‌دهد همانطور که مشخص است بیشترین انتقال از طریق خطوط لوله صورت می‌گیرد که اگر چه نرخ افزایشی را طی سالهای مختلف نشان نمی‌دهد اما خود را در یک روند ثابت در این سالها حفظ کرده است و در سالهای ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ بیشترین انتقال از طریق این خطوط بوده است. در سال ۱۳۸۸، انتقال از طریق این خطوط به ۲۷۷۲۱ میلیون تن کیلومتر رسیده است، درصورتیکه در سال ۱۳۹۱، این رقم ۲۳۷۷۳ میلیون تن کیلومتر ثبت شده است. پس از خطوط لوله، نفتکش جاده پیما بالاترین رقم را در انتقال فراورده‌های نفتی ثبت کرده است. در سال‌های

اخیر نقش کشتی‌های سوخت رسان نیز در انتقال فراورده‌های نفتی بالا بوده است بـه طوریکـه در سـال ۱۳۹۱، رقم ۳۶۹۱ میلیون تن کیلومتر برای آن ثبت شده است. شکل ۷-۱۷ طول خطوط انتقال برق کشـور را نشـان می‌دهد در همه سالهای مورد بررسی، طول خطوط انتقال افزایش چشمگیری را داشته است.



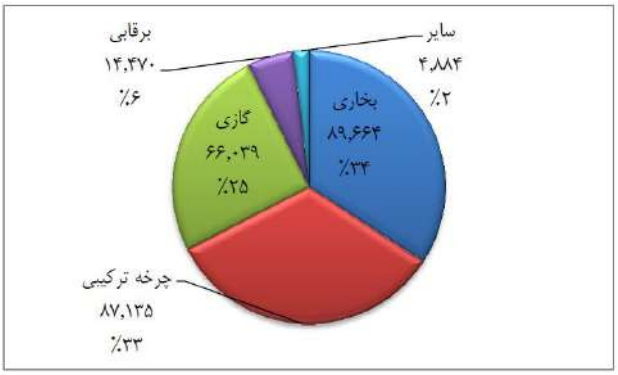
شکل۷-۱۶: عملکرد انتقال فراورده‌های نفتی طی سالهای مختلف (امینی و همکاران، ۱۳۹۱)



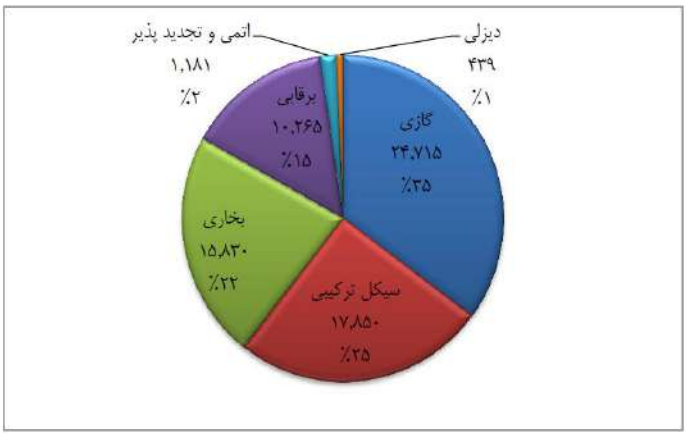
شکل۷-۱۷: طول خطوط انتقال برق کشور طی سالهای مختلف (امینی و همکاران، ۱۳۹۱)

یکی از مهمترین بخشهایی که در ایران مهم است بخش تولید برق است. تولیـد بـرق در ایـران بـه دلیل مصرف برق افزایش یافته است. به طوریکه تولید ناویژه سرانه از عـدد ۲۷۳۱ کیلـووات سـاعت در سال ۱۳۸۵ به عدد ۳۴۰۸ کیلووات ساعت در سال ۱۳۹۲ افزایش یافته و مصرف سـرانه از عـدد ۲۰۵۱ کیلووات ساعت در سال ۱۳۸۵ به ۲۶۷۷ کیلووات ساعت در سـال ۱۳۹۲ رسـیده اسـت. از کـل تولیـد

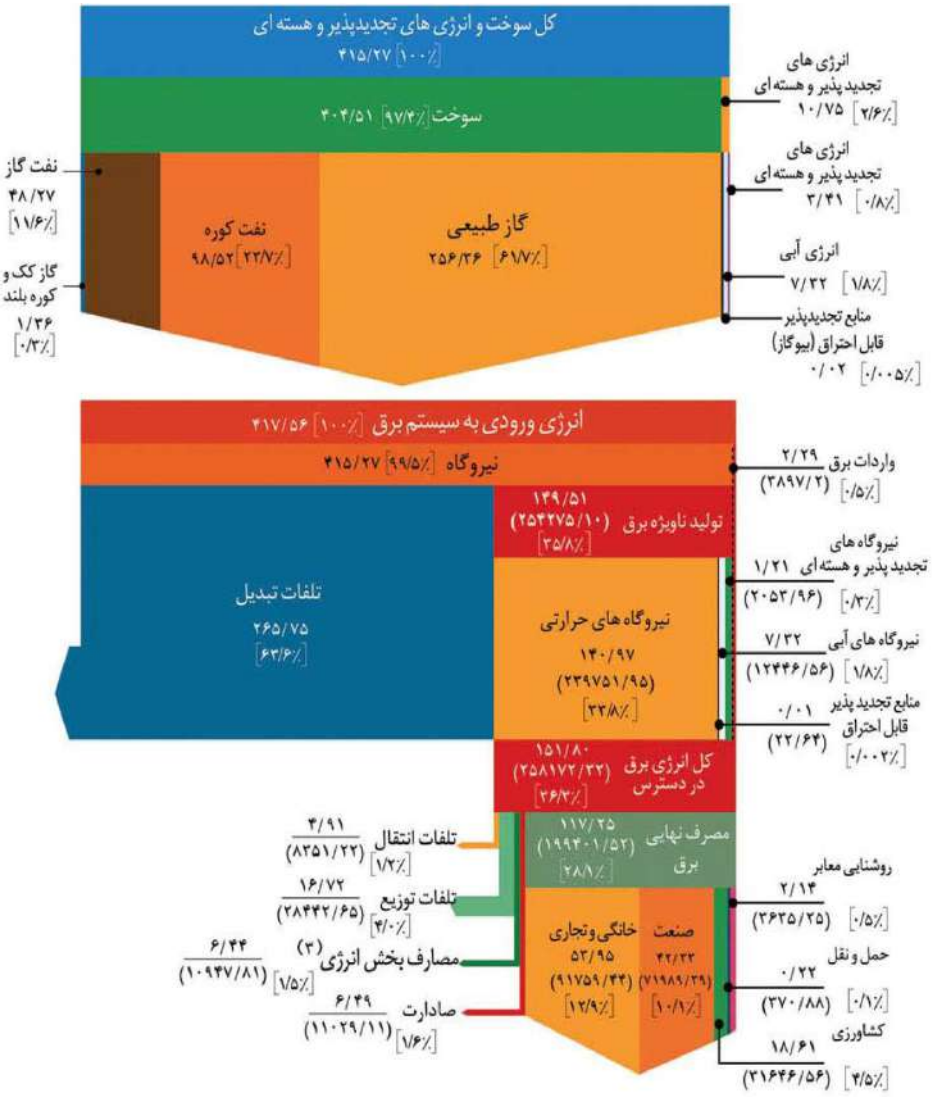
ناویژه ۲۶۲۱۹۲ میلیون کیلووات ساعت در نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۹۲ حدود ۵۰ درصد متعلق به نیروگاه‌های وزارت نیرو است. از کل این میزان تولید ناویژه انرژی برق حدود ۳۴ درصد از نیروگاه‌های بخاری، ۳۳ درصد از نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، ۲۵ درصد از نیروگاه‌های گازی، ۶ درصد از نیروگاه‌های برق آبی و ۲ درصد از سایر نیروگاه‌هاست. در کل ۹۲ درصد از کل تولید ناویژه برق متعلق به نیروگاه‌های حرارتی است که تماماً با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند (کارگزاری آینده نگر خوارزمی، ۱۳۹۴). شکل ۷-۱۸ سهم انواع نیروگاه‌ها در تولید ناویژه برق و شکل ۷-۱۹ ظرفیت نیروگاه‌های کشور در تولید برق را نمایش می‌دهد. شکل ۷-۲۰ جریان منابع و مصارف برق کشور را در سال ۱۳۹۱ نشان می‌دهد. همانطور که شکل نمایش می‌دهد از ۱۰۰ درصد انرژی برای تولید برق ، ۹۷/۴ درصد آن از تولید سوخت و تنها ۲/۶ درصد آن از انرژی‌های هسته‌ای و تجدید پذیر استفاده می‌کند. در این میان در بخش سوخت، ۶۱/۷ درصد آن مربوط به گاز طبیعی و ۲۳/۷ درصد مربوط به نفت کوره است. نفت گاز و گاز کک هم در جایگاه‌های بعدی قرار دارند.



شکل۷-۱۸: سهم انواع نیروگاه‌ها در تولید ناویژه برق(کارگزاری آینده نگر خوارزمی، ۱۳۹۴)



شکل۷-۱۹: ظرفیت نیروگاه‌های کشور (به تفکیک نیروگاه) در تولید برق (کارگزاری آینده نگر خوارزمی، ۱۳۹۴)



۱) اعداد داخل پرانتز بر حسب گیگاوات ساعت می باشند.

۲) اعداد داخل کروشه برحسب درصد می باشند. دربخش بالای نمودار، سهم ها از کل سوخت و انرژی ورودی نیروگاه ها محاسبه و دربخش پایین سهم ها از کل انرژی ورودی به سیستم برق محاسبه شده است.

۳)شامل مصارف داخلی نیروگاه ها، پست ها، پالایشگاه ها، واحدهای کک سازی و کوره بلندمی گردد.

شکل۷-۲۰: جریان منابع و مصارف برق کشور در سال ۱۳۹۱ (امینی و همکاران، ۱۳۹۱)

همانطور که ملاحظه شد میزان تولید و مصرف انرژی در کشور طی سالهای مختلف روند افزایشی را نشان داده است که بدون در نظر گرفتن نوع انرژی، بدون شک در افزایش گازهای گلخانه‌ای تاثیر خواهد داشت.

۷-۷- تحلیل نیازهای سرمایشی و گرمایشی کشور

مطالعه در زمینه بهینه‌سازی مصرف برق و بررسی مؤلفه‌ها و پارامترهای تأثیر گذار در الگوی مصرف آن از مهم ترین مطالعات در زمینه سیاست‌های مصرف انرژی می‌باشد. به عبارت دیگر عناصر و مؤلفه‌های زیادی وجود دارند که میزان مصرف انرژی و نحوه مصرف و الگوی مصرف آن را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برخی از این عوامل طبیعی و برخی دیگر موارد انسانی می‌باشند. یکی از عوامل طبیعی که در میزان بار مصرفی بسیار مهم است، آسایش حرارتی انسان در داخل ساختمان است که در زیر مجموعه آب و هواشناسی زیستی قابل تعریف و مطالعه است. در این راستا شاخصی آب و هوایی به نام نیازهای سرمایشی و گرمایشی مطرح می‌شود که برحسب درجه روزهای سرد و گرم قابل تعریف است. سازمان هواشناسی جهانی انحراف میانگین دمای روزانه را از دمای آستانه آسایشی (درجه حرارت آسایش که در آن به ازائ دما، انسان نیاز به گرم یا سرد کردن محیط ندارد) درجه روز نامیده است. در صورتی که میانگین دمای روزانه بالاتر از درجه حرارت آستانه آسایش باشد، نیاز به سرد کردن محیط و در حالت عکس یعنی در صورتی که میانگین دما روزانه پاینتر از آستانه آسایش دمایی باشد نیاز به گرم کردن محیط به وجود می‌آید. شاخص درجه روز را می‌توان به عنوان ابزاری دقیق برای برآورد مقدار انرژی مورد نیاز ساختمان و محیط‌های مسکونی جهت نگه داشت هوای داخل ساختمان در بازه آستانه آسایش دمایی به شمار آورد. بنابراین می‌توان این شاخص را به عنوان شاخصی آب و هوایی برای سنجش قابلیت سکونت‌پذیری مناطق مختلف به برنامه ریزان ومجریان امر ارائه کرد. بخش مهمی از محاسبات مهندسی نظیر ابعاد باز شوها، نوع مصالح ساختمانی، ظرفیت سیستم‌های خنک کننده و گرم کننده و سیستم‌های تهویه مطبوع براساس این اصل آب و هوا شناختی انجام می‌گیرد(خلیلی،۱۳۸۳).

میزان تغییرات نیازهای سرمایشی و گرمایشی به عنوان شاخصی آب و هوایی معرف پتانسیل مصرف انرژی هر منطقه به واسطه رخداد گرمایش جهانی یا تغییر آب و هوا است که موجب افزایش مصرف برق در کشور گردیده است. باید ذکر شود که در حال حاضر حدود ۵۵ درصد برق مصرفی کشور در بخش خانگی مصرف شده و طبق گزارش دفتر مدیریت مصرف برق شرکت توانیر در سال ۱۳۹۵ بیشترین مصرف برق وسایل برقی در خانه‌ها مربوط به کولرها با ۳۰ درصد کل مصرف برق بخش خانگی در فصل گرم بوده است (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق،۱۳۹۷). در این میان تأثیر افزایش تدریجی نیازهای سرمایشی کشور به تبع رخداد گرمایش جهانی که موجب افزایش

نیاز به سرد کردن محیط و افزایش نیاز به استفاده از انرژی برق برای برطرف کردن این نیازهای سرمایشی است قطعاً بی تأثیر نمی‌باشد.

برای بررسی تأثیر تغییر آب و هوا بر مصرف برق از درجه روزهای سرد و گرم به عنوان نمایه تغییر آب و هوا استفاده می‌گردد. از آنجا که این دو شاخص به عنوان شاخص‌های آب و هوایی، معرف پتانسیل آب و هوایی مصرف انرژی به حساب می‌آیند بنابراین استفاده از آنها نتایج دقیقتری به دست می‌دهد؛ برای مثال چون در ایران غالباً برای برطرف کردن نیازهای سرمایشی از انرژی برق استفاده می‌گردد یعنی برق نقش انرژی سرماساز را دارد، بنابراین مصرف برق برای تامین نیاز سرمایشی زمانی شروع می‌شود که دما از ۲۱ درجه (آستانه آسایش) بالاتر برود و تغییرات و دماهای بالای ۲۱ درجه به طور مستقیم موجب تغییر در مصرف برق می‌گردد در حالی که تغییر درمیانگین دما تأثیر مستقیم و روشنی بر مصرف برق نمی‌گذارد و نتایج کار دقیق نخواهد بود. لذا برای بررسی تأثیر تغییر آب و هوا بر مصرف برق به جای استفاده از میانگین دما که معمولاً در مطالعات تغییر آب و هوا این شاخص به عنوان نمایه تغییر آب و هوا بررسی می‌گردد بهتر است از درجه روزهای سرد و گرم به عنوان نمایه تغییر آب و هوا استفاده گردد.

درجه روزهای گرم و سرد عبارتند از مجموع تفاضل‌های میانگین دمای روزانه در طی یک دوره‌ی N روزه از آستانه‌های آسایشی انسان که در مناطق مختلف و از نظر محققین مختلف اعداد متفاوتی پیشنهاد شده است که غالب آن‌ها در رده ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتیگراد می‌باشند.

مقدار نیاز به گرم کردن محیط در فصل سرد و سرد کردن آن در فصل گرم که از آن به عنوان درجه روزهای گرم و سرد یاد می‌شود، عبارت است از مجموع تفاضل‌های میانگین روزانه هوا از آستانه‌ی آسایش مشخص شده در طی دوره‌ی مشخص از سال (خلیلی، ۱۳۸۷).

این داده‌ها که به نوعی شاخصی برای سنجش آسایش آب و هوایی انسان در محیط مسکونی به حساب می‌آیند، تصویری روشن و دقیق از میزان نیازهای حرارتی ساختمان، شهر و منطقه ارائه می‌کنند. مقادیر درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی شاخصی برای سختی آب و هوایی یک ناحیه یا به عبارت بهتر شاخصی برای پتانسیل سکونت پذیری مناطق مختلف می‌باشد.

این شاخص ضمن اینکه رابطه مستقیمی با جهت و مساحت نواحی ساختمانی دارد، از دیگر سو مرتبط با تغییر آب و هوایی و گرمایش جهانی بوده و در نهایت موجب تغییرات مصرف انرژی در ساختمان می‌شود.

مقدار نیاز به گرم کردن محیط در دوره سرد سال (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر به عنوان دوره‌ی سرد در نظر گرفته شده است) و سرد کردن محیط در دوره گرم سال (ماه‌های ژوئیه، ژوئن، اوت و سپتامبر به عنوان فصل گرم در نظر گرفته شده است) برحسب درجه روزهای گرم و سرد، نیاز گرمایشی و سرمایشی نامیده می‌شوند.

اگر متوسط دمای هوا از آستانه آسایشی ۱۸ درجه که پیشنهاد سازمان هواشناسی ایران می‌باشد پایین تر بیاید نیاز به گرم کردن محیط احساس می‌شود که مقدار آن در دوره‌ی معین Nروزه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\boldsymbol{HDD} = \sum(\boldsymbol{\theta_1} - \boldsymbol{T}) \quad \boldsymbol{if} \quad \boldsymbol{\theta_1} > T$$ نیاز گرمایشی

اما در صورتی که میانگین دمای روزانه از ۲۱ درجه سانتی گراد (پیشنهاد سازمان هواشناسی ایران) بالاتر برود، نیاز به سرد کردن محیط پیش می‌آید که میزان نیاز سرمایشی در دوره‌ی معین N روزه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\boldsymbol{CDD} = \sum(\boldsymbol{\theta_2} - \boldsymbol{T}) \quad \boldsymbol{if} \quad \boldsymbol{T} > \boldsymbol{\theta_2}$$ نیاز سرمایشی

که دراین روابط T میانگین دمای روزانه و θ آستانه آسایش حرارتی مورد نظر می‌باشد.

میانگین درجه روزهای سرد و گرم کشور در فصول گرم و سرد از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ محاسبه گردیده است و در جدول ۷-۴ ارائه شده است (حلیمی، ۱۳۹۰).

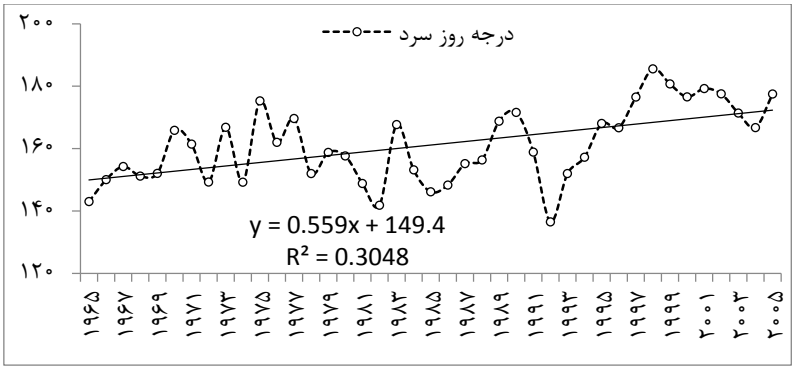
- **نیازهای سرمایشی فصل گرم**

نیازهای سرمایشی فصل گرم کشور از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ در شکل ۷-۲۱ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می‌شود، نیازهای سرمایشی فصل گرم کشور، دارای روند افزایشی بوده است. میانگین نیازهای سرمایشی کشور در فصل گرم ۱۶۱ درجه روز است. حداقل نیاز سرمایشی در دوره آماری مورد مطالعه مربوط به سال ۱۹۹۲ با ۱۳۶/۵ و حداکثر آن مربوط به سال ۱۹۸۵ به ۱۸۵/۳ درجه روز سرد می‌باشد. براساس مدل خطی برازش شده بر این سری زمانی، نیاز سرمایشی کشور از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ حدود ۲۰ درجه روز سرد افزایش داشته است. میانگین دمای فصل گرم کشور در سال ۲۰۰۵، ۲۶/۴ درجه سلسیوس به دست آمد. مدل خطی نشان داد که از ابتدای دوره تا سال ۲۰۰۵ حدود ۲۰ درجه روز نیازهای سرمایشی افزایش یافته است. بنابراین میانگین دمای سال ۱۹۵۶ با کم کردن این مقدار افزایش یافته محاسبه گردیده است. میانگین دمای فصل گرم کشور طی دوره آماری مورد مطالعه ۰/۶ درجه سلسیوس افزایش نشان می‌دهد که با کسر کردن آن از میانگین دمای سال ۲۰۰۵، میانگین دمای فصل گرم سال ۱۹۶۵ به ۲۵/۸ درجه سلسیوس می‌رسد.

نیازهای سرمایشی وگرمایشی به عنوان یک شاخص آب و هوایی معرف پتانسیل مصـرف انـرژی، در راستای تغییر آب و هوایی و گرمایش جهانی دچار تغییراتی شده است که این تغییرات در بار الکتریکی مصرفی بخش خانگی کشور تأثیر گذار است. بررسی روند این داده‌ها در مقیاس ماهانه و فصلی در دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ انجام گرفته است.

جدول۷-۴: نیاز سرمایشی و گرمایشی کشور در دوره آماری مورد بررسی از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵

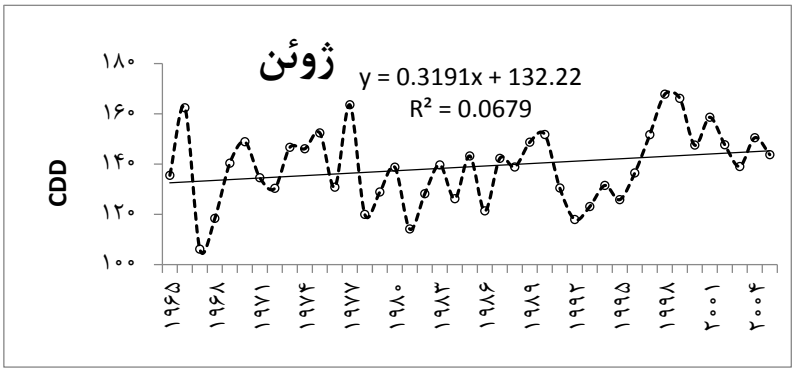
سال	نیاز سرمایشی	نیاز گرمایشی	سال	نیاز سرمایشی	نیاز گرمایشی
۱۹۶۵	۱۶۳	۴۱۰	۱۹۸۵	۱۴۶	۴۱۴
۱۹۶۶	۱۷۹	۳۳۶	۱۹۸۶	۱۴۸	۴۲۶
۱۹۶۷	۱۵۷	۴۲۲	۱۹۸۷	۱۵۵	۳۶۷
۱۹۶۸	۱۵۴	۴۰۲	۱۹۸۸	۱۵۶	۴۰۲
۱۹۶۹	۱۵۵	۴۰۵	۱۹۸۹	۱۶۹	۴۶۲
۱۹۷۰	۱۶۶	۳۸۸	۱۹۹۱	۱۵۹	۴۱۹
۱۹۷۱	۱۶۱	۴۰۲	۱۹۹۲	۱۳۷	۴۷۳
۱۹۷۲	۱۴۹	۵۱۷	۱۹۹۳	۱۵۲	۴۲۶
۱۹۷۳	۱۶۷	۴۲۷	۱۹۹۴	۱۵۷	۳۹۹
۱۹۷۴	۱۴۹	۴۷۴	۱۹۹۵	۱۶۸	۳۸۵
۱۹۷۵	۱۷۵	۴۲۸	۱۹۹۶	۱۶۷	۴۰۱
۱۹۷۶	۱۶۲	۴۲۷	۱۹۹۷	۱۷۷	۴۱۳
۱۹۷۷	۱۷۰	۴۰۶	۱۹۹۸	۱۸۶	۳۹۰
۱۹۷۸	۱۵۲	۳۶۳	۱۹۹۹	۱۸۱	۳۶۰
۱۹۷۹	۱۵۹	۳۸۴	۲۰۰۰	۱۷۷	۴۰۰
۱۹۸۰	۱۵۸	۴۲۴	۲۰۰۱	۱۷۹	۳۵۶
۱۹۸۱	۱۴۹	۳۵۹	۲۰۰۲	۱۷۸	۳۸۲
۱۹۸۲	۱۴۲	۴۶۳	۲۰۰۳	۱۷۱	۳۸۵
۱۹۸۳	۱۶۸	۴۵۲	۲۰۰۴	۱۶۷	۳۶۲
۱۹۸۴	۱۵۳	۴۳۳	۲۰۰۵	۱۷۸	۳۸۷



شکل۷-۲۱: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور در فصل گرم

- **ماه ژوئن**

میانگین نیاز سرمایشی ماه ژوئن ۱۳۸/۶ درجه روز سرد است. حداکثر نیاز سرمایشی این ماه مربوط به سال ۱۹۹۸ با ۱۶۷/۷ و حداقل آن مربوط به سال ۱۹۶۷ با ۱۰۶ درجه روز سرد می‌باشد. نیاز سرمایشی کشور در این ماه نیز همان طور که در نمودار شکل۷-۲۲ دیده می‌شود روند افزایشی داشته است. مدل خطی برازش شده بر این داده‌ها بیانگر آن بود که طی ۴۰ سال مورد بررسی نیاز سرمایشی کشور ۲۳/۶۵ درجه روز سرد افزایش داشته است.

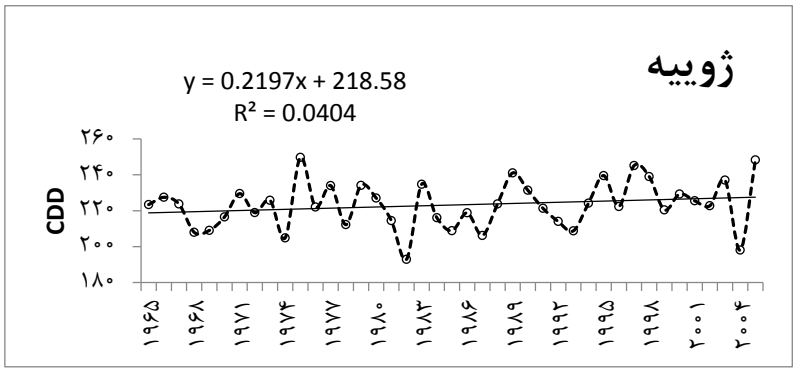


شکل۷-۲۲: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور در ماه ژوئن

- **ماه ژوئیه**

میانگین نیاز سرمایشی ماه ژوئیه ۲۲۳/۷ درجه روز سرد بوده است. حداکثر نیاز سرمایشی این ماه مربوط به سال ۱۹۷۵ با ۲۴۷/۵و حداقل آن مربوط به سال ۱۹۸۲ با۱۹۲درجه روز سرد می‌باشد. نیاز سرمایشی کشور در این ماه نیز همان طور که در نمودار شکل ۷-۲۳ دیده می‌شود، روند افزایشی داشته

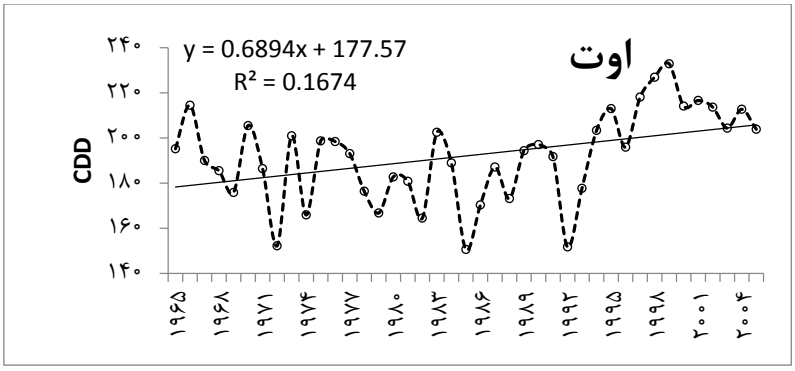
است. مدل خطی برازش شده بر این داده‌ها بیان‌گر آن بود که طی ۴۰ سال مورد بررسی نیاز سرمایشی کشور ۱۸/۶۵ درجه روز سرد افزایش داشته است. آزمون گرافیکی من کندال نشان داد که درجه روزهای سرد ایران در ماه ژوئیه در سال ۱۹۹۲ دچار جهش ناگهانی شده و از آن سال به بعد روند افزایشی داشته است (شکل ۷-۲۳). میانگین دمای ماه ژوئن ایران در سال ۲۰۰۵ و ۱۹۶۹ با همان الگوریتم مذکور محاسبه گردید که به ترتیب برابر۲۸/۷ و ۲۸/۲ درجه سلسیوس بود که نشان دهنده این است میانگین دمای کشور در این ماه در طی دروه آماری مورد بررسی حدود ۰/۴درجه سلسیوس افزایش داشته است.



شکل۷-۲۳: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور در ژوئیه

- **ماه اوت**

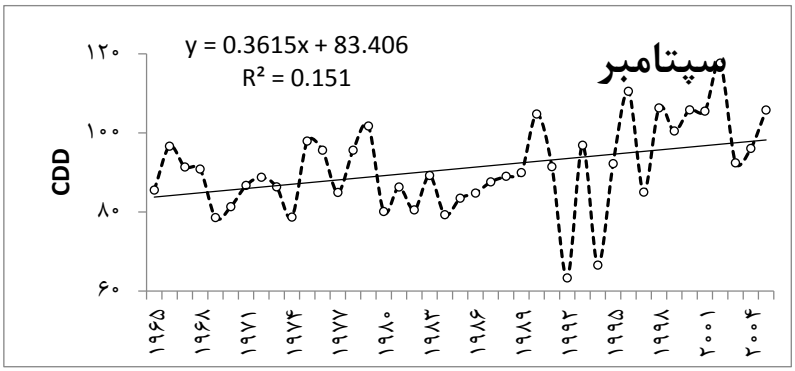
میانگین نیاز سرمایشی ماه اوت ۱۹۲ درجه روز سرد بوده است. حداکثر نیاز سرمایشی این ماه مربوط به سال ۱۹۹۹با ۲۳۳ و حداقل آن مربوط به سال ۱۹۸۵ با ۱۵۰ درجه روز سرد می‌باشد. نیاز سرمایشی کشور در این ماه نیز همان طور که در نمودار شکل ۷-۲۴ دیده می‌شود روند افزایشی داشته است. مدل خطی برازش شده بر این داده‌ها بیان گر آن بود که طی ۴۰ سال مورد بررسی، نیاز سرمایشی کشور ۲۷/۸۵ درجه روز سرد افزایش داشته است. میانگین دمای ماه ژوئیه ایران در سال ۲۰۰۵ و ۱۹۶۹ با همان الگوریتم مذکور محاسبه گردید که به ترتیب برابر۲۸/۷ و ۲۷ درجه سلسیوس بود که نشان دهنده این است میانگین دمای کشور در این ماه در طی دروه آماری مورد بررسی حدود ۰/۷درجه سلسیوس افزایش داشته است.



شکل۷-۲۴: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور در ماه اوت

- **ماه سپتامبر**

میانگین نیاز سرمایشی ماه سپتامبر ۹۱ درجه روز سرد است. حداکثر نیاز سرمایشی این ماه مربوط به سال ۲۰۰۲ با ۱۱۷ و حداقل آن مربوط به سال۱۹۹۲ با ۶۳ درجه روز سرد می‌باشد. نیاز سرمایشی کشور در این ماه نیز همان طور که در نمودار شکل ۷-۲۵ دیده می‌شود روند افزایشی داشته است. مدل خطی برازش شده بر این داده‌ها بیان گر آن بود که طی ۴۰ سال مورد بررسی نیاز سرمایشی کشور ۴ درجه روز سرد افزایش داشته است.

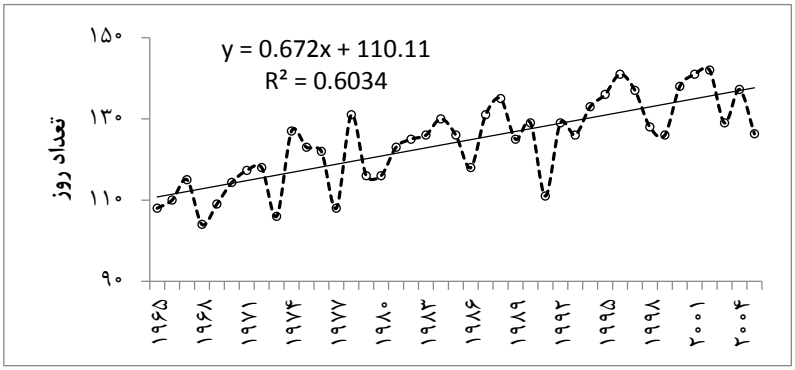


شکل۷-۲۵: روند افزاینده نیازهای سرمایشی کشور سپتامبر

- **تعداد روزهای با دمای بالای ۲۱ درجه سلسیوس**

تعداد روزهای با دمای میانگین بالاتر از ۲۱ درجه سلسیوس در سال، طی دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ محاسبه گردید. میانگین تعداد روزهای با دمای بالای ۴۰ درجه در سال در کشور ۱۲۰ روز به دست آمد. به عبارت دیگر به طور متوسط از ۳۶۵ روز سال، در ۱۲۰ روز آن، دمای میانگین کشور

بالای ۲۱ درجه سلسیوس می‌باشد. همان طور که در نمودار شکل ۷-۲۶ دیده می‌شود تعداد روزهای با دمای بالاتر از ۲۱ درجه دارای روند افزایشی هستند. بر اساس مدل خطی برازش شده تعداد روزهای با دمای بالاتر از ۲۱ درجه، طی دوره آماری ۴۰ ساله ۲۵ روز افزایش پیدا کرده است.

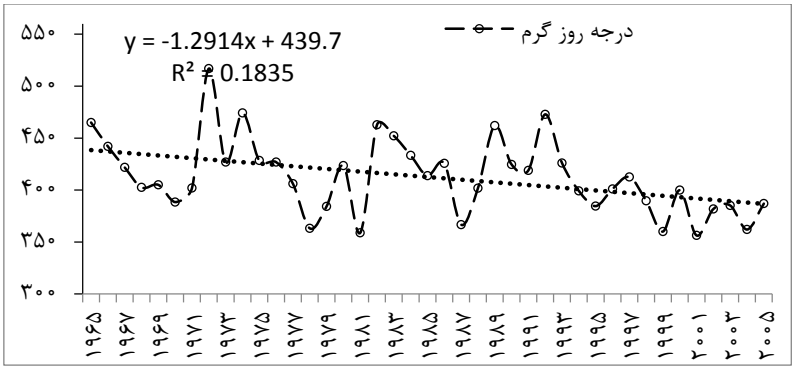


شکل۷-۲۶: روند افزایشی تعداد درجه روزهای با میانگین دمای بالای ۲۱ درجه

- **نیازهای گرمایشی فصل سرد**

نیازهای گرمایشی فصل سرد کشور از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ در نمودار شکل ۷-۲۷ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می‌شود نیازهای گرمایشی فصل سرد کشور دارای روند کاهشی بوده است. میانگین نیازهای گرمایشی کشور در فصل سرد ۳۵۶ درجه روز گرم است. حداقل نیاز گرمایشی در دوره آماری مورد مطالعه مربوط به سال۲۰۰۱ با۳۱۰ و حداکثر آن مربوط به سال۱۹۷۲ با ۵۱۶ درجه روز گرم می‌باشد. براساس مدل خطی برازش شده بر این سری زمانی، نیاز گرمایشی کشور از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ حدود ۳۰درجه روز کاهش داشته است.

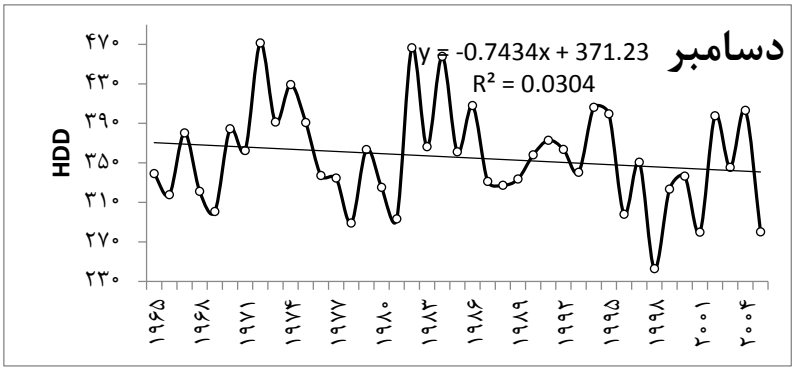
میانگین نیاز گرمایشی کشور در فصل سرد ۳۵۶ درجه روز گرم بوده و بر اساس آن، میانگین دمای فصل سرد کشور در سال ۲۰۰۵، ۶/۵ درجه سلسیوس به دست می‌آید. مدل خطی نشان داد که از ابتدای دوره تا سال ۲۰۰۵ حدود ۳۰ درجه روز نیازهای گرمایشی (برابر ۰/۶۵ درجه سلسیوس) کاهش یافته است که اگر از میانگین دمای برآورد شده فصل سرد، برای سال ۲۰۰۵ کسر گردد، دمای پیش بینی شده فصل سرد را برای اول دوره یعنی سال ۱۹۶۵ به دست می‌دهد. بنابراین میانگین دمای فصل سرد کشور در سال ۱۹۶۵ در حدود ۵/۸۵ درجه سلسیوس بوده است.



شکل۷-۲۷: روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در فصل سرد

- **ماه دسامبر**

میانگین نیاز گرمایشی این ماه ۳۵۵ درجه روز گرم بوده است. حداکثر نیاز گرمایشی این ماه مربوط به سال ۲۰۰۵ با ۴۷۱ و حداقل آن مربوط به سال ۱۹۷۲ با ۲۴۲ درجه روزگرم می‌باشد. نیاز گرمایشی کشور در این ماه نیز همان طور که در نمودار شکل ۷-۲۸ دیده می‌شود روند کاهشی داشته است. مدل خطی برازش شده بر این داده‌ها بیان گر آن بود که طی ۴۰ سال مورد بررسی نیاز گرمایشی کشور ۳۸ درجه روز گرم کاهش داشته است.

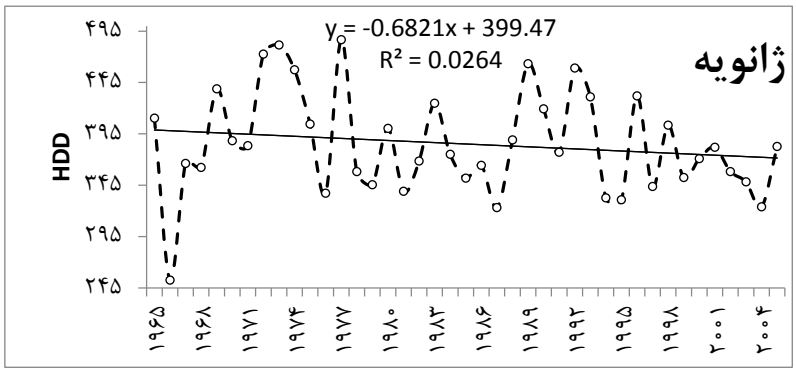


شکل۷-۲۸: روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در ماه دسامبر

- **ماه ژانویه**

میانگین نیاز گرمایشی این ماه ۴۳۷ درجه روز گرم بوده است. حداکثر نیاز گرمایشی این ماه مربوط به سال ۱۹۷۷ با ۵۶۱ و حداقل آن مربوط به سال ۱۹۶۶ با ۲۸۱ درجه روزگرم می‌باشد. نیاز گرمایشی کشور در این ماه نیز همان طور که در نمودار شکل ۷-۲۹ دیده می‌شود روند کاهشی داشته است. مدل خطی برازش شده بر این داده‌ها بیان‌گر آن بود که طی ۴۰ سال مورد بررسی نیاز گرمایشی کشور ۳۳

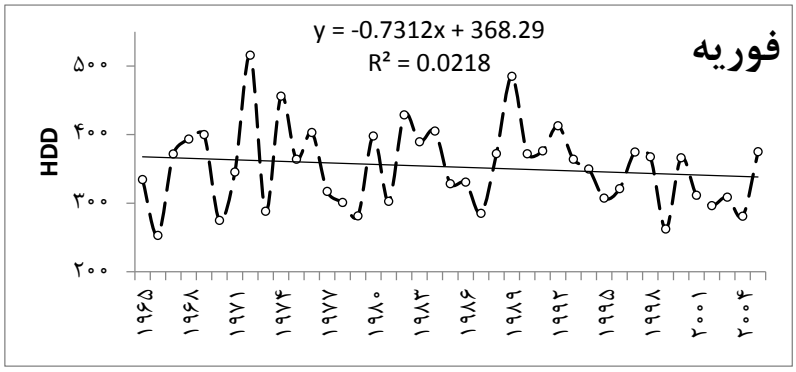
درجه روز گرم کاهش داشته است. آزمون گرافیکی من کندال نشان داد که درجه روزهای گرم ایران در ماه دسامبر در سال ۱۹۹۴ دچار جهش ناگهانی شده و از آن سال به بعد روند کاهشی داشته است. میانگین دمای ایران در این ماه، در سال ۲۰۰۵ و ۱۹۶۵ با همان الگوریتم مذکور محاسبه گردید که به ترتیب برابر۵ و ۴/۳ درجه سلسیوس بود که نشان دهنده این است میانگین دمای کشور در این ماه در طی دروه آماری مورد بررسی حدود ۰/۷درجه سلسیوس افزایش داشته است.



شکل۷-۲۹: نمودار نشان دهنده روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در ماه ژانویه

- **ماه فوریه**

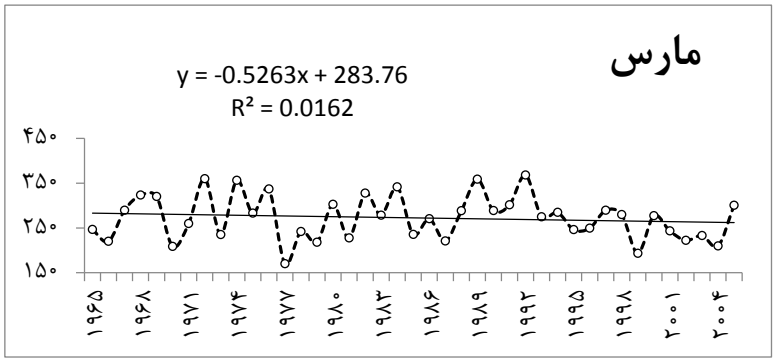
میانگین نیاز گرمایشی این ماه ۳۵۲ درجه روز گرم بوده است. حداکثر نیاز گرمایشی این ماه مربوط به سال ۱۹۹۲با ۵۱۵ و حداقل آن مربوط به سال ۱۹۶۶ با ۲۵۳ درجه روزگرم می‌باشد. نیاز گرمایشی کشور در این ماه نیز همان طور که در نمودار شکل ۷-۳۰ دیده می‌شود روند کاهشی داشته است. مدل خطی برازش شده بر این داده‌ها بیان گر آن بود که طی ۴۰ سال مورد بررسی نیاز گرمایشی کشور ۱۷ درجه روز گرم کاهش داشته است.



شکل۷-۳۰: نمودار نشان دهنده روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در ماه فوریه

- **ماه مارس**

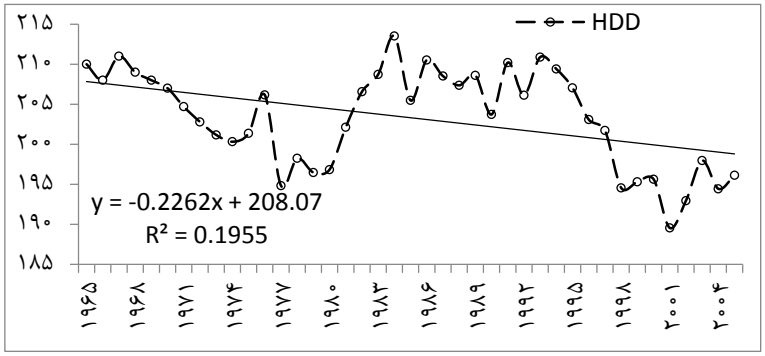
میانگین نیاز گرمایشی این ماه ۲۵۷ درجه روز گرم بوده حداکثر نیاز گرمایشی این ماه مربوط به سال ۱۹۹۲با ۳۶۸ و حداقل آن مربوط به سال ۱۹۷۷ با۱۷۰ درجه روزگرم می‌باشد. نیاز گرمایشی کشور در این ماه نیز همان طور که در نمودار شکل ۷-۳۱ دیده می‌شود روند کاهشی داشته است. مدل خطی برازش شده بر این داده‌ها بیان گر آن بود که طی ۴۰ سال مورد بررسی نیاز گرمایشی کشور ۲۸ درجه روز گرم کاهش داشته است.



شکل۷-۳۱: نمودار نشان دهنده روند کاهشی نیازهای گرمایشی کشور در ماه مارس

- **تعداد روزهای با میانگین دمای زیر ۱۸ درجه سلسیوس**

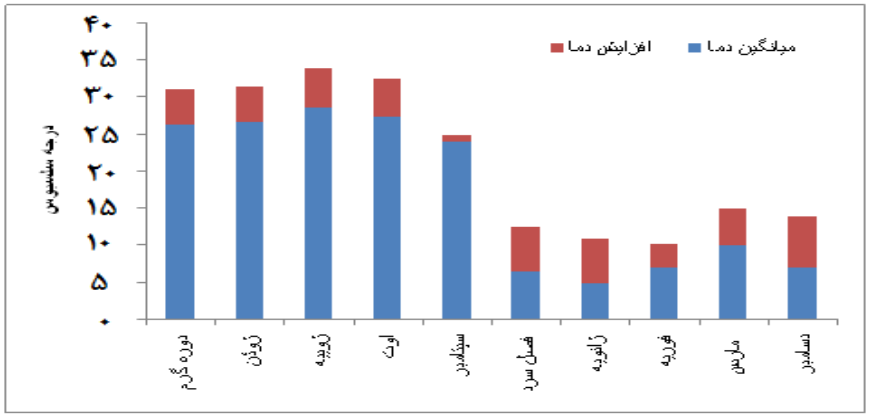
تعداد روزهای با دمای میانگین زیر ۱۸ درجه سلسیوس در سال، طی دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ محاسبه گردید. میانگین تعداد روزهای که میانگین دمای کشور کمتر از ۱۸درجه سلسیوس در سال بوده است ۲۰۳ روز می‌باشد. به عبارت دیگر به طور متوسط از ۳۶۵ روز سال ۲۰۳ روز دمای میانگین کشور کمتر از ۱۸ درجه سلسیوس است. همان طور که در نمودار شکل۷-۳۲ دیده می‌شود تعداد روزهای با دمای میانگین کمتر از ۱۸ درجه دارای روند کاهشی هستند. بر اساس مدل خطی برازش شده تعداد روزهای با دمای کمتر از ۱۸ درجه طی دوره آماری ۴۰ ساله ۱۰ روزکاهش پیدا کرده است.



شکل۷-۳۲: روند کاهشی تعداد روزهای با میانگین دمای کمتر از ۱۸ درجه سلسیوس در ایران

- **روند بلند مدت نیازهای سرمایشی و گرمایشی**

نتایج حاصل از بررسی روندهای بلندمدت ماهانه و فصلی نیازهای گرمایشی و سرمایشی کشور و همچنین میانگین دمای ماهانه و فصلی کشور بیانگر آن است که میزان افزایش دما در ماه‌های فصل سرد بیشتر از ماه‌های فصل گرم بوده است، به طوری که میزان افزایش دما برای فصل گرم ۰/۶ درجه سلسیوس و برای فصل سرد ۰/۸ درجه سلسیوس طی ۴۰ سال بدست آمد. در بین ماه‌های سرد، دسامبر و سپس ژانویه دارای بیشترین افزایش دما هستند و در بین ماه‌های فصل گرم اوت دارای بیشترین افزایش دما بود. نکته دیگر اینکه انحراف معیار مقادیر افزایش دمای محاسبه شده فصل سرد نیز بیشتر از فصل گرم است به عبارت دیگر میزان تغییر پذیری افزایش درجه روزهای گرم در طی دوره مورد مطالعه برابر ۱/۲۶ درجه روز است در حالی که این شاخص برای درجه روزهای افزایش یافته سرد تنها ۰/۳۷ درجه روز بدست آمد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که طی دوره آماری مورد بررسی درجه روزهای سرد کشور دارای کاهش کمتری نسبت به افزایش درجه روزهای گرم بوده اند؛ به عبارت دیگر درجه روزهای گرم هم دارای افزایش بیشتری بوده‌اند و هم اینکه دارای نوسانات بیشتری بوده اند. بنابراین می‌توان گفت تغییر آب و هوا در فصل سرد کشور نمود بارزتری نسبت به فصل گرم داشته و تأثیر بیشتری بر نیازهای گرمایشی گذاشته است. نمودار شکل ۷-۳۳ نشان دهنده مقادیر دمای افزایش یافته هر یک از ماه‌های فصل گرم وسرد است. مقادیر دمای افزایش یافته برای بارزتر شدن در ۱۰ ضرب شده اند که با داده‌های دمای میانگین هم مقیاس شوند. مقادیر تغییرات فصلی و ماهانه نیازهای گرمایشی و سرمایشی ایران و تغییرات میانگین دمای ماهانه و فصلی ایران طی دوره آماری مورد بررسی در در جدول۷-۵ گزارش شده است.



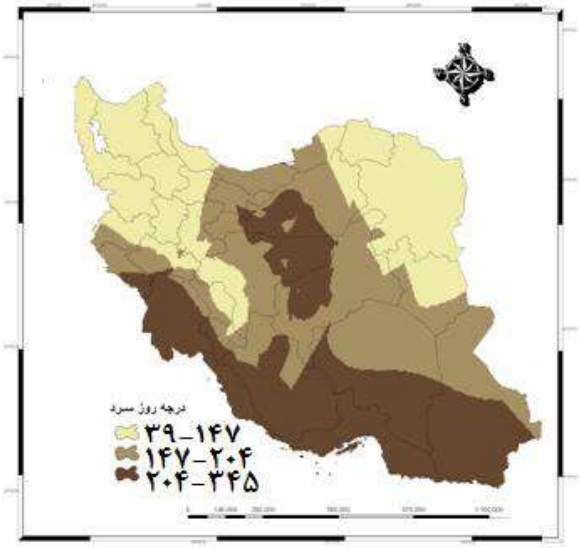
شکل۷-۳۳: مقادیر دمای افزایش یافته هر یک از ماه‌های فصل گرم وسرد (مقادیر افزایش دما هم مقیاس شده‌اند)

جدول۷-۵: دمای براورد شده سال ۲۰۰۵ و سال ۱۹۶۵و مقادیر افزایش دمای محاسبه شده (حلیمی،۱۳۹۰)

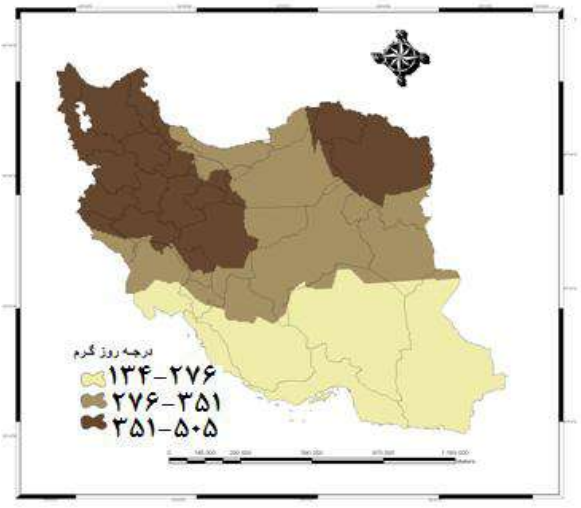
	نیاز گرمایشی					نیاز سرمایشی				
	فصل سرد	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	فصل گرم	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر
سال جهش	۱۹۹۳	۱۹۹۶	۱۹۹۴	۱۹۹۴	۱۹۹۷	۱۹۹۰	۱۹۹۳	۱۹۹۲	۱۹۹۴	۱۹۹۵
میانگین	۳۴۵	۳۹۵/۱	۳۹۰	۳۴۳/۹	۲۵۳/۳	۱۶۵/۳	۱۷۶/۷	۲۳۸/۷	۲۰۱/۵	۹۳
میانگین دمای ۲۰۰۵	۶/۵	۷	۵	۷	۱۰	۲۶/۵	۲۶/۷	۲۸/۷	۲۷/۵	۲۴
تغییرات(درجه روز)	-۳۳	-۳۸/۵	-۳۳	-۱۷/۶	-۲۷/۵	۲۰/۳۲	۲۳/۶۵	۱۷/۸	۲۷/۸۵	۳/۷
تغییرات دما	-۰/۸	-۰/۷	-۰/۷	-۰/۴	-۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۳
میانگین دمای ۱۹۶۵	۵/۷	۶/۳	۴/۳	۶/۶	۹/۴	۲۵/۹	۲۶/۲	۲۸/۴	۲۶/۹	۲۳/۷

پهنه بندی نیازهای گرمایشی و سرمایشی نشان می‌دهد(شکل ۷-۳۴ و ۷-۳۵) که مناطقی که دارای بیشترین نیاز گرمایشی در دوره سرد سال (۵۰۰ تا۴۰۰درجه - روز گرمایش) هستند، غالبا مناطق شمال

غرب تا استان‌های کهکیلویه و بویراحمد و بخش‌هایی از شمال‌شرق می‌باشند و مناطقی که دارای نیاز گرمایشی متوسطاند (۳۵۰ تا۲۰۰ درجه - روز گرمایشی) غالباً منطبق بر نواحی مرکزی و قسمت-هایی از شمال کشور مانند استان گلستان، انزلی و مازندران هستند. برخی نواحی غربی کشور مانند قسمت‌های جنوبی کرمانشاه، ایلام و لرستان نیز در این پهنه جای می‌گیرند. اما مناطق دارای کم‌ترین میزان نیاز گرمایشی (۱۵۰ تا ۱۰درجه - روز گرمایشی در دوره سرد)، همان‌طور که در نقشه دیده می‌شود نواحی ساحلی جنوب کشور می‌باشند که شامل استان‌های خوزستان، بوشهر و هرمزگان می‌باشد. در نقشه‌های پهنه‌بندی نیاز سرمایشی کشور مناطقی که دارای بیشترین نیاز سرمایشی در دوره گرم سال (۵۰۰ تا ۴۰۰ درجه - روز سرد) هستند، غالبا مناطق ساحلی جنوبی کشور از جمله استان‌های بوشهر، هرمزگان و اهواز می‌باشد. مناطقی که دارای نیاز سرمایشی متوسط (۳۵۰ تا ۲۰۰ درجه - روز سرمایشی در فصل گرم) هستند، غالبا منطبق بر نواحی مرکزی و قسمت‌هایی از شمال کشور هستند. اما مناطق دارای کم‌ترین میزان نیاز گرمایشی ۱۵۰ تا ۴ درجه - روز گرمایشی در دوره سرد همان طور که در نقشه دیده می‌شود نواحی شمال‌غرب و شمال شرق کشور هستند.



شکل۷-۳۴: پهنه بندی نیازهای سرمایشی کشور(حلیمی ،۱۳۹۰).



شکل۷-۳۵: پهنه بندی نیازهای گرمایشی کشور(حلیمی ،۱۳۹۰).

۷-۸- تحلیل ارتباط مصرف برق با تغییرات دمایی کشور

برای انجام اینکار بر اساس نیازهای گرمایشی و سرمایشی اقدام به سنجش همبستگی برق مصرفی کشور با درجه روزهای سرد و گرم کشور گردیده است (جدول ۷-۶). نتایج آزمون همبستگی گویای آن است که بار مصرفی و مصرف سرانه با نیازهای سرمایشی دارای همبستگی مثبت و با نیازهای گرمایشی

دارای همبستگی منفی هستند. این بدین معنی است که بین بار مصرفی کشور و نیازهای سرمایشی ارتباط مستقیم برقرار بوده و نیازهای سرمایشی کشور از طریق مصرف انرژی الکتریکی بر طرف می‌گردد. درحالی که ارتباط مستقیمی بین بار مصرفی و نیازهای گرمایشی و جود نداشته و دارای همبستگی منفی می‌باشند. می‌توان استدلال کرد که نیازهای گرمایشی ایران از طریق مصرف این حامل انرژی برطرف نمی‌گردد. بنابراین در تحلیل و مدل‌سازی مصرف انرژی الکتریکی کشور تنها از درجه روزهای سرد استفاده گردید و درجه روزهای گرم یا نیازهای گرمایشی کشور به دلیل عدم همبستگی با مصرف برق در مدل سازی در نظر گرفته نشد. بالاترین میزان همبستگی بار مصرفی و سرانه مصرف مربوط به ماه اوت با ضریب همبستگی ۰/۵۰ بود و سپس فصل گرم با ضریب همبستگی ۰/۴۵ و سپس سپتامبر و ژوئن به ترتیب با ضرایب ۰/۴۴۵ و ۰/۳۰۰ بود. شایان ذکر است که همبستگی بار مصرفی به نیازهای سرمایشی ماهانه و فصلی بالاتر از سرانه مصرف بود (حلیمی ،۱۳۹۰).

جدول۷-۶: همبستگی بار مصرفی و مصرف سرانه ایران با نیازهای سرمایشی و گرمایشی ماهانه و فصلی(حلیمی ،۱۳۹۰)

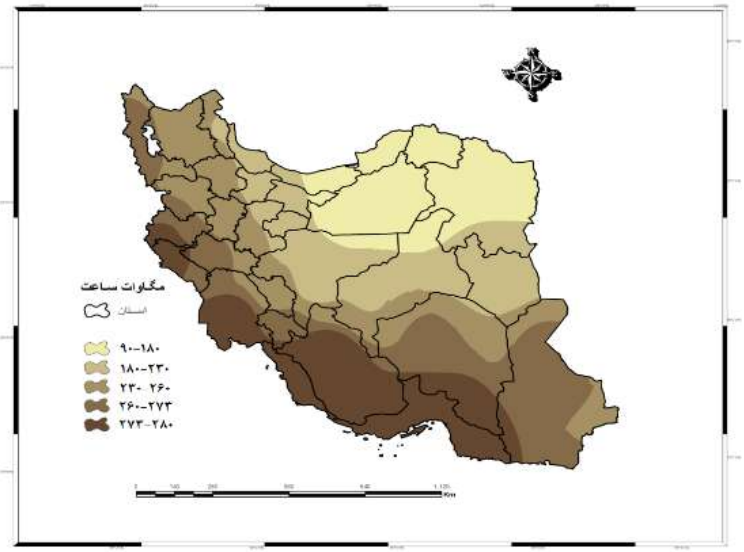
	ماه	مصرف (GWH)	سرانه (KWH)
نیاز سرمایشی	اوت	۰/۵۰	۰/۳۳۸
	فصل گرم	۰/۴۵	۰/۲۹۲
	سپتامبر	۰/۴۴۵	۰/۳۳۷
	ژوین	۰/۳۰۰	۰/۱۹۰
	ژوییه	۰/۲۱۷	۰/۱۷۷
نیاز گرمایشی	مارس	-۰/۰۶۶	۰/۱۱۹
	فوریه	-۰/۱۹۴	-۰/۱۱۱
	ژانویه	-۰/۱۹۶	-۰/۱۱۶
	دسامبر	-۰/۲۱۴	-۰/۱۶۳
	فصل سرد	-۰/۳۲	-۰/۱۹۶

همبستگی فضایی بار مصرفی، نیاز سرمایشی و گرمایشی و تعداد مشترکین نیز در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمده است. همان طور که در جدول ۷-۷ دیده می‌شود بار مصرفی کشور با نیازهای سرمایشی(درجه روز سرد) همبستگی مثبت و با نیازهای گرمایشی همبستگی منفی دارد. بار مصرفی کشور همبستگی بالایی با تعداد مشترکین نیز نشان داد.

جدول۷-۷: همبستگی فضای نیازهای گرمایشی سرمایشی و تعداد مشترکین هر شرکت برق منطقه‌ای با بار مصرفی

لایه	HDD	CDD	تعداد مشتریها	بار مصرفی
HDD	۱	-۰/۸۵۳۱۳	۰/۲۳۷۴۵	-۰/۰۴۴۶۱
CDD	-۰/۸۵۳۱۳	۱	-۰/۰۹۹۸۱	۰/۱۵۶۵۶
تعداد مشتریها	۰/۲۳۷۴۵	-۰/۰۹۹۸۱	۱	۰/۷۸۳۱۳
بار مصرفی	-۰/۰۴۴۶۱	۰/۱۵۶۵۶	۰/۷۸۳۱۳	۱

مقادیر افزایش بار مصرفی روزانه (۱۰۳ Kwh) به ازای افـزایش یـک درجـه روز نیـاز سرمایشـی در شکل ۷-۳۶ نشان داده شده است. بر اساس شکل در برخی پهنه‌ها به ازای افزایش یک درجـه روز نیـاز سرمایشی روزانه، ۲۷۰ مگاوات ساعت پتانسیل بار مصرفی روزانه بخش خانگی بالا می‌رود. همـان گونـه که از روی نقشه قابل تشخیص است از جنوب غرب به شمال شرق، پتانسیل بار مصـرفی روزانـه بخـش خانگی کشور با افزایش یک درجه روز نیاز سرمایشی کاهش می‌یابـد. بـه عبـارت دیگـر حساسـیت بـار مصرفی روزانه بخش خانگی کشور نسبت به افزایش نیـاز سرمایشـی از جنـوب غـرب بـه شـمال شـرق کاهش می‌یابد. شرکت‌های برق منطقه‌ای بجنورد، مشهد، سمنان و گرگان دارای کمترین حساسیت بـه افزایش نیازهای سرمایشی هستند به طـوری کـه در ایـن شـرکت‌هـا بـا افـزایش یـک درجـه روز نیـاز سرمایشی بار مصرفی آن‌ها ۹۰ تا ۱۵۰ مگاوات ساعت افزایش می‌یابد.



شـکل۷-۳۶: مقـادیر افـزایش بـار مصـرفی روزانـه(۱۰۳ Kwh) بـه ازای افـزایش یـک درجـه روز نیـاز سرمایشی(حلیمی ،۱۳۹۰).

مدل خطی زیر بر اساس تحلیل سری زمانی نیاز سرمایشی و بار مصرفی کشور و وزن سالانه مشترکین طی دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ به دست آمده است:

$$PEC = 689.1(CDD) - 113613$$

بر اساس این مدل خطی با افزایش ۱ درجه روز نیاز سرمایشی روزانه پتانسیل مصرف انرژی الکتریکی کشور ۰/۰۱۴کل مصرف روزانه هر سال افزایش پیدا می‌کند که مقدار آن برای هر سال در جدول ۷-۸ ارائه شده است. برای سال ۲۰۰۵ که میانگین مصرف روزانه ماه‌های فصل گرم کشور برابر ۱۴۲/۳ گیگا وات ساعت بوده این مقدار ۲/۱ گیگاوات ساعت است.

جدول۷-۸: مقادیر افزایش پتانسیل ۰/۰۱۴ بار مصرفی روزانه به ازای افزایش ۱ درجه روز میانگین نیاز سرمایشی روزانه کشور

سال	متوسط بار مصرفی روزانه ماه‌های فصل گرم Kwh ۱۰۶	پتانسیل افزایش بار مصرفی کشور به ازای یک درجه روز افزایش نیاز سرمایشی Kwh۱۰۳	سال	متوسط بار مصرفی روزانه ماه‌های فصل گرم Kwh ۱۰۶	پتانسیل افزایش بار مصرفی کشور به ازای یک درجه روز افزایش نیاز سرمایشی Kwh ۱۰۳
۱۹۶۵	۱/۱	۱۷	۱۹۸۶	۴۰/۱	۶۰۰
۱۹۶۶	۱/۳	۱۹	۱۹۸۷	۴۴/۱	۶۶۱
۱۹۶۷	۱/۵	۲۳	۱۹۸۸	۴۵/۱	۶۷۶
۱۹۶۸	۲/۱	۳۱	۱۹۸۹	۵۰/۹	۷۶۳
۱۹۶۹	۲/۲	۳۳	۱۹۹۰	۵۵/۹	۸۳۵
۱۹۷۰	۲/۶	۳۹	۱۹۹۱	۶۱/۷	۹۲۵
۱۹۷۱	۳/۲	۴۸	۱۹۹۲	۶۲/۹	۹۴۳
۱۹۷۲	۳/۹	۵۹	۱۹۹۳	۷۱/۴	۱۰۷۰
۱۹۷۳	۴/۶	۶۹	۱۹۹۴	۷۲/۵	۱۰۸۶
۱۹۷۴	۵/۲	۷۸	۱۹۹۵	۷۵/۴	۱۱۳۰
۱۹۷۵	۶/۶	۹۸	۱۹۹۶	۷۷/۴	۱۱۶۰
۱۹۷۶	۸/۵	۱۲۷	۱۹۹۷	۸۵/۶	۱۲۸۲
۱۹۷۷	۱۰/۴	۱۵۷	۱۹۹۸	۹۲/۵	۱۳۸۷
۱۹۷۸	۱۲/۲	۱۸۴	۱۹۹۹	۹۶	۱۴۸۳
۱۹۷۹	۱۵/۲	۲۲۷	۲۰۰۰	۱۰۰/۹	۱۵۱۱
۱۹۸۰	۱۷/۷	۲۶۵	۲۰۰۱	۱۰۶/۱	۱۵۹۰
۱۹۸۱	۱۸/۷	۲۸۰	۲۰۰۲	۱۱۲/۷	۱۶۸۹
۱۹۸۲	۲۳/۷	۳۵۵	۲۰۰۳	۱۲۲/۵	۱۸۳۵
۱۹۸۳	۲۸/۶	۴۸۲	۲۰۰۴	۱۳۰/۹	۱۹۶۱
۱۹۸۴	۳۲/۵	۴۸۷	۲۰۰۵	۱۴۲/۳	۲۱۳۲
۱۹۸۵	۳۶/۵	۵۴۷	*	*	*

۷-۹- تاثیر تغییر آب و هوا بر بار مصرفی بخش خانگی ایران

در کل نیازهای سرمایشی فصل گرم ایران طی دوره آماری مورد بررسی (۴۰سال)، ۲۰ درجه روز افزایش نشان داد. درحالی نیازهای گرمایشی فصل سرد ۳۳ درجه روز کاهش پیدا کرده بود. میانگین تعداد روزهای با دمای بالای ۲۱ درجه سلسیوس(آستانه نیاز سرمایشی) در سال، ۲۵ روز افزایش پیدا کرده و میانگین تعداد روزهای با دمای زیر ۱۸ درجه سلسیوس (به عنوان آستانه نیاز گرمایشی) در سال ۱۰ روز کاهش نشان داد. با استفاده از درجه روزهای سرد و گرم اقدام به محاسبه دمای میانگین ماهانه و فصلی کشور در فصل گرم و سرد گردید. روند بلند مدت میانگین دماهای ماهانه و فصلی ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج گویای آن بود که دمای میانگین فصل گرم کشور در طی ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ حدود ۰/۶ درجه سلسیوس افزایش داشته است و دمای میانگین فصل سرد کشور نیز در همین دوره آماری ۰/۷۵ درجه سلسیوس افزایش داشته است. در زمینه بار مصرفی کشور نیز همان طور که اشاره شد،مصرف ماهانه برق کشور از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ یعنی در طی ۴۰ سال ، ۴/۳۷×۱۰۹Kw/h، افزایش پیدا کرده است.

با توجه به مدل ارائه شده برای برآورد بار مصرفی که بر اساس دو متغیر نیاز سرمایشی و وزن سالانه تعداد مشترکین محاسبه گردید، می‌توان تأثیر این افزایش روند بلندمدت نیازهای سرمایشی کشور را بر بار مصرفی کل کشور محاسبه نمود.

در ماه ژوئن نیازهای سرمایشی کشور ۲۳ درجه روز در طی روند بلند مدت ۴۰ ساله افزایش پیدا کرده است که با توجه به مدل ارائه شده :

$$PEC = 689.1(23) = 16319 = 16.3 \times 10^6 Kwh$$

در ماه ژوئن افزایش نیازهای سرمایشی که به واسطه گرمایش جهانی یا تغییر آب و هوا رخ داده است موجب افزایش ۱۶/۳×۱۰۶Kw/h(۱۶/۳میلیون کیلووات ساعت یا ۱۶گیگاوات ساعت) شده است. این مقدار برای ماه‌های ژوئیه، اوت، و سپتامبر و فصل گرم در جدول۷-۹ ارائه شده است.

جدول۷-۹: تاثیر افزایش نیازهای سرمایشی ماهانه (تغییر آب و هوا) بر بار مصرفی

ماه	درجه روز افزایشی	۱۰۶Kw/h	هزینه(هزار دلار)
ژوین	۲۳/۷	۱۶/۳	۱۶۶۴
ژوئیه	۱۷/۸	۱۲/۳	۱۲۵۳
اوت	۲۷/۸	۱۹	۱۹۵۷
سپتامبر	۳/۷	۲/۵	۲۶۰
مجموع	*	۵۳	۵۱۳۴

از آنجا که افزایش دما در همه ماه‌ها تداوم داشته است بنابراین موجب افزایش تجمعی بار مصرفی شده است؛ تغییر آب و هوا از طریق افزایش نیاز به سرمایش موجب افزایش ۵۳×۱۰۶Kw/h (۵۳ گیگا وات ساعت) مصرف برق شده است.

اگر قیمت فروش هر کیلو وات ساعت برق بخش خانگی بر اساس تعرفه برابر ۱۰۲ ریال در نظر گرفته شود است. تغییر آب و هوا از طریق افزایش نیاز به سرمایش موجب افزایش ۵۳×۱۰۶Kwh شده است.

۷-۱۰- انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی طی دوره مشاهداتی و آینده در کشور

در ایران انرژی از منابع مختلف سبب رهاسازی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌گردد. در جدول ۷-۱۰ منابع و میزان انتشار سه گاز مهم از بخش انرژی مشاهده می‌گردد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان انتشار در سال ۲۰۱۰ نسبت به سال ۱۹۹۴ به سه برابر میزان خود رسیده است. در بخش‌های دیگر از زیر بخش‌های مصرف کننده انرژی نیز میزان انتشار به دو تا سه برابر میزان سال ۱۹۹۴ خود رسیده است که رقم بالایی در طی ارزیابی ۱۶ ساله است.

جدول۷-۱۰: کل انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی کشور در سال ۲۰۱۰ (رحیمی و همکاران،۱۳۹۲)

منابع	CO_2	CH_4	N_2O
احتراق سوخت	***۵۴۳۶۷۹**	**۷۱**	**۴**
صنایع انرژی	۱۸۲۳۷۸	۳	۱
صنایع ساخت و ساختمانی	۹۳۴۷۶	۲	۰
حمل و نقل	۱۲۵۲۷۱	۴۸	۳
تجاری / مؤسساتی	۲۲۱۱۶	۱	۰
مسکونی	۱۰۶۸۳۸	۱۶	۰
کشاورزی / جنگلداری/شیلات	۱۳۶۰۰	۱	۰
انتشار فرار	**۴۰۸۸۲**	**۵۳۶۵**	۰
معدنکاوی زغال سنگ		۱۴	
نفت و گاز طبیعی	۴۰۸۸۲	۵۳۵۲	
کل انتشار گازهای گلخانه ای	**۵۸۴۵۶۱**	***۵۴۳۶**	**۴**
GWP	۱	۲۱	۳۱۰
کل انتشار معادل CO_2	**۵۸۴۵۶۱**	**۱۱۴۱۳۵**	**۱۲۴۰**

در ایران در سال ۱۳۹۱، حمل و نقل بالاترین سهم را در انتشار همه نوع گازهای آلاینده از جمله اکسید نیتروژن (۱۲/ ۴۸ درصد)، دی اکسید سولفور (۲۵/۸۳ درصد)، گوگرد (۳۱/۷۳ درصد)، مونواکسید کربن (۹۷/۲۲ درصد)، دی اکسید کربن (۲۳/۴۹ درصد)، متان (۸۰/۰۷ درصد)، دی اکسید نیتروژن (۵۱/۰۸ درصد) دارد. در صورتی که در بخش صنعت بیشتر آلاینده‌ها مربوط به گوگرد و در بخش کشاورزی مربوط به دی اکسید نتیروژن است.

جدول۷-۱۱: سهم هر بخش از بخش‌های مصرف کننده انرژی در انتشار گازهای گلخانه‌ای (به درصد) در سال ۱۳۹۱ (امینی و همکاران، ۱۳۹۱)

بخش/ گاز	NO_x	SO_2	SO_x	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
مصرف نهایی انرژی								
خانگی، تجاری و عمومی	۵/۷۶	۳/۴۹	۴/۵۰	۰/۵۳	۲/۶۲	۲۲/۹۲	۷/۰۵	۴/۴۶
صنعت	۹/۰۳	۱۳/۱۵	۲۱/۹۷	۰/۱۷	۴/۳۰	۱۶/۹۹	۳/۶۴	۲/۴۰
حمل و نقل	۴۸/۱۲	۲۵/۸۳	۳۱/۷۳	۹۷/۲۲	۷۸/۴۸	۲۳/۴۹	۸۰/۰۷	۵۱/۰۸
کشاورزی	۳/۲۷	۴/۰۶	۲/۷۹	۰/۱۷	۶/۶۴	۲/۲۶	۱/۱۴	۳۵/۶۵
مصرف بخش انرژی								
پالایشگاهی	•	•	•	•	•	۲/۹۸	۰/۶۲	۰/۳۹
نیروگاهی	۳۳/۸۱	۵۳/۴۶	۳۹/۰۱	۱/۹۰	۷/۹۷	۳۱/۳۷	۷/۴۹	۶/۰۱
جمع	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

• مقادیر در دسترس نمی‌باشد.

بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به گاز دی اکسید کربن است. بخش اعظم این گاز به مقدار ۲۹۵۲۹۹۳۷۸ تن از گاز طبیعی ساطع می‌گردد، نفت گاز (۱۰۰۹۵۷۵۵۳ تن) در رتبه بعدی قرار دارد. پس از گاز دی اکسید کربن، مونو اکسید کربن بالاترین نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای را به خود اختصاص داده است. البته در مورد نفت سفید، نفت گاز، و نفت کوره پس از دی اکسید کربن، به ترتیب گازهای دی اکسید سولفور ، اکسید نتیروژن و دی اکسید سولفور نقش اصلی را در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند (جدول ۷-۱۲).

جدول ۷-۱۳ نرخ انتشار را طی سالهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است بالاترین نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای طی سالهای ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ مربوط به گاز دی اکسید کربن و سپس مونو اکسید کربن است. اکسید نتیروژن و ر دی اکسید سولفودر رتبه‌های سوم و چهارم قرار دارند.

جدول۷-۱۲: میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف انواع سوخت در بخش انرژی کشور در سال ۱۳۹۱(امینی و همکاران، ۱۳۹۱)

(تن)

سوخت/ گاز	NO_x	SO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
گاز مایع	۱۵۵۷	۳۱	–	۱۴۲۰۶	–	۷۲۷۹۹۹۱	۲۱۱	۱۵
بنزین	۳۱۳۷۴۶	۳۴۸۶۱	–	۸۱۳۲۱۵۱	۳۰۲۱۳	۵۵۲۹۰۶۰۱	۲۶۱۴۱	۲۵۳۵
نفت سفید	۲۱۷۹	۱۰۴۵۵	–	۳۳۹۷	–	۱۱۳۴۳۴۱۰	۴۷۳	۹۵
نفت گاز	۷۷۵۱۲۳	۵۲۶۵۷۷	۶۹۸۱	۱۶۲۳۷۰	۳۰۵۷۵۴	۱۰۰۹۵۷۵۵۳	۴۸۰۱	۷۶۳۲
نفت کوره	۱۸۲۶۶۰	۹۲۵۳۵۴	۶۳۸۷	۸۶۶۵۱	۱۸۵۳۹	۷۲۰۲۷۰۸۵	۲۳۹۸	۴۸۱
JP4	۹۲۱	۱۰۲	–	۲۳۸۷۰	۸۹	۱۶۳۱۶۰	۱	۵
ATK	۳۶۱۶۷	۲۲۵۰۴	۲۶۸	۹۶۴۴	۱۷۶۸۱	۳۴۶۸۶۱۲	۲۴	۹۷
گازطبیعی	۵۳۹۰۲۱	۶۱۵	–	۸۹۴۶۳	۲۸۷۰۶	۲۹۵۲۹۹۳۷۸	۲۱۴۴۹	۵۴۵
ضایعات حیوانی	•	•	•	•	•	۱۴۴۶۰۵	۴۳	۶
بوته و خار	•	•	•	•	•	۸۳۶۸۳۲	۲۵۱	۳۳
هیزم	•	•	•	•	•	۴۴۱۵۸۷۵	۱۱۸۳	۱۵۸
زغال چوب	•	•	•	•	•	۳۶۸۸	۱	۰/۱
زغال‌سنگ	•	•	•	•	•	۳۰۸۰۱	۰/۳	۰/۶
گاز کوره بلند	•	•	•	•	•	۲۲۸۵۱۲۹	۸	۱
گاز پالایشگاه	•	•	•	•	•	۳۲۸۹۷۲۱	۶۳	۶
جمع	۱۸۶۱۳۷۴	۱۵۴۰۵۰۰	۱۳۶۳۶	۸۵۲۳۷۵۲	۴۰۰۹۸۳	۵۵۶۸۶۶۴۴۲	۵۷۰۴۹	۱۱۶۰۹

• مقادیر در دسترس نمی‌باشد.

جدول۷-۱۳: میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از تولید و مصرف انرژی کشور طی سالهای ۱۳۹۱-۱۳۸۶(امینی و همکاران، ۱۳۹۱)

(تن)

سال / گاز	NO_x	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
۱۳۸۶	۱۳۷۸۹۵۷	۱۴۲۴۹۷۳	۱۴۹۵۱	۸۴۵۶۵۰۲	۳۶۷۲۳۹	۴۹۲۲۶۴۹۵۷	۴۳۰۰۱	۱۱۵۲۵
۱۳۸۷	۱۸۰۸۵۵۳	۱۵۹۸۶۱۷	۱۵۸۵۳	۸۹۷۳۶۲۸	۳۸۶۷۵۷	۵۲۳۲۹۳۶۱۷	۴۶۲۱۴	۱۲۱۰۱
۱۳۸۸	۱۸۳۶۲۶۵	۱۶۷۸۰۷۸	۱۶۹۵۳	۸۶۵۱۰۷۰	۳۹۳۳۹۹	۵۳۸۵۲۷۸۹۴	۵۰۳۱۴	۱۲۱۴۷
۱۳۸۹	۱۸۰۵۸۲۳	۱۳۵۵۶۵۶	۱۳۸۹۶	۸۲۰۱۲۲۳	۶۵۵۶۰۰	۵۳۲۳۲۴۸۴۳	۵۲۲۳۶	۱۱۹۶۷
۱۳۹۰	۱۸۴۳۸۳۱	۱۴۲۵۸۰۰	۱۳۴۷۱	۸۰۳۳۹۸۹	۳۹۳۰۵۵	۵۴۷۰۱۴۵۷۱	۵۳۳۰۷	۱۱۲۸۳
۱۳۹۱	۱۸۶۱۳۷۴	۱۵۴۰۵۰۰	۱۳۶۳۶	۸۵۲۳۷۵۲	۴۰۰۹۸۳	۵۵۶۸۶۶۴۴۲	۵۷۰۴۹	۱۱۶۰۹

همچنین جدول ۷-۱۴ میزان مصرف انرژی به گیگاگرم در سالهای مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است سال ۲۰۱۰ نسبت به سال ۱۹۹۴ رشد قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی اکسید کربن از این بخش صورت گرفته است که از رقم ۲۵۴۳۵۴ گیگاگرم به ۵۴۳۶۷۹ گیگاگرم رسیده است.

جدول۷-۱۴: میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (گیگاگرم) در مصرف انرژی طی سالهای ۱۹۹۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰

سال	CO_2	CH_4	N_2O
۱۹۹۴	۲۵۴۳۵۴	۸۰/۷	۸/۸
۲۰۰۰	۳۰۴۰۲۷	۷۹	۸
۲۰۱۰	۵۴۳۶۷۹	۷۱	۴

- **در افق ۲۰۵۰**

بخش انرژی، ۷۷ درصد کل انتشار گازهای گلخانه‌ای ایران را تشکیل می‌دهد، زیرا ایران تولید کننده اصلی نفت است و دومین ذخایر بزرگ جهان را دارد و سالانه حدود ۳۴ میلیون تن دی اکسید کربن از گاز رها می‌شود زیرا ایران نفت تولیدی را صادر می‌کند. ایران همچنین دارای دومین ذخایر گاز جهان است و چهارمین تولید کننده گاز است. با توجه به این موارد، سیاست‌های تغییر آب و هوایی دولت بر کاهش تقاضا در بخش انرژی تمرکز دارد.

جدول ۷-۱۵ روند مصرف انرژی در طی سالهای ۱۳۵۶ تا ۱۴۰۰ را نمایش می‌دهد. بخش‌های خانگی و تجاری در طی ساهای مورد بررسی بالاترین مصرف را از ۶۱/۴ تا ۳۷۸/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام ثبت کرده است اگر چه در سال ۱۴۰۰، بخش صنعت از رقم مورد پیش بینی مربوط به بخش

خانگی و تجاری پیشی خواهد گرفت و به رقم ۵۶۲/۱ میلیون بشکه معادل نفت خام را ثبت خواهد کرد. بخش حمل و نقل سومین مصرف کننده اصلی انرژی است و پس از آن بخش کشاورزی قرار دارد. بیشتر این مصرف تا سال ۱۳۷۴ مربوط به فراورده‌های نفتی بوده است در صورتی که پیش بینی می‌شود تا سال ۱۴۰۰ بیشترین مصرف به بخش گاز طبیعی منتقل شود. در مورد تولید و مصرف فراورده‌های نفتی همانطور که شکل ۷-۳۷ نشان می‌دهد مقدار مصرف همچنان در حال افزایش اما میزان تولید آن از سال ۱۳۷۷ تاکنون روند ثابت خود را حفظ کرده است.

جدول۷-۱۵: روند مصرف انرژی در ایران (میلیون بشکه معادل نفت خام)

	سال				متوسط رشد سالانه (درصد)			سهم(درصد)			
	۱۳۵۶	۱۳۶۷	۱۳۷۴	۱۴۰۰	۶۷-۱۳۵۶	۷۴-۱۳۶۷	۱۴۰۰-۷۴	۱۳۵۶	۱۳۶۷	۱۳۷۴	۱۴۰۰
مصرف نهایی به تفکیک بخشها	۲۰۶/۹	۳۳۱/۴	۵۸۴	۱۵۴۸/۲	۴/۴	۸/۴	۳/۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
خانگی و تجاری	۶۱/۴	۱۱۱/۲	۲۱۱/۶	۳۷۸/۲	۵/۶	۹/۶	۲/۳	۳۳/۶	۳۳/۶	۳۶/۲	۲۴/۴
صنعتی	۵۶/۳	۹۰/۵	۱۵۶/۸	۵۶۲/۱	۴/۴	۸/۲	۵	۲۷/۳	۲۷/۳	۲۶/۸	۳۶/۳
حمل و نقل	۵۷/۲	۸۳/۴	۱۳۷/۲	۳۵۵/۶	۳/۵	۷/۴	۳/۷	۲۵/۲	۲۵/۲	۲۳/۵	۲۳
کشاورزی	۱۲/۲	۲۶/۸	۳۰/۹	۱۳۳/۹	۷/۴	۲	۵/۸	۸/۱	۸/۱	۵/۳	۸/۶
مصرف نهایی به تفکیک سوختها											
فراورده‌های نفتی	۱۶۸	۲۶۴/۵	۳۵۴/۲	۶۰۰/۴	۴/۲	۴/۲	۱/۲	۸۱/۲	۷۹/۸	۶۰/۶	۳۸/۸
گاز طبیعی	۱۷/۱	۳۴	۱۷۵/۴	۶۱۱/۳	۶/۵	۲۶/۴	۴/۹	۸/۳	۱۰/۳	۳۰	۳۹/۵
برق	۹/۸	۲۳/۱	۴۲/۷	۱۸۳/۲	۸/۱	۹/۲	۵/۸	۴/۷	۷	۷/۳	۱۱/۸

شکل۷-۳۷: پیش بینی تولید و مصرف فراورده‌های نفتی (هزار بشکه در روز) تا سال ۱۴۰۰

همانطور که انتظار می‌رود مصرف در بخش‌های صنعت، خانگی و تجاری و حمل و نقل افزایش یابد، همزمان با این افزایش اگر تعدیل و یا کاهش صورت نگیرد نرخ گازهای گلخانه‌ای نظیر دی اکسید کربن و مونو اکسید کربن نیز افزایش خواهد یافت. البته ایران بر اساس سناریوی (کسب و کار طبق معمول) متعهد شده است که تا سال ۲۰۲۵ نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۳۰ درصد کاهش دهد(Nachmany et al., 2015)

۷-۱۱- سازگاری با تغییر آب و هوا در بخش انرژی کشور

از مهمترین برنامه‌های کاهش انتشار از بخش انرژی کشور در زمینه مصرف انرژی تا سال ۲۰۲۵ عبارتند از(Nachmany et al.,2015):

۱. افزایش بهره وری انرژی مصرف کنندگان نهایی در نرخ ۲درصد در سال تا سال ۲۰۲۵ (شدت انرژی از ۲/۰۴ بشکه معادل نفت خام / IRRm در سال ۲۰۰۷ به ۱/۴۸ بشکه معادل نفت خام / IRRm در سال ۲۰۲۵ کاهش یابد). اقداماتی در بخش داخلی و تجاری، صنعت، کشاورزی، و غیره از طریق استفاده از وسایل و تجهیزات کارآمد، نوسازی در صنایع، بهینه سازی فرایند و نصب واحدهای کوچک و ترکیبی گرما و برق (SCHP[1]) انجام شود. بیشتر این بهبود بهره وری از طریق واحدهای SCHP در ساختمان‌های بزرگ، نهادهای عمومی و صنایع اجرا شود.

۲. افزایش سهم CNG در حمل و نقل از ۲/۵ درصد در سال ۲۰۰۷ به ۲۵ درصد در سال ۲۰۲۵ با نرخ ۱/۲۵درصد در سال.

۳. افزایش سهم گاز طبیعی در بخش صنعت از ۵۹/۴ درصد در سال ۲۰۰۷ به ۸۲ درصد در سال ۲۰۲۵ با نرخ ثابت ۱/۸درصد در سال.

۴. افزایش سهم گاز طبیعی در بخش مسکونی و تجاری از ۶۶/۵ درصد در سال ۲۰۰۷ به ۸۸ درصد در سال ۲۰۲۵ با نرخ ثابت ۱/۵۵ درصد در سال.

۵. افزایش سهم گاز طبیعی در نیروگاه‌ها از ۷۳ درصد در سال ۲۰۰۷ به ۱۰۰ درصد در سال ۲۰۲۵ با نرخ ثابت ۱/۷۴ درصد در سال.

۶. افزایش سهم صنایع تولید برق تجدید پذیر و کم کربن در تولید برق کل کشور با افزایش ظرفیت برق آبی از ۷۰۷۳۸ مگاوات در سال ۲۰۰۷ به ۱۹۰۰۰ مگاوات در سال ۲۰۲۵، باد از ۷۴ مگاوات در سال ۲۰۰۷ به ۶۰۰۰ مگاوات در سال ۲۰۲۵ و نیروگاه‌های هسته‌ای از صفر در سال ۲۰۰۷ به ۲۰۰۰۰ مگاوات در سال ۲۰۲۵ با نرخ ثابت رشد ۱درصد در سال.

[1] Small Combined Heat and Power

۷. افزایش بهره وری نیروگاه از ۳۴ درصد در سال ۲۰۰۷ به ۵۲ درصد در سال ۲۰۲۵ با نرخ ۱درصد در سال. این سیاست از طریق اقداماتی نظیر نصب نیروگاه‌های ترکیبی و سیستم‌های تولید برق توزیع شده اجرا گردد. در پنجمین برنامه توسعه اقتصادی پنج ساله، حدود ۳۰۰۰ مگاوات ژنراتورهای گرمایش و گرمادهی کوچک نصب خواهد شد.
۸. کاهش اتلاف شبکه توزیع و انتقال برق از ۲۴ درصد در سال ۲۰۰۷ به ۱۵ درصد در سال ۲۰۲۵ با نرخ ۰/۵ درصد در سال.

بطور کلی در بخش‌های مختلف اقدامات زیر ضروری است:

الف – بخش صنعت

- با اجرای راهکارهای زیر در مجموع صنایع کشور امکان دگرگونی وجود خواهد داشت.
- بازسازی و نوسازی تجهیزات و ماشین آلات فرآیندهای صنعتی با هدف صرفهجویی یک درصد سالیانه مصرف انرژی در همه حاملها
- جایگزینی استفاده از گاز طبیعی به جای استفاده از سوختهای مایع و سنگین
- به کارگیری تجهیزات پربازده در فرآیندهای صنعتی و معدنی از قبیل الکتروموتورها، دیگ بخار، کوره و...
- استفاده از فناوری تولید همزمان برق و حرارت در صنایع (CHP)
- راه اندازی و به کارگیری فناوری بازیابی حرارت (WHR) در صنایع بزرگ و انرژی بر (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۴)

ب- بخش خانگی

برای سناریوی کاهش در بخش خانگی، افزایش کارآیی در موتورخانه ساختمانهای مسکونی موجود با استفاده از مطالعات شرکت بهینه سازی مصرف سوخت در نظر گرفته شده است. هدف از اجرای این طرح کاهش مصرف گاز طبیعی حداقل به میزان ۹/۸۵ و حداکثر ۱۳/۱۶ میلیون متر مکعب در روز با اجرای راهکارهای بهینه سازی مصرف سوخت در سامانه گرمایش مرکزی ۵۰۰ هزار ساختمان نوع مسکونی در ۴ سال و فرهنگ سازی عمومی و تغییر رفتار مصرف کنندگان جهت بهبود راندمان سیستم حرارت مرکزی ساختمانها می‌باشد(سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۴).

ج - بخش حمل و نقل

سناریوی کاهشی که برای این بخش در نظر گرفته شده است، توسعه حمل و نقل ریلی است. همانند سناریوی کاهش بخش خانگی، مطالعات فنی اقتصادی این سناریو نیز در قالب پروژه‌های توسط شرکت بهینه سازی مصرف سوخت انجام گرفته است. با اجرای این طرح میزان حمل بار (بدون احتساب ترانزیت) با شبکه ریلی از ۲۱,۷ میلیارد تن کیلومتر در سال - ۱۳۹۲ به ۷۵,۸ میلیارد تن

کیلومتر در سال - ۱۴۰۲ و جابجایی مسافر از ۱۷,۴ میلیارد نفر کیلومتر در سال ۱۳۹۲ به ۳۴,۲ میلیارد نفر کیلومتر در سال - ۱۴۰۲ خواهد رسید.

اقدامات فنی لازم برای نیل به ترکیب سوخت و شدت انرژی لازم در این زمینه(سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۴):

- تکمیل خطوط متروی کلانشهرهای کشور
- تکمیل ناوگان متروی کلانشهرهای کشور
- تأمین کمبود ناوگان اتوبوسرانی شهرهای کشور با ۲۷ هزار اتوبوس هیبریدی یا گازسوز
- تأمین کمبود ناوگان تاکسیرانی شهرهای کشور با ۵۰۰ هزار تاکسی هیبریدی یا گازسوز
- جایگزینی و نوسازی ناوگان اتوبوسرانی شهرهای کشور با ۱۷ هزار دستگاه اتوبوسهای گازسوز یا هیبریدی
- جایگزینی و نوسازی تاکسیرانی اتوبوسرانی شهرهای کشور با ۱۴۰ هزار دستگاه تاکسی گازسوز یا هیبریدی
- جایگزینی و نوسازی موتور سیکلتهای شهرهای کشور با ۲۰۰ هزار دستگاه موتور سیکلت برقی
- گسترش دوچرخههای برقی در حمل و نقل غیر موتوری شهرهای کشور (۲ میلیون دستگاه)
- هوشمندسازی ناوگان اتوبوسرانی و تاکسیرانی شهرهای کشور-تأمین کمبود وانت بارهای شهرهای کشور با ۱/۳ میلیون دستگاه وانت بار هیبریدی یا گازسوز

- تأمین کمبود کامیونت و کامیونهای شهرهای کشور با ۲۵۰ هزار دستگاه کامیونت یا کامیون هیبریدی یا گازسوز

- جایگزینی و نوسازی وانت بارهای شهرهای کشور با ۴۵۰ هزار دستگاه وانت بارهای گازسوز یا هیبریدی

- جایگزینی و نوسازی کامیونت و کامیون بارهای شهرهای کشور با ۵۰۰ هزار دستگاه کامیونت و کامیون بارهای گازسوز یا هیبریدی

- هوشمندسازی ناوگان بارهای شهرهای کشور(سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۴)

د- بخش‌های کشاورزی و تجاری

سناریوی کاهش بخش کشاورزی از میان طرحهای که ارزیابیهای فنی اقتصادی آن توسط شرکت بهینه سازی مصرف سوخت صورت گرفته انتخاب شده است و عبارتست از برقدار کردن چاههای کشاورزی. در حال حاضر حدود۲۱۷۰۰۰ حلقه چاه کشاورزی دیزلی در کشور وجود دارد که از سوخت نفت گاز برای تامین انرژی پمپ‌های آب استفاده می‌نمایند. با توجه به اینکه دولت سالیانه هزینه زیادی بابت یارانه سوخت تحویلی به کشاورزان پرداخت می‌نماید و کشاورزان برای بهره برداری از چاه‌های

دیزلی مشقت‌های زیادی تحمل می‌نمایند. طرح برقدار کردن چاه‌های کشاورزی از طریق شبکه برق سراسری در مجموع منجر به صرفهجویی ۱۷۳۶ میلیون لیتر گازوئیل در هر سال خواهد شد. در مورد بخش تجاری نیز مانند بخش خانگی ارتقاء عملکرد موتورخانه‌های ۱۰۰ هزار تیپ ساختمان اداری لحاظ شده است (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۴).

مرور روند توسعه شبکه برق در خلال سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ نشانگر این مطلب است که عمده ظرفیتهای جدید از نوع توربین گازی و نیروگاههای سیکل ترکیبی بودهاند. همچنین به ازای هر مگاوات ظرفیت جدید نیروگاه سیکل ترکیبی، ۲ مگاوات ظرفیت جدید از نیروگاههای توربین گازی نصب شده است. لذا در سناریوی مرجع نیز ظرفیت سازی‌های جدید با همین روند ادامه پیدا میکنند. اما در سناریوی کاهش برای شبکه برق، با اقداماتی نظیر احداث بخش بخار سیکل ترکیبی، جایگزینی نیروگاههای کم بازده قدیمی، بازتوانی نیروگاههای بخار قدیمی و سایر طرحهای افزایش راندمان اولویت دار، وزارت نیرو سهم‌های را برای نیروگاهها ارائه داده است. مشاهده می‌شود که سهم نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به بیش از نصف ارتقاء پیدا کرده و نیروگاههای آبی و بادی تا حد نهایی پتانسیل اقتصادیشان که به ترتیب ۱۸/۷ گیگاوات و ۶ گیگاوات می‌باشند نصب میشوند(سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۴).

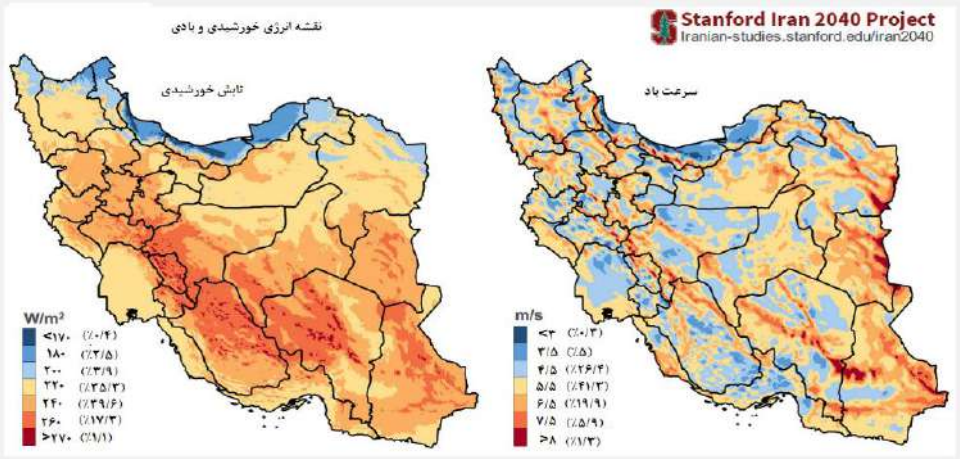
در کل می‌توان گفت انرژی باد، زمین گرمایی و خورشیدی در کشور ما از منابع بسیار خوب برخوردار است (شکل ۷-۳۸)که هر یک از آنها می‌تواند در جهت کاهش مصرف سوختهای فسیلی موثر باشد در خصوص استفاده از انرژی زمین گرمایی که از طریق حفر چاههای عمیق و پمپاژ آب داغ یا بخار داغ داخل زمین به سطح زمین تولید شده و برای گرم کردن خانه‌ها و تولید الکتریسیته و همچنین انرژی باد , انرژیهای ناشی از جزر و مد دریا بستر بسیار مناسب می‌باشد در خصوص انرژی خورشیدی نیز با توجه به اینکه خورشید بزرگترین و تنها منبع تامین کننده انرژی کره زمین می‌باشد و انرژی صادره از آن به صور مختلف و به منظور تامین انرژی مورد نیاز سوختهای غیرفسیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد لذا با استفاده از سیستمهای فتوولتائیک بطور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود لذا سهولت در دسترسی به انرژی الکتریکی حاصل از برق خورشیدی یکی از کاربردهای آن می‌باشد که در مجموع استفاده از انواع انرژیها در کشور توصیه می‌شود.

برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران با توجه به مشکلات و راهکارهای مطروحه می‌توان این گونه مطرح نمود که دو اولویت زیر وجود دارد:

الف- واقعی نمودن قیمت‌های حامل‌های انرژی که امید میرود با اجرای کامل اصل ۴۴ قانون اساسی و طرح تحول اقتصادی و نزدیک شدن قیمت‌های سوخت فسیلی به ارزش واقعی خود این موضوع عملیاتی شود.

ب- ایجاد صندوق حمایت مالی از سوختهای تجدیدپذیرها توسط دولت که با اخذ عوارض برق سبز از محل افزایش قیمت فروش برق به مشترکین خانگی، عمومی و تجاری حتی بمبلغ ناچیز به ازای هر کیلووات ساعت، منبع مالی لازم برای ایجاد مشوق‌های مالی و ایجاد بستر و شرایط مناسب جهت توسعه صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور فراهم گردد.

تدوین راهبرد کلان ملی انرژی در کشور ضروری می‌باشد در این رابطه توان کنترل موارد تاثیرگذار از موارد اساسی چنین تعیین راهبرد می‌باشد(میرزائی، ۱۳۸۹).



شکل۷-۳۸: پتانسیل میزان انرژی خورشیدی و باد در ایران(Azadi et al., 2017)

منابع فصل هفتم

آقایان، ح، ۱۳۹۳. آمارنامه مصرف فراورده‌های نفتی انرژی زا، شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی ایران.

امینی، ف، لیدا صابر فتاحی، پانته آ سلیمانپور، نسرین گل قهرمانی، نژلا کاوه، مجید فرمد، مصطفی توانپور، غلامعلی کرمی نیا، مریم خودی، مهرداد آب و هوایی،۱۳۹۱. تراز نامه انرژی سال ۱۳۹۱، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی.

حلیمی، م، ۱۳۹۰. بررسی تاثیر تغییرآب و هوا بر مصرف برق بخش خانگی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی دکتر منوچهر فرج زاده.

خلیلی، ع، ۱۳۷۸. تحلیل سه بعدی درجه – روزهای گرمایش و سرمایش در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۵ و ۵۴ ، ص ۷-۱۸.

خلیلی، ع، ۱۳۸۳. تدوین یک سامانه جدید پهنه‌بندی آب و هوایی از دیدگاه نیازهای گرمایش و سرمایش در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۷۵ ، ص۱۴-۵.

سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق، ۱۳۹۷ ، جایگزینی مبرد R134a با R600a در سیکل تبرید یخچال‌فریزرهای کشور، سخنرانی در سازمان حفاظت محیط زیست.

رحیمی، ن، نرگس کارگری و رضا گودرزی، ۱۳۹۲. گزارش انتشار موجودی گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی، دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا.

سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۴. سومین گزارش ملی تغییر آب و هوا، بخش سوم :سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، زیربخش :انرژی، دفترطرح ملی تغییر آب و هوا.

کارگزاری آینده نگر خوارزمی،۱۳۹۴. واحد تحلیل و مطالعات بازار، تحلیل صنعت تولید برق.

میرزائی، م، ۱۳۸۹، انرژی‌های تجدید پذیر.

وزارت نیرو،۱۳۹۷. گزارش آماری ماهانه، انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق. دفتر برنامه و بودجه ، گروه آمار و برنامه ریزی تلفیقی.

Azadi, P, Nezam Sarmadi, A, Mohamoudzadeh, A, Shirvani, T, 2017: The outlook for natural Gas, Electricity, and renewablr energy in Iran, Stanford Iran 2040 Project.

BP, 2016: BP Statistical Review of World Energy.

BP, 2013: BP Statistical Review of World Energy. Available at: http: / / www.bp. Com / en / global / corporate / about bp / statistical-review-of-world-energy-2012. Html.

Bruckner, T., I. A. Bashmakov, Y. Mulugetta, H. Chum, A. de la Vega Navarro, J. Edmonds, A. Faaij, B. Fungtammasan, A. Garg, E. Hertwich, D. Honnery, D. Infield, M. Kainuma, S. Khennas, S. Kim, H. B. Nimir, K. Riahi, N. Strachan, R. Wiser, and X.

Zhang., 2014: Energy Systems. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Bunn, M., S. Fetter, J. Holdren, and B. van der Zwaan., 2003: The Economics ofReprocessing vs. Direct Disposal of Spent Nuclear Fuel. Project on Managing the Atom. Belfer Center for Science and International Affairs, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge, MA.

Burnham, A., J. Han, C. E. Clark, M. Wang, J. B. Dunn, and I. Palou-Rivera., 2012: Life-cycle greenhouse gas emissions of shale gas, natural gas, coal, and petroleum. Environmental Science and Technology 46, 619 – 627

Enerdata, 2013: Global Energy Statistical Yearbook. 2012: Enerdata, Grenoble, France. Available at: http: / / www.enerdata. Net / enerdatauk / press-and-publication / publications / world-energy-statistics-supply-and-demand.php.

Fischedick M., R. Schaeffer, A. Adedoyin, M. Akai, T. Bruckner, L. Clarke, V. Krey, I. Savolainen, S. Teske, D. Ürge-Vorsatz, and R. Wright., 2011: Mitigation Potential and Costs. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Hasan, M. M. F., I. A. Karimi, and C. M. Avison., 2011: Preliminary synthesis of fuel gas networks to conserve energy and preserve the environment. Industrial and Engineering Chemistry Research 50, 7414 – 7427. Available at: http: / / www.scopus. Com / inward / record.url?eid=2-s2.0-79958791351&partnerID=40&md 5=94863df106afcb12e3bcef728dea9ded.

Höök M., R. Hirsch, and K. Aleklett., 2009: Giant oil field decline rates and their influence on world oil production. Energy Policy 37, 2262 – 2272. doi: 10.1016 / j. enpol.2009.02.020, ISSN: 0301-4215.

Jaramillo P., W. M. Griffin, and H. S. Matthews., 2007: Comparative Life-Cycle Air Emissions of Coal, Domestic Natural Gas, LNG, and SNG for Electricity Generation. Environmental Science and Technology 42.

JRC / PBL, 2013: Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), Release Version 4.2 FT2010. European Commission, Joint Research Centre (JRC) / PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Available at: http: / / edgar.jrc.ec.europa.eu.

IEA, 2008: World Energy Outlook 2008. International Energy Agency, Paris, France

IEA ,2011: World Energy Outlook 2011. International Energy Agency, Paris,

IEA ,2012a: Energy Balances of Non-OECD Countries. International Energy Agency, Paris, France, 538 pp.

IEA ,2012b: World Energy Outlook 2012. IEA / OECD, Paris, France

IEA ,2012c: A Policy Strategy for Carbon Capture and Storage. IEA / OECD, Paris, France.

IEA,2012d: Renewables Information 2012. IEA / OECD, Paris, France.

IEA ,2012e: Electricity Information 2012. IEA / OECD, Paris, France.**IEA** ,2012f: CO2 Emission from Fuel Combustion. International Energy Agency. OECD, Paris, France.

IEA ,2012f: CO2 Emission from Fuel Combustion. International Energy Agency. OECD, Paris, France.

IEA, 2012g: CO2 Emissions from Fuel Combustion. Beyond 2020 Online Database.IEA, Paris, France. Available at: http: / / data.iea.org.

IAEA, 2013a: The Power Reactor Information System (PRIS) and Its Extension to Non-Electrical Applications, Decommissioning and Delayed Projects Information. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. Available at: http: / / www. Iaea. Org / PRIS / WorldStatistics / OperationalReactorsByCountry. Aspx.

IAEA, 2013b: Energy, Electricity and Nuclear Power Estimate for the Period up to 2050. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

IPCC, 2011: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1075 pp.

Lewis, W. B., 1972: Energy in the Future: the Role of Nuclear Fission and Fusion. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section A: Mathematical and Physical Sciences 70, 219 – 223.

Moomaw, W., F. Yamba, M. Kamimoto, L. Maurice, J. Nyboer, K. Urama, and T. Weir., 2011: Introduction: Renewable Energy and Climate Change. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY,USA.

Nachmany, M, Fankhauser S, Davidová J, Kingsmill N, Landesman T, Roppongi H, Schleifer, P, Setzer, J, Sharman, A, Singleton, C.S, Sundaresan, J and Townshend, T.,2015: climate change legislation in Iran, an excerpt from the 2015 global climate legislation study, a review of climate change legislation in 99 countries.

NEA, and IAEA, 2012: Uranium 2011: Resources, Production and Demand. OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, Paris, France.

REN21, 2013: Renewables 2013 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris, France.

Rogner H.-H., 2012: The economics of nuclearpower: Past, present and future aspects. Woodhead Publishing Series in Energy. In: Infrastructure and methodologies for the justification of nuclear power programmes. A. Alonson, (ed.), Woodhead Publishing, Cambridge, UK, pp. 502 – 548.

Stephenson T., J. E. Valle, and X. Riera-Palou., 2011: Modeling the relative GHG emissions of conventional and shale gas production. Environmental Science and Technology 45, 10757 – 10764. Available at: http: / / www.scopus. Com / inward / record.url?eid=2-s2.0-83455262435&partnerID=40&md5=2da1d 9a87db84d74c487e5ea0d51550d.

World energy council,2016: World Energy Resources | 2016.

WTO,2016:Anuual report.

URL 7-1: https://www.eghtesadonline.com/n/1Ged

فصل هشتم

تغییر آب و هوا و سکونتگاه‌های انسانی

۸-۱- مقدمه

مناطق روستایی، حتی پس از تغییرات قابل توجه جمعیت شناختی، هنوز ۳/۳ میلیارد نفر یا تقریبا نیمی (۴۷/۹ درصد) از جمعیت کل جهان(UN DESA Population Division, 2013) را تشکیل می‌دهند. اکثریت قریب به اتفاق جمعیت روستایی جهان (۳/۱ میلیارد نفر یا ۹۱/۷ درصد از جمعیت روستایی جهان یا ۴۴ درصد جمعیت کل جهان) در کشورهای کم یا کمتر توسعه یافته (UN DESA Population Division, 2013) زندگی می‌کنند. ساکنان روستایی نیز حدود ۷۰ درصد از مردم فقیر کشورهای در حال توسعه را تشکیل می‌دهند. سازمان ملل بیان نمود که در سال ۲۰۰۵، حدود ۷۰ درصد از فقیرترین افراد ساکن در کشورهای در حال توسعه در مناطق روستایی زندگی می‌کردند(IFAD, 2010).

در مورد سکونتگاه‌های شهری نیز نکات قابل توجهی وجود دارد. در سال ۲۰۰۸، برای اولین بار، بیش از نیمی از جمعیت جهان در مراکز شهری زندگی می‌کردند و این نسبت همچنان رشد می‌کند (UN DESA Population Division, 2012). در حال حاضر سه چهارم جمعیت شهری جهان و بسیاری از بزرگترین شهرهای آن در کشورهای متوسط وکم درآمد هستند. همانطور که شکل ۸-۱ نشان می‌دهد درصد تراکمهای شهری در سال ۱۹۵۰ قابل مقایسه با سالهای اخیر نمی‌باشد. در جدول ۸-۱ مثالهای مختلف برای تعریف مناطق شهری و روستایی مشاهده می‌گردد.

شکل۸-۱: نقشه جهانی از موقعیت تراکمهای شهری با جمعیت بیش از ۷۵۰۰۰۰ نفر و بیشتر در سال ۱۹۵۰ (UN DESA Population Division, 2012)

جدول۸-۱: مثالهایی از تعریف نواحی شهری و روستایی در برخی کشورهای منتخب (Dasgupta et al.,2014).

کشور	اصطلاح	تعریف	منبع
استرالیا	نواحی شهری عمده	جمعیت بیش از ۱۰۰۰۰۰ نفر	Australian Bureau of Statistics (2013)
	دیگر نواحی شهری	جمعیت بین ۹۹۹۹۹-۱۰۰۰	
	نواحی روستایی	شامل روستاهای با جمعیتی بین ۹۹۹-۲۰۰ نفر	
چین	نواحی شهری عمده یا بزرگ	جمعیت بیش از ۱۰۰۰۰ نفر	Ministry of Construction (1993)
	نواحی شهری متوسط	جمعیت بین ۳۰۰۰ تا ۹۹۹۹ نفر	
	نواحی شهری کوچک	جمعیت کمتر از ۳۰۰۰ نفر	
	دهستانهای بزرگ	جمعیت بین ۳۰۰۰-۱۰۰۰ نفر	
	دهستانهای متوسط	جمعیت بین ۱۰۰۰-۳۰۰نفر	
	دهستانهای کوچک	جمعیت کمتر از ۳۰۰ نفر	
هند	نواحی شهری	جمعیت ۵۰۰۰ نفر یا بیشتر؛ یا جایی که حداقل ۷۵درصد از جمعیت مذکرِ کارگر، غیر کشاورز است؛ یا داشتن تراکم جمعیت حداقل ۴۰۰ نفر در کیلومتر مربع. این شاخصها به این معنی است که همه مناطق غیر شهری، روستایی هستند.	Government of India (2012)
جامائیکا	نواحی شهری	جمعیت بیش از ۲۰۰۰ نفر؛ و ارائه مجموعه‌ای خاص از امکانات که "زندگی مدرن" را نشان می‌دهند. این شاخصها به این معنی است که همه مناطق غیر شهری، روستایی هستند.	Statistical Institute of Jamaica (2012:iv)
ایالات متحده آمریکا	نواحی روستایی	تمام قلمرو خارج از مناطق تعریف شده‌ی نواحی و خوشه‌های شهری، یعنی سکونتگاه‌های با جمعیت کمتر از ۲۵۰۰ نفر؛ با تراکم جمعیت تا ۳۸۶ نفر در کیلومتر مربع.	Womach (2005)

هدف از ارائه این فصل تبیین اثر تغییر آب و هوایی بر روی سکونتگاه‌های بشری است که می‌تواند چالش جدی برای هر دو مناطق روستایی و شهری باشد.

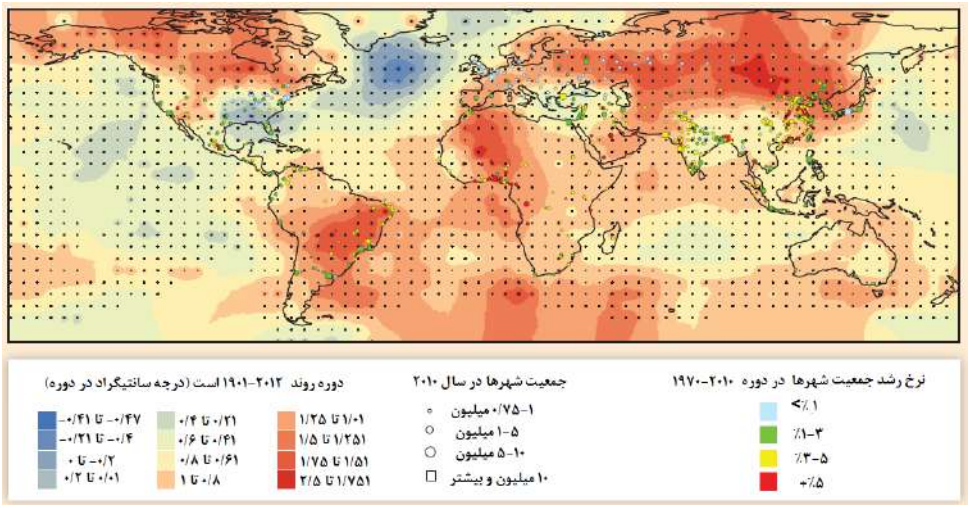
۸-۲- اثرات مشاهداتی و آینده تغییر آب و هوا بر سکونتگاه‌های انسانی

- **سکونتگاه‌های روستایی**

اثرات تغییر آب و هوایی بر الگوهای سکونتگاه‌ها، معیشت و درآمد در مناطق روستایی، نتیجه‌ی زنجیره‌ای از علت‌های چندگانه‌ی اثرات است. به طور معمول، این زنجیرها دو نوع هستند. یک نوع از آنها رویدادهای حدی مانند سیل و توفان است که بر روی زیرساخت‌های روستایی تأثیر می‌گذارند و باعث نابودی مستقیم زندگی می‌شوند و دیگری شامل تأثیرات بر کشاورزی و یا اکوسیستم‌هایی است که مردم روستایی به آن وابسته هستند. این تأثیرات ممکن است از وقایع حدی و یا از تغییر الگوهای حدی به دلیل تغییر آب و هوایی یا تغییرات شرایط متوسط حاصل شوند. هندمرو همکاران هر دو مورد وقایع حدی مشاهداتی و پیش بینی شده را در سیستم‌های انسانی و اکوسیستم‌ها، با نمونه‌های متعدد از اثرات منفی گسترده مورد بحث قرار دادند(Handmer et al., 2012). دسته‌های مهم رویدادهای حدی که منجر به اثرات منفی در مناطق روستایی می‌شوند، شامل توفانهای گرمسیری و خشکسالی است. خشکسالی در مناطق روستایی تنش های شدید اقتصادی، از جمله کاهش اشتغال و مهاجرت را ایجاد می‌کند (Gray and Mueller, 2012). معیشت کشاورزی تحت تأثیر خشکسالی قرار دارد. تغییر آب و هوایی بر روی کشاورزی و اکوسیستم‌ها از طریق افزایش دما و تغییرات بارندگی و فصلی بودن آن و نیز رویدادهای حدی تأثیر گذار است. تغییرات دما سبب کاهش میزان تولید جهانی ذرت و گندم در سالهای ۱۹۸۰ و ۲۰۰۸ به ترتیب به میزان ۸/۳ و ۵/۵ درصد نسبت به سالهای بدون تغییر آب و هوایی شد که در بعضی کشورها برخی از مزایای بهبود تکنولوژی کشاورزی، آن را جبران کرد (Lobell and Field, 2011).

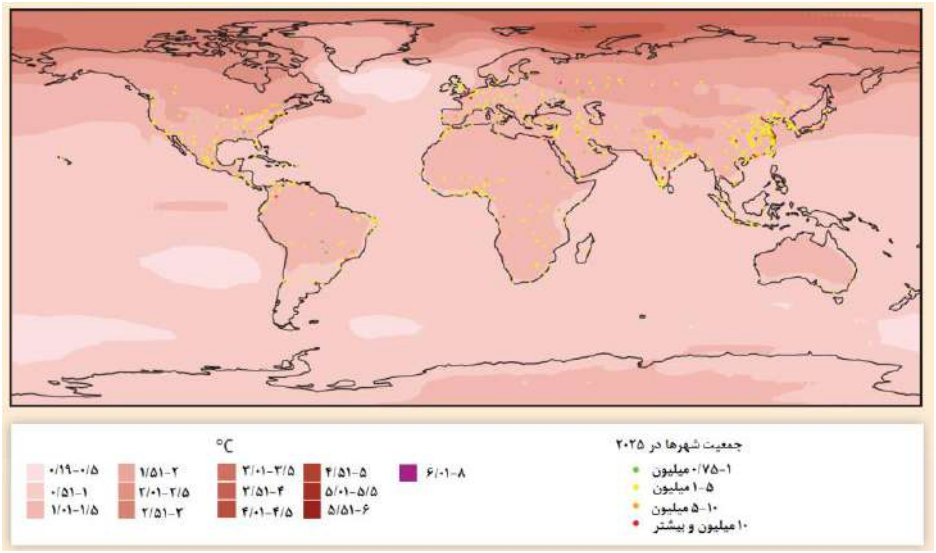
- **سکونتگاه‌های شهری**

شکل ۸-۲ موقعیت تراکم‌های بزرگ شهری را در سال ۲۰۱۰ در مقابل افزایش دمای هوا (۲۰۱۲-۱۹۰۱) نشان می‌دهد. نقطه‌ها برای هر تراکم شهری با توجه به نرخ رشد جمعیت آن بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰، رنگی است. مناطقی که سریع‌ترین رشد جمعیت را در این ۴ دهه داشته‌اند، در آسیا (به ویژه در چین و هند) و در آمریکای لاتین و جنوب صحرای آفریقا مشاهده می‌گردند. این نقشه افزایش درجه حرارت بیش از ۱ درجه سانتیگراد را در مناطق شمال و مرکز آسیا، غرب آفریقا، آمریکای جنوبی و بخشهای آمریکای شمالی نشان می‌دهد، که نشان دهنده احتمال بالقوه‌ی قرارگیری شهرهای بزرگ در معرض خطر آب و هوا است (Revi et al., 2014).

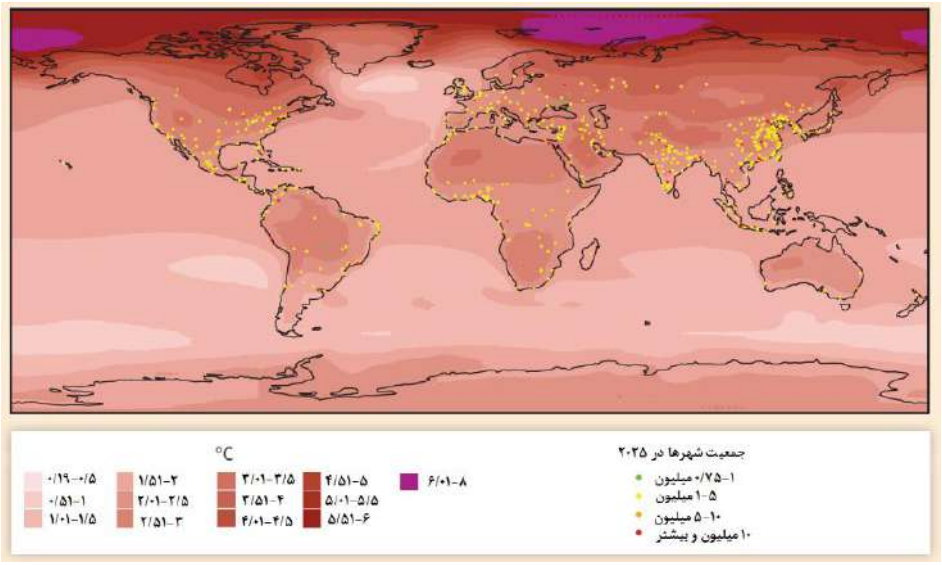


شکل۸-۲: تراکم‌های بزرگ شهری سال ۲۰۱۰ با تغییر آب و هوایی مشاهداتی دوره‌ی ۲۰۱۲-۱۹۰۱

شکل ۸-۳ موقعیت تراکم‌های بزرگ شهری را با توجه به جمعیت‌های پیش بینی شده برای سال ۲۰۲۵ در جهان را نشان می‌دهد که نمایش‌دهنده‌ی تغییرات دما در اواسط قرن ۲۱، با استفاده از سناریوی RCP2.6 است. جمعیت آینده شهری به شدت تحت تأثیر عملکرد اقتصادی و تغییرات اجتماعی، جمعیتی، و سیاسی قرار می‌گیرد که پیش بینی آن برای آینده دورتر (تا سال ۲۱۰۰) تا حدودی غیر ممکن است. شکل ۸-۴ نشان می‌دهد که بسیاری از تراکم‌های بزرگ شهری تقریباً در تمام قاره‌ها تا اواسط قرن با افزایش درجه حرارت بیش از ۱/۵ درجه سانتیگراد، بر اساس نتایج سناریوی RCP2 .6 (IPCC,2013) مواجه خواهند شد. سناریوی RCP8.5 که بر اساس میزان بدون تغییر گازهای گلخانه‌ای حال حاضر است نشان می‌دهد که درجه حرارت به میزان ۲ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد.



شکل۸-۳: موقعیت تراکم‌های بزرگ شهری و تغییرات دمایی پیش بینی شده با RCP2.6



شکل۸-۴: موقعیت تراکم‌های بزرگ شهری و تغییرات دمایی پیش بینی شده با RCP8.5

پیش‌بینی‌های آینده جزیره حرارتی شهری در شرایط گرم شدن کره زمین نیز برای توکیو انجام شده است، که در آنجا افزایش بالقوه شدت جزیره حرارتی شهری، ۰/۵ درجه سانتیگراد (Revi et al., 2014) تعریف شد. علاوه بر شدت جزیره حرارتی شهر، دمای هوا در ماه اوت با توجه به میانگین پنج

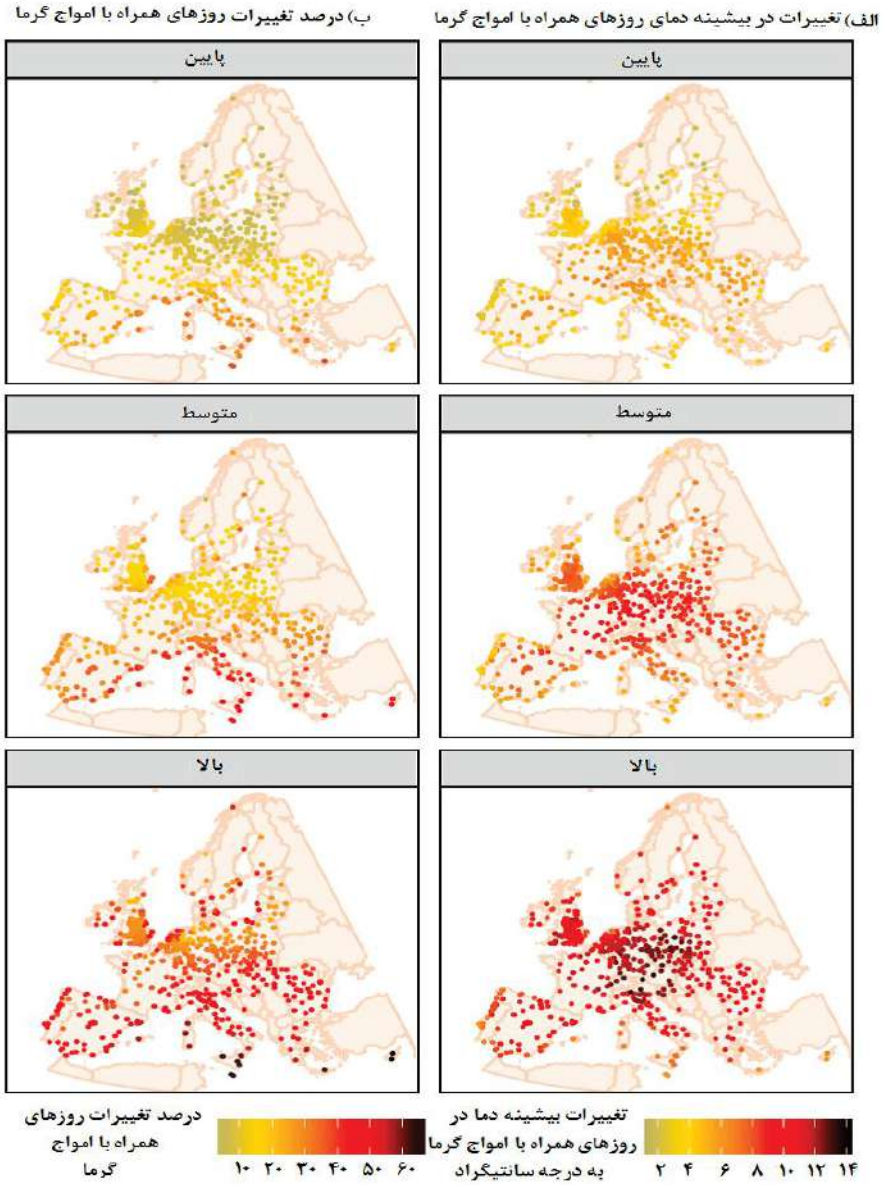
مدل جهانی آب و هوایی (GCMs) تا ۲ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت. به‌طور قطع ایـن افـزایش بر تغییرات جزایر حرارتی شهر و شدت آنها تأثیر عمده‌ای خواهد گذاشت.

- **خشکسالی و کمبود آب**

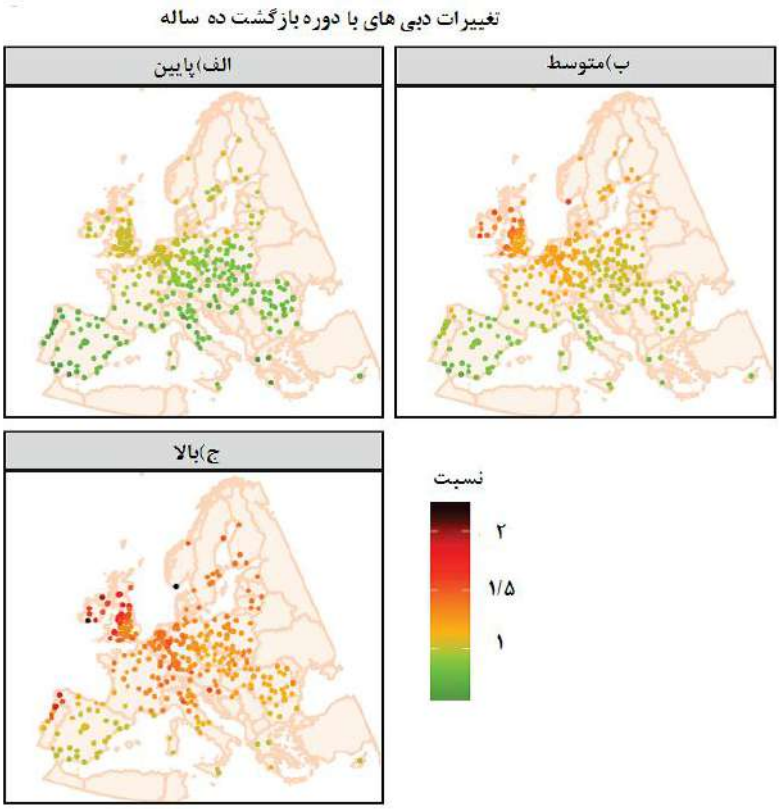
خشکسالی می‌تواند اثرات زیادی در مناطق شهری داشته باشد، از جمله افزایش کمبود آب، کمبـود برق، بیماری‌های مرتبط با آب (از طریق استفاده از آب آلوده)، قیمت مواد غذایی و ناامنی غـذایی. ایـن موارد ممکن است به تأثیرات منفی اقتصادی و افزایش مهاجرت روستا به شهر کمک کند. حـدود ۱۵۰ میلیون نفر در حال حاضر در شهرهای با کمبود آب سالم زندگی می‌کنند، که در روز کمتر از ۱۰۰ لیتر برای هر فرد از سطح پایدار و جریان آب زیرزمینی در محدوده شهری آنها است.

میانگین نتایج مدلهای آب و هوایی با توجه به نقش جمعیت شناختی، نشان‌دهنـده افـزایش تعـداد افرادی است که در معرض کمبود آب هستند و تا سال ۲۰۵۰ رقم آن یک بیلیون نفر تخمین زده شده است.

شهرها به علت تجمع مردم، ساختمانها و زیرساخت‌ها از خطـرات ناشـی از آب و هـوا آسـیب پـذیر هستند. تغییرات آینده سیل، امواج گرما و خشکسالی برای ۵۷۱ شهر اروپایی توسط گوئریرو و همکاران بررسی شده است (Guerreiro et al., 2018). برای اطمینان بیشتر بـه نتـایج، از تمـام مـدل‌هـای آب و هوایی و سناریوی انتشار برای محاسبه سناریوهای با تأثیر کم، متوسط و بالا اسـتفاده شـده اسـت کـه متناظر با صدکهای ۱۰، ۵۰ و ۹۰ام است. نتیجه این مطالعه نشان داد که روزهای با امواج گرما در همه شهرها به ویژه در جنوب اروپا، افزایش می‌یابد، در حالی که بیشترین افـزایش دمـای هـوا در شـهرهای مرکزی اروپا انتظار می‌رود. برای سناریوی کـم اثـر، شـرایط خشکسـالی در شـهرهای جنـوبی تشـدید می‌شود، در حالی که سیل رودخانه ها در شهرهای شمال اروپا تشدید می‌گردد. با این حال، سناریوی با تأثیر بالا نشان داده است که ریسک خشکسالی و سیلاب رودخانه در اکثر شهرهای اروپا افزایش خواهد داشت. شکلهای ۸-۵ و ۸-۶ به ترتیب تغییرات امواج گرما و دبی را نمایش می‌دهد.



شکل۸-۵: تغییر در بیشینه‌ی دمای حداکثر روزانه در روزهای طبقه بندی شده به عنوان روزهای همراه با امواج گرما (الف) و درصد تغییرات روزهای همراه با امواج گرما (ب)، در سه سناریوی با تأثیر پایین، متوسط و بالا. این تغییرات بین دوره ۲۰۰۰-۱۹۵۱ و دوره آینده ۲۱۰۰-۲۰۵۰ محاسبه شده است



شکل۸-۶: تغییر در دبی‌های با دوره بازگشت ده ساله که از طریق نسبت Q10 آینده بر Q10 دوره مشاهداتی برای شهرهای مورد بررسی در سه سناریوی با تأثیر پایین(الف)، متوسط(ب) و بالا(ج) بدست آمده است

- **سیل و توفان و افزایش سطح آب دریا**

با توجه به افزایش تراکم جمعیت شهری در مناطق ساحلی و در مناطق کم ارتفاع، افزایش سطح آب دریا نشان دهنده یکی از تغییرات اولیه مربوط به تغییر آب و هوایی شهری است (McGranahan et al,2007).

افزایش سطح آب دریا، فرسایش ساحلی و یا سیل در ارتباط با افزایش توفان می‌تواند اثرات جدی و گسترده‌ای بر جمعیت‌ها، دارایی‌ها و پوشش گیاهان ساحلی، اکوسیستم‌ها و برای تجارت و معیشت داشته باشد (Dossou and Gléhouenou-Dossou, 2007). نواحی پست در شهرهای ساحلی مانند لاگوس، مامباسا و یا بمبئی معمولاً بیشتر در معرض خطر سیلاب هستند، به ویژه در مناطقی که امکانات زهکشی کمتری وجود دارد (Adelekan,2010).

نتایج مدل‌ها و سناریوهای آب و هوایی نمایش دهنده افزایش قابل‌توجهی در وقوع و شدت رخدادهای سیل است. همچنین افزایش سطح آب دریا نیز تا سال ۲۰۵۰ تائید شده است. در فصل منابع آب و تغییر آب و هوایی این موضوع به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته شده است. در نتیجه، افزایش جمعیت نواحی شهری که در معرض خطر سیلابهای شهری و همچنین افزایش جمعیت در معرض خطر افزایش سطح آب دریاها در شهرهای بندرگاهی به تبع آن مورد انتظار است.

برآورد جدید هیئت بین الدول تغییر آب و هوا برای افزایش میانگین آب سطح دریا بین ۲۶ تا ۹۸ سانتیمتر تا سال ۲۱۰۰ است. این میزان نشان دهنده افزایش بیشتر به میزان ۱۸ تا ۵۹ سانتیمتر در مقایسه با پیش بینی گزارش پیشین است (IPCC, 2013). هانسون و همکاران تغییرات سیل تا سال ۲۰۷۰ را در شهرهای بزرگ بندرگاهی که در معرض سیلاب ساحلی قرار دارند را با سناریوهای رشد اقتصادی اجتماعی، افزایش سطح آب دریا و افزایش شدید توفان و تخریب ناشی از آن تخمین زده‌اند (Hanson et al., 2011). آنها متوجه شدند که با افزایش سطح دریا معادل ۰/۵ متر، جمعیت در معرض خطر بیش از سه برابر می‌شود در حالی که سکونتگاه‌ها و دارایی‌های در معرض خطر، بیش از ۱۰ برابر خواهد شد. بیست شهر اصلی که با این دو معیار شناسایی شده (جمعیت و دارایی در معرض سیلاب ساحلی) در هر دو رتبه بندی فعلی و همچنین رتبه بندی سال ۲۰۰۷، در کشورهای کم، متوسط و با درآمد بالا مشاهده می‌گردند اما در شهرهای دلتایی آسیا متمرکز شده‌اند. آنها عبارتند از: بمبئی، گوانگژو، شانگهای، میامی، هوشی مین سیتی، کلکته، نیویورک، اوزاکا کوبه، اسکندریه، توکیو، تیانجین، بانکوک، داکا و هی فونگ.

- **سلامت انسان، بیماریها و اپیدمی در شهرها**

مطالعات اخیر، اثرات استرس گرمائی را بر جمعیت شهری در کشورهای متوسط و کم درآمد نشان داده است. مشخص شده است که روزهای داغ تأثیرات قابل توجهی بر سلامتی دارند که می‌تواند در هر دو شرایط خشکسالی و رطوبت بالا تقویت شود. مطالعات در کشورهای با درآمد بالا نشان می‌دهد سالمندان بیشتر از مرگ و میر مرتبط با گرما آسیب پذیر هستند (Oudin Åström et al., 2011). در شهرهایی که مرگ و میر کودکان بالا است، مشخص شده است که دماهای حدی بر مرگ و میر تأثیر می‌گذارد. افراد در برخی مشاغل بیشتر در معرض خطر هستند، به ویژه هنگامیکه آنها برای مدت زمان طولانی، در معرض دمای بالاتری هستند (Hoa et al., 2013).

همانطور که در فصل سلامت انسان اشاره شده است با توجه به اینکه برخی بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین به شدت متأثر از تغییرات بارش و دما هستند با توجه به افزایش دما و تغییرات ایجاد شده در بارش، انتظار می‌رود میزان آنها به ویژه در نواحی شهری افزایش داشته باشد و می‌تواند میزان خطر مرگ و میر ناشی از این بیماری‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد.

۸-۳-سازگاری سکونتگاه‌ها در برابر تغییرات آب و هوایی در مقیاس جهانی

- **سازگاری در مناطق روستایی**

در مناطق روستایی در زمینه مشاغل گوناگون کشاورزی، دامپروری و شیلات روشهای مختلف سازگاری وجود دارد که عبارت‌اند از(Dasgupta et al.,2014):

۱-کاشت، داشت و برداشت تنوع مختلفی از محصولات

۲-استفاده از کشاورزی محافظتی

۳-جایگزینی گله‌ها با گونه‌های مقاوم‌تر

۴-کاشت سبزیجات در فصل خشک برای بهره‌مندی از آب آبیاری به‌منظور ایجاد چرخه‌ی دو گانه‌ای از محصول (سبزیجات و دیگر محصولات)

۵-استفاده از ذرت و علف هرز برای تغذیه دامها

۶-استفاده از سد

۷-جمع آوری آب

۸-مدیریت، سیاست گذاری و تصمیم سازی بهتر در خصوص آب و غیره

- **سازگاری در مناطق شهری**

قرار گرفتن در معرض خطرات مربوط به آب و هوا در مناطق شهری در حال رشد، زمانی که دولت‌های محلی نتوانند مسئولیت‌های خود را با گسترش یا ارتقاء زیرساخت‌ها و خدمات و کاهش خطر از طریق ایجاد استانداردها و مدیریت مناسب کاربری اراضی (UNISDR, 2011) بیابند، افزایش می‌یابد. برخی کشورهای آمریکای لاتین موارد زیر را در سازگاری در مناطق شهری مورد توجه قرار داده‌اند:

- تجزیه و تحلیل دقیق از سوابق وقایع و فجایع محلی، از جمله رویدادهای محلی‌تر(کوچک مقیاس تر) نسبت به آنهایی که در پایگاه داده‌های بین المللی هستند.
- شناسایی بهتر فجایعی که در نتیجه شکست محلی در ارزیابی و اقدام بر روی ریسک ایجاد شده است.
- شناسایی نقش مرکزی دولت های محلی در کاهش خطر فجایع، حمایت از سازمانهای غیردولتی ملی و محلی، همکاری با جامعه مدنی و سکونتگاه هایی که بیشتر در معرض خطرند.

۸-۴- وضعیت سکونتگاه‌های انسانی درکشور

براساس آخرین تقسیمات کشوری تا پایان سال ۱۳۹۴، کشور ایران از ۳۱ استان، ۴۲۹ شهرستان، ۱۰۵۷ بخش، ۲۵۸۹ دهستان و ۱۲۴۵ شهر تشکیل یافته است. همچنین براساس نتایج سرشماری

عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران از کل جمعیت ۷۹ میلیون و ۹۲۶ هزار و ۲۷۰ نفری؛ ۲۰ میلیون و ۷۳۰ هزار و ۶۲۵ نفر (۲۵/۹ درصد) در روستاها ساکن هستند. این جمعیت در ۶۲ هزار و ۲۸۴ آبادی توزیع شده‌اند. از بین آبادی‌های دارای سکنه؛ ۱۹۹۶۴ آبادی (۳۲/۱ درصد) کمتر از ۵۰ نفر، ۸۴۶۳ آبادی (۱۳/۶ درصد) ۵۰ تا ۹۹ نفر، ۲۲۹۵۶ آبادی (۳۶/۹ درصد) ۱۰۰ تا ۴۹۹ نفر، ۶۰۹۹ آبادی (۹/۸ درصد) ۵۰۰ تا ۹۹۹ نفر، ۳۷۵۷ آبادی (۶ درصد) ۱۰۰۰ تا ۲۴۹۹ نفر، ۸۵۷ آبادی (۱/۴ درصد) ۲۵۰۰ تا ۴۹۹۹ نفر و ۱۸۸ آبادی (۰/۳ درصد) ۵۰۰۰ نفر و بیشتر، جمعیت دارند. از نظر تعداد خانوار، از بین آبادی‌های دارای سکنه، ۲۲۸۱۹ آبادی (۳۶/۶ درصد) کمتر از ۲۰ خانوار، ۵۹۵۰ آبادی (۹/۶ درصد) ۲۰ تا ۳۰ خانوار، ۱۲۹۷۱ آبادی (۲۰/۸ درصد) ۳۱ تا ۷۰ خانوار، ۴۹۶۷ آبادی (۸ درصد) ۷۱ تا ۱۰۰ خانوار و ۱۵۵۷۷ آبادی (۲۵ درصد) ۱۰۱ خانوار و بیشتر، داشته‌اند.

آمار زیاد سکونتگاه‌های شهری و روستایی ایران نشان‌دهنده پراکندگی زیاد جمعیت در کشور است که در ارتباط مستقیم با وجود منابع آب و خاک در اقصی نقاط کشور قرار می‌گیرد.

هریک از سکونتگاه‌های شهری و روستایی کشور به دلایل متعدد در معرض انواع پیامدهای تغییر آب و هوا قرار دارند که در بخش‌های پیشین به موضوعات اصلی آنها اشاره شد. عمده‌ترین جنبه‌های این تأثیرات مربوط به کمبود منابع آب برای مصارف مختلف، مشکلات کشاورزی، آلودگی هوا، وقوع خشکسالی ها، ایمن نبودن سکونتگاه‌ها در برابر انواع مخاطرات طبیعی، وجود مشکلات سلامت و مسائل اجتماعی است که به نوعی به پیامدهای تغییر آب و هوا در کشور برمی‌گردد. با توجه به این موضوع گرمایش جهانی و تغییر آب و هوایی از جنبه‌های مختلفی بر مناطق مسکونی اثرگذار است که افزایش مخاطرات جوی و تهدید جوامع انسانی، ذوب شدن یخ‌های قطبی، بالا آمدن آب دریاها، از بین رفتن شهرهای ساحلی، خشکسالی، افت آبهای سطحی و زیرزمینی و به دنبال آن مهاجرت و تخلیه مناطق مسکونی، افزایش بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی با حفر چاه و پیدایش نقاط جدید مسکونی در اطراف چاه‌ها، و اثر تغییر آب و هوایی در شکل معماری بناها از مهمترین آنها می‌باشد که در مطالب زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۸-۵- افزایش مخاطرات جوی و تهدید سکونتگاه‌ها در کشور

مطالعات موجود (فرج زاده، ۱۳۹۲) نشان می‌دهد که سالانه به‌طور میانگین حدود ۸۹ مخاطره آب و هوایی در کشور به وقوع می‌پیوندد (جدول ۸-۲) که هریک از آنها انواع و شدت و ضعف‌های مختلفی را دارند و به تناسب قدرت خود خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را به جا می‌گذارند. غالب خسارت‌های جانی این مخاطرات در سکونتگاه‌های شهری و روستایی رخ می‌دهد و در طی زمان افزایش قابل توجهی از خود نشان می‌دهند (فرج زاده، ۱۳۹۲). با توجه به این موضوع سکونتگاه‌های کشور در معرض انواع مخاطرات ناشی از تغییر آب و هوایی قرار دارند که گاهی به صورت دماهای زیاد یا امواج

گرمایی و گاهی به صورت موج‌های سرما خود را نشان می‌دهد و در مواردی نیز به صورت خشکسالی و سیلابهای ویرانگر اثر خود را به سکونتگاه‌ها وارد می‌سازد. بررسی‌های صورت گرفته نشان از همبستگی گرمایش جهانی و تغییر آب و هوایی با افزایش مخاطرات جوی در جهان و به تبع آن در ایران است.

جدول۸-۲: فراوانی و میزان خسارات وارده از انواع مخاطرات آب و هوایی در طول دوره‌ی۲۰۰۷-۱۹۹۰ (فرج زاده، ۱۳۹۲)

نوع مخاطره	فراوانی وقوع	افراد کشته شده	افرادزخمی شده	افراد بی خانمان	افراد متأثر شده	خانه‌های خسارت دیده
باد شدید	۲	–	–	–	–	–
باران	۲۴	۱۳	۹	–	–	۱۳۰۵
برف	۱۰۶	۱۱	–	–	۵۰۲	۵۶۷
بوران	۱	–	–	–	–	–
پیشروی دریا	۵	۴	–	–	–	۵۰۶۱
تگرگ	۴۶	۳	–	–	–	–
جوی	۱	۱۴۰	–	–	–	–
خشکسالی	۳۵		–	–	۱۱۰۰۰۰	–
رعد و برق	۷۹	۹۴	۱۳	–	۱	۱۳۹
سیل	۱۰۹۵	۲۵۴۵	۱۳۰۴۸	۱۳۲۹	۱۰۱۹۰۱	۷۹۵۳۴
توفان	۱۳۶	۹۳	–	–	۱۶۲۵۰۰	–
کولاک	۷۲	۳۳	–	–	–	–
گردباد	۳	۸	۱۴	–	–	۱۹۱
گرم باد	۱	–	–	–	–	–
یخبندان و سرمای شدید	۵	۲	–	–	–	–
مجموع	۱۶۱۱	۲۹۴۶	۱۳۰۸۴	۱۳۲۹	۳۷۴۹۰۴	۸۶۷۹۷
میانگین	۸۹	۱۶۴	۷۲۷	۷۴	۱۵۲۷۲	۱۸۲۲

- **اثر بالا آمدن سطح آب دریاها بر سکونتگاه‌های کشور**

افزایش دمای کره زمین باعث ذوب شدن یخهای قطبی می‌شود که نتیجه این اتفاق افزایش سطح آب دریاها خواهد بود. ایران با دارا بودن ۲۷۰۰ کیلومتر دریا در شمال و جنوب کشور و استقرار سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی به نظر می‌رسد دارای آسیب‌پذیری زیادی از این نظر

می‌باشد. هرچند که به دلیل عدم ارتباط دریای خزر با دریاهای آزاد امکان افزایش سطح آب دریای خزر و سوار شدن آن بر اراضی ساحلی به دلیل افزایش سطح آب اقیانوس‌ها بعید به نظر می‌رسد ولی تغییرات رودخانه ولگا می‌تواند تأثیر زیادی بر سواحل شمالی کشور داشته باشد.

حداکثر افزایش محاسبه شده برای افزایش سطح آب اقیانوس‌ها ۶۰ سانتیمتر در سال ۲۱۰۰ ارائه شده است که با این افزایش شدید به‌طور قطع سواحل جنوب کشور را به‌ویژه در بخش‌های غربی با وجود جلگه‌های گسترده تحت تأثیر قرار خواهد داد. بررسی‌ها بیانگر سکونت بیش از ده میلیون نفر از جمعیت کشور در امتداد سواحل خلیج‌فارس و دریای عمان است که می‌توانند تحت تأثیر تغییرات سطح آب دریاها در آینده قرار گیرند.

در کل اثرهای تغییرات سطح آب دریاها سبب جابجایی در جوامع ساحلی، اختلال در فعالیت‌های کشاورزی، فرسایش ساحلی، از دست دادن ساحل، کاهش در گردشگری و نفوذ آب دریا به سفره‌های آب شیرین خواهد شد.

جزایر موجود در خلیج فارس به شدت از این پدیده آسیب دیده و این موضوع می‌تواند منجر به از بین رفتن بخش عمده‌ای از اراضی این جزایر شود.

- **اثر تغییر آب و هوایی بر معماری سکونتگاه ها**

سکونتگاه‌ها تجسم و تبلور فضایی ایفای نقش‌های اساسی انسان می‌باشند که در چارچوب روابط انسان و محیط و بر حسب شرایط محیط طبیعی، اجتماعی، فرهنگی، تاریخی و ...سازمان می‌یابند. عواملی از قبیل کاهش منابع فسیلی و خطراتی چون گرم شدن زمین، افزایش جمعیت، کاهش منابع آب آشامیدنی، کاهش منابع محیطی، آلودگی محیط زیست و ...حال و آینده کره زمین را به مخاطره انداخته است. در این راستا طراحی صحیح ساختمانها و کالبد شهرها می‌تواند یکی از تأثیرگذارترین ارکان‌ها در ساخت جهانی مبری از این تهدیدها در آینده باشد. با به کار بردن اصول معماری پایدار و توسعه شهرهای پایدار می‌توان علاوه بر ایجاد یک فضای راحت و با آسایش برای زندگی از تهدیدهای پیش رو جلوگیری نمود. ایجاد شهرهای پایدار نه تنها می‌تواند حصول به خطرات آینده را کم رنگ کند، بلکه توانایی بهبود امنیت اقتصادی و اجتماعی جوامع را دارد.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد؛ موقعیت و ویژگی‌های جغرافیایی و آب و هوایی نقش تعیین‌کننده‌ای در بافت و سیمای مسکن در مناطق مسکونی دارد و نحوه شکل‌گیری فضاها، کارکرد خانه‌ها و نوع مصالحی که در ساخت و ساز بافت مسکونی به کار می‌رود با آب و هوا، سنت‌های بومی و شناخت مردم از فنون تولید مصالح و به‌کارگیری الگوهای کارا در معماری بناهای مسکونی متداوم و پایدار بوده است. ارتباط تغییر آب و هوایی و معماری از سه دیدگاه قابل بررسی است.

- نخست مناطقی که دچار تغییر آب و هوایی شده‌اند و معماری خود را با آب و هوای موجود همساز کرده‌اند.

- دوم مناطقی که دچار تغییر آب و هوایی شده‌اند و معماری خود را با آب و هوای موجود همساز نکرده‌اند.
- سوم مناطقی که دچار تغییر آب و هوایی نشده‌اند اما معماری آنها در پی گذر از سنت به مدرنیته دچار تغییراتی شده است که هیچ سازگاری با آب و هوای موجود ندارد.

- **اثر تغییر آب و هوا بر زیرساخت‌ها**

زیرساخت‌های کشور از جمله مهمترین عوامل استقرار سکونتگاه‌های انسانی شامل شهر و روستا هستند. برخی از این زیرساخت‌ها به شدت از گرمایش جهانی تأثیر پذیرفته و برخی نیز روی گرمایش جهانی تأثیر گذار است که در مطالب زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

شبکه‌های آبرسانی کشور به منظور تأمین آب شرب مورد نیاز سکونتگاه‌های انسانی به صورت سیستم‌های جزیره‌ای عمل نموده و در حال حاضر صد در صد شهرهای کشور با جمعیت ۷۵ درصدی از کل کشور تحت پوشش شبکه‌های آب شهری قرار دارند و در خصوص جمعیت ۲۵ درصدی روستاهای کشور، برخی دارای سیستم آبرسانی مستقلی هستند و برخی نیز فاقد این سیستم بوده و در نتیجه‌ی خشک شدن منابع آب محلی در روستاها شامل چشمه‌ها و قنات‌ها و سایر منابع موجود در این محل‌ها، آبرسانی به این روستاها از طریق تانکرهای آب صورت می‌گیرد. با توجه به این موضوع تأمین آب شرب برای سکونتگاه‌ها به‌ویژه مناطق روستایی از اهم مشکلات کشور محسوب می‌شود که در صورت عدم تأمین آب سالم بهداشتی بیم آن می‌رود که مشکلات جدی برای سلامت روستاییان ایجاد شود. امروزه طرح‌هایی همچون ایجاد شبکه آب سراسری برای کشور مطرح شده است که در نوع خود دارای نقاط ضعف و قوت متعددی است و نیازمند مطالعه جدی در این زمینه است. از مشکلات عمده در آب شهری هدر رفت آب از طریق فرسودگی شبکه به میزان متوسط ۳۰ درصد است که نیازمند چاره اندیشی مناسب است.

شبکه اصلی گاز کشور در حال حاضر دارای دسترسی حدود ۹۰ درصدی برای سکونتگاه‌های انسانی است که هم به عنوان سیستم‌های گرماساز و هم به عنوان انرژی لازم برای پخت غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد. طرح‌های آینده در نظر دارند دسترسی همه سکونتگاه‌های انسانی کشور را به این منبع انرژی در دستور کار خود قرار دهند. تأمین منابع گاز کشور از طریق سیستم سراسری در برخی ایام سرد سال و ورود موج‌های سرما به دلیل افت فشار دچار نقصان می‌شود که مجریان امر با ایجاد منابع ذخیره‌ای گاز در برخی مناطق دارای مشکل، سعی دارند در این ایام گاز موردنیاز سکونتگاه‌ها را تأمین کنند.

شبکه انرژی الکتریسیته کشور دارای پوشش صد در صدی برای سکونتگاه‌های انسانی است که این شبکه از محل‌های تولید کننده انرژی یعنی نیروگاههای آب، فسیلی و اتمی کشور تأمین می‌گردد. در حدود ۷۵ درصد از تأمین انرژی از طریق نیروگاههای با سوخت گاز، مازوت تأمین می‌شود که سهم

عمده‌ای در افزایش دی اکسید کربن و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای دارد. میزان بهره‌وری در این نیروگاهها در حد استاندارد نبوده و لازم است برای ارتقاء آنها چاره اندیشی شود. در مصرف انرژی الکتریسیته نیز در سکونتگاه‌ها مشکل اصلی در مصرف بهینه خارج از حد استاندارد است که نسبت به برخی کشورها مانند ژاپن حدود ده برابر است (URL 8-1). دلیل این موضوع عدم رعایت استانداردهای لازم برای احداث بناها برای ذخیره انرژی در ساختمان، استفاده از وسایل پرمصرف برای تولید دما، عدم رعایت استاندارد متراژ ساختمان برای خانوارها، تغییر سیستم سرمایش از کولرهای کم مصرف به کولرهای گازی پرمصرف توسط خانوارها و ... است که متأسفانه تمهیدات لازم برای این کار هنوز در کشور اجرایی نشده است. هرچند ایجاد نیروگاههای خورشیدی و جلب مشارکت مردمی برای احداث نیروگاههای خورشیدی در پشت بام منازل از اقدام‌های مثبت در این زمینه است ولی در مقایسه با میزان انرژی مصرفی مورد نیاز، این منابع در حداقل بوده و راه دور و درازی برای کشور در این زمینه وجود دارد. استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی نیز از تمهیداتی است که در کشور به‌تدریج در حال رواج است ولی به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های مناسب در ساخت بناهای مسکونی، استفاده از این نوع منابع برای تأمین آب گرم ساختمان هنوز شکل جدی به خود نگرفته است. نیروگاههای اتمی بوشهر از اقدامات مؤثر دیگر در این زمینه است که می‌تواند راهکار مناسبی برای تأمین برق مورد نیاز کشور باشد که با توجه به تولید انرژی نسبتاً کم در مقایسه با سایر منابع تولید الکتریسیته در حد اولیه است.

سایر شبکه‌های زیرساختی کشور از جمله راه آهن، جاده‌ها، فرودگاهها، بنادر و ... در کشور هنوز به طور کامل به پوشش سراسری نرسیده‌اند و مصرف انرژی در این سیستم‌ها با توجه به عدم نوسازی آن هنوز نمی‌توانند به عنوان منبع افزایش گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار گیرند و نیازمند تمهیدات لازم برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از این طریق هستند.

۸-۶- روش‌های سازگاری سکونتگاه‌ها و زیر ساخت‌ها با تغییر آب و هوایی در کشور

- **بخش ایمنی سکونتگاه‌ها و زیر ساخت ها**

جلوگیری از احداث مناطق سکونتگاهی و زیرساخت‌های مهم در مکانهای پرخطر از اولین اقدامات در این زمینه است که به ایمنی سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها کمک خواهد کرد. به همین منظور لازم است مناطق مختلف کشور از نظر رخداد مخاطرات مختلف ناشی از پیامدهای تغییر آب و هوا پهنه‌بندی شده و میزان خطرپذیری هریک از آنها محاسبه شود. ایجاد سیستم‌های هشدار مناسب متناسب با نوع مخاطره می‌تواند در پیش آگهی و تخلیه فوری سکونتگاه‌ها بسیار مؤثر باشد و از میزان تلفات انسانی آنها خواهد کاست.

- **بخش معماری سکونتگاه‌ها با تغییر آب و هوایی**

جوامع سنتی کشور به مدت‌های مدیدی به راحتی زندگی خود را در شرایط آب و هوایی مختلف سازگار کرده و به زندگی ادامه داده‌اند. روستاها و شهرها از استوا گرفته تا قطب به راحتی بدون نیاز به گرم‌کننده‌ها و سردکننده‌های الکترونیکی و مکانیکی و با استفاده از حداقل مصرف انرژی زندگی نموده‌اند. تا ۱۲۰ سال پیش تنها انرژی در دسترس تمام جوامع برای گرم کردن یا خنک کردن ساختمان خود استفاده از سرگین، زغال چوب، زغال سنگ خام، برای گرم کردن و انرژی باد، آب و یخ برای خنک کردن بود.

راه‌های زیادی وجود دارد که در آن مردم محل سکونت خود را با آب و هوا سازگار کنند که عبارت‌اند از:

۱-انتخاب محل سکونت نسبت به آب و هواهای مختلف در فصول مختلف سال برای مثال کوچ کردن در زمستان به جاهای گرم و از تابستان به جاهای خنک روشی مناسب است.

۲- انتخاب مصالح ساختمانی نسبت به آب و هوای منطقه برای مثال ساخت خانه با سنگ و خشت یا چوب .

۳-طراحی و استفاده از فضاهایی در یک ساختمان برای استفاده در فصل گرم و سرد و یا زمآنهای خاص (به طور کلی مهاجرت درون ساختمانی).

اولین سکونتگاه‌های در فرم اجتماع پس از عصر یخبندان در کوه‌های زاگرس ایران در فرم خانه‌های خشتی بیضی شکل که با آزمایش‌های کربن ۱۴ تخمین زده شد، مربوط به ۷۲۰۰ سال پیش از میلاد بوده است (URL 8-2). و پس از آن اجتماع‌های بزرگتر شکل گرفت و تمدن‌های بزرگ نسبت به شرایط آب و هوایی توسعه و یا کاهش یافتند برای مثال گفته می‌شود تمدن بزرگ مایاها بر اثر سیل از هم پاچید و مردم مجبور به ترک اجتماع خود شدند.

به طور کلی دلیل اصلی برای داشتن ساختمان، یک سرپناه در مقابل آب و هوا است. چگونه یک ساختمان چادری ساده در سخت ترین شرایط آب و هوایی برای عشایر می‌تواند سرپناهی باشد برای مثال چگونه عشایر در صحرای گرم و ساکنان مناطق سرد کشور در مقابل سردترین هوا می‌توانند خود را حفظ کنند. امروزه در ایران کوچ برای سازگاری با آب و هوا (عشایر) همچنان در برخی مناطق وجود دارد. برای نمونه طایفه بیرانوند از کوه زاگرس در بهار از دشت داغ در نزدیکی دزفول حدود ۱۰۰ مایل تا کوه‌های سردسیر خرم آباد می‌روند (شکل ۸-۷). در منطقه سردسیر کشور نیز چادرهای ساخته شده از پشم بز و شتر با عنوان یورت بهترین محافظ در مقابل سرماهای کشنده آن منطقه است. مردم عشایر آموخته‌اند که چگونه سرپناه خود را در مقابل شرایط مختلف آب و هوایی همساز کنند. شکل ۸-۸ نشان دهنده تفاوت دما در داخل و بیرون چادر در ماههای مختلف می‌باشد.

شکل۸-۷: چادر ساده عشایر بیرانوند که در فصل سرما گرم است و در زمان گرما خنک است

شکل۸-۸: نمودار برآورد دمای داخل چادر عشایر بیرانوند در ماه‌های مختلف سال و در مکانهای مختلف

- **انتخاب مصالح مناسب با آب و هوا**

در مناطقی که در طول سال فقط یک فصل بحرانی وجود دارد و شرایط حرارتی هوای سایر فصل‌ها در محدوده‌ی منطقه آسایش است، ویژگی مصالح باید بر اساس فصل بحرانی تعیین شود. ولی وقتی در منطقه‌ای دو فصل بحرانی وجود دارد (مثلاً زمستانهای بسیار سرد و تابستآنهای بسیار گرم)، مقاومت و ظرفیت حرارتی مصالح باید به گونه‌ای باشد که نیازهای هر دو فصل را تامین کند.

در مناطق سرد هدف اصلی حفظ حرارت در داخل ساختمان است و عمده‌ترین عامل در این مورد، مقاومت حرارتی دیوارهای جانبی ساختمان است. البته این روابط برای محاسبه‌ی مقاومت حرارتی دیوارهای ساختمانی به شکل بلوک‌های بزرگ و طویلی پیشنهاد شده است که سطح خارجی آپارتمان‌ها یا واحدهای داخلی آن کم است.

مهمترین عوامل تعیین‌کننده‌ی ویژگی مصالح ساختمانی مناسب برای مناطق گرم، حداکثر دمای روزانه هوا و دامنه نوسان آن است. مقدار پرتوی خورشید جذب شده در دیوار نیز از عوامل مهم دیگری است که به جهت قرارگیری و رنگ سطح خارجی دیوار بستگی دارد. مهمترین ویژگی مصالح ساختمانی، به مقاومت حرارتی (R) و ظرفیت حرارتی (Q) آن بستگی دارد.

مقاومت حرارتی دیوار، در تعدیل انتقال حرارت از سطح خارجی به سطح داخلی آن مؤثراست. البته میزان انتقال حرارت، به حداکثر دمای سطح خارجی دیوار- که خود تابع دمای هوا و مقدار پرتوی خورشید جذب شده بر دیواراست -بستگی دارد ولی تاثیر افزایش این دو دما – دمای سطح و دمای هوا- یکسان نیست؛ چون دوره‌ی نوسان دمای هوا ۲۴ ساعت است ولی دوام تابش آفتاب بر دیوارها بسیارکمتر است. درنتیجه، تاثیر افزایش دمای سطوح ناشی از تابش آفتاب، در شرایط حرارتی هوای داخلی ساختمان کمتر از تأثیری است که همان مقدار افزایش دمای هوای خارج در شرایط حرارتی هوای داخلی دارد.

ظرفیت حرارتی مصالح دیوارهای ساختمان، در تعدیل نوسان هوای داخلی آن که به افزایش دمای سطوح خارجی در اثر تابش آفتاب مربوط می‌شود بسیار مؤثراست، در نتیجه مقدار ظرفیت حرارتی مصالح دیوارها، بیشتر با افزایش دمای سطوح ناشی از تابش آفتاب و دامنه نوسان هوا ارتباط دارد تا با حداکثر دمای هوا. هرچه دامنه نوسان دمای هوای خارج افزایش یابد، ظرفیت حرارتی مصالح دیوارها تأثیر بیشتری در تعدیل دمای هوای داخلی ساختمان خواهد داشت.

ویژگی مصالح مورد استفاده در شرایط آب و هوایی مختلف کشور عبارت است از:

۱ – در مناطق مرطوب استوایی بهتر است مصالح ساختمانی مورد استفاده از نوع سبک بوده، مقاومت حرارتی کمی داشته باشد.

۲ – در جزایر استوایی، مقدار کمی عایق حرارتی برای ساختمان کافی است ولی به دلیل نوسان زیاد دمای روزانه‌ی هوا، اگر توده‌ای سنگینی از مصالح ساختمانی در قسمت‌های داخلی بنا در نظر گرفته شود، وضعیت حرارتی هوای داخلی ثابت می‌ماند.

۳- در مناطق گرم و مرطوب که میزان نوسان دمای روزانه‌ی هوا کم است، مصالحی با مقاومت حرارتی زیاد و بدون ظرفیت حرارتی، مناسب‌ترین نوع مصالح ساختمانی است.

۴- در مناطق گرم و خشک، به دلیل اختلاف زیاد دمای هوای شب و روز، مصالح ساختمانی باید با دقت بیشتری انتخاب شود در این مناطق، بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که قسمت‌هایی از ساختمان که هنگام روز مورد استفاد قرار می‌گیرد، با مصالح ساختمانی سنگین و قسمت‌های مورد استفاده هنگام عصر و شب، با مصالح سبک و با ظرفیت حرارتی کم ساخته شوند.

۵- در مناطق معتدل، قسمت‌های غربی ساختمان باید از مصالح سنگین با ظرفیت حرارتی زیاد ساخته شود تا از انتقال حرارت ناشی از تابش آفتاب بعد از ظهر به داخل ساختمان جلوگیری کنند، در حالی که دیوار سایر قسمت‌ها باید از مصالحی با مقاومت حرارتی کافی ساخته شود.

۶- در مناطق سرد، برای ثابت نگه داشتن شرایط مطلوب فضای داخلی ساختمان باید مقاوم حرارتی مصالح را افزایش داد و دیوارهای غربی و قسمت‌های داخلی ساختمان را با مصالح سنگین بنا کرد.

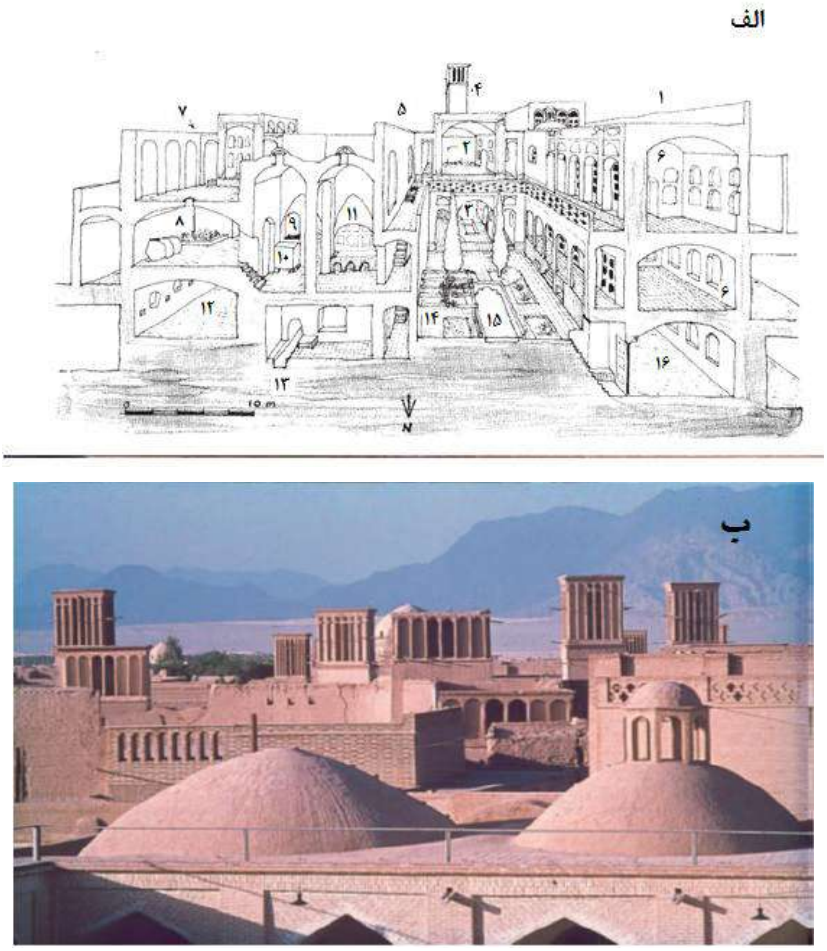
۷- در مناطق بسیار سرد، استفاده از دیوارهای سنگین برای برقراری تعادل حرارتی هوای داخلی ضروری است. استفاده از عایق حرارتی در سطوح خارجی دیوارهای جانبی نیز برای جلوگیری از انتقال حرارت از داخل ساختمان به خارج آن لازم است.

۸- از آنجا که در عرض‌های جغرافیایی بسیار زیاد، نوسان دما هوا در مقایسه با برودت و انحراف آن از منطقه آسایش بسیار ناچیز است، استفاده از مقاومت حرارتی مصالح تنها راه کنترل هوای داخلی است.

- **طراحی مسکن سازگار با آب و هوا**

بسیاری از خانه‌های تاریخی در ایران که به صورت سکونتگاه‌های ثابت بوده معماری خود را با آب و هوای مجاور همساز کردند برای نمونه در منطقه یزد که منطقه‌ای گرم و بیابانی است، برخی ساختمآنها دارای پیچیده‌ترین معماری در جهان هستند. برخی از این بناها به وسیله خشت و گل ساده ساخته شده‌اند اما بیش از ۶۰۰ سال عمر دارند و هنوز هم فعال و ایستاده‌اند. آنها در پشت بام‌های خود یک نشان بسیار آشکار از هنر مهندسی و معماری دارند که می‌توان گفت یکی از بزرگترین مهارت‌ها در تاریخ معماری می‌تواند باشد و آن کانال تهویه هوایی است با نام بادگیر که برای گرفتن هوای بیرون و انتقال آن به اتاق ویژه تابستان نشین طراحی شده است و در مقابل در شب‌ها، گرمای موجود دیوارهای خشتی را که در طول روز شکل گرفته است از راه بادگیرها از اتاق خارج کرده و به فضای بیرون پخش می‌کند در نتیجه در طول شبانه روز هوای آن اتاق ویژهِ تابستان، خنک است. در مقابل در اتاق‌هایی که ویژهِ زمستان است به واسطه وجود دیوارهایی که بیشتر با پنجره‌های بزرگ ساخته شده‌اند نور خورشید به داخل هدایت می‌شود و در طول روز حالتی گلخانه‌ای پدید می‌آید و هوای اتاق‌ها گرم می‌شود. در

نتیجه با درک منابع طبیعی در دسترس (باد و خورشید) و طراحی فرم ساختمان می‌توان در شرایط آب و هوایی مختلف به آسایش و زندگی خود ادامه داد. شکل ۸-۹ نشان دهنده نمونه‌ای از این تطابق و سازگاری آب و هوایی می‌باشد.



شکل۸-۹: (الف) بیانگر ویژگی‌های یک خانه سنتی یزد و کارکردهای هر بخش از خانه که نمایانگر مهاجرت درون خانه در فصول مختلف است ۱- سقف خانه مناسب برای خواب شب ۲- اتاق تابستانی۳- اتاق زیر زمین برای استراحت عصرها ۴- بادگیر ۵- دیوارهای گرم غربی ۶-اتاق نشیمن ۷- اتاق مهمان ۸- انبار ۹- آب انبار ۱۰- مخزن آب ۱۱- آشپزخانه ۱۲- اصطبل ۱۳- قنات ۱۴- داربست ۱۵- باغچه ۱۶- زیر زمین عمیق برای بعد از ظهر اواسط تابستان. شکل (ب) نمای یک خانه سنتی در یزد

عدم توجه به شرایط آب هوایی در طراحی و ساخت مسکن از جمله عوامل تشدید کننده سرعت گرمایش جهانی می‌باشد، توجه به مادی گرایی و ظاهر گرایی چه در جوامع توسعه یافته و چه در

جوامع در حال توسعه وجود داشته و دارد. این ظاهر گرایی در بخش مسکن بدون توجه به شرایط جغرافیایی و آب و هوایی منطقه، مزایا و معایبی را به دنبال دارد برای مثال امروزه در بسیاری از شهرها شاهد رشد چشمگیر نماهای ساختمانی شیشه‌ای مدرنی هستیم که چشم هر بیننده‌ای را به خود خیره می‌کند.

استفاده از شیشه به‌عنوان یک ماده جزء جدایی‌ناپذیر هر ساختمان محسوب می‌گردد. با ظهور شیشه‌های رفلکس استفاده از این نوع شیشه‌ها در نمای ساختمآنهای مرتفع و برجها امروزه بسیار متداول گشته است. استفاده از نماهای شیشه‌ای علاوه بر زیبایی امکان استفاده از حداکثر روشنایی روز را فراهم می‌نماید. همچنین استفاده از شیشه‌های ۲ یا ۳ جداره یک لایه عایق صوتی و حرارتی بسیار مناسب را ایجاد می‌کند. استفاده متناسب با نوع کاربری شیشه نیز با توجه به شیشه‌های با قابلیت‌های خاص (شیشه‌های گرم شونده الکتریکی، هوشمند و ...) می‌تواند مزایا و معایب ویژه‌ای داشته باشد.

مزایای کلی نمای شیشه‌ای عبارت است از: کاهش بار مرده ساختمآنهای بلند، سرعت در اجرای نما، فراهم ساختن امکان ورود نور طبیعی روز، امکان رؤیت منظره بیرون، تأمین دید یکپارچه از مناظر بیرون برای ساکنین داخل، ایجاد احساس سبکی و ظرافت در ساختمان از دید یک ناظر شهری، کاهش آلودگی صوتی در نماهای دوجداره، تهویه طبیعی. استفاده از نماهای دو جداره مجهز به سیستم تهویه مناسب، منجر به کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌شود.

معایب نمای شیشه‌ای نیز عبارت است از: ضریب انتقال حرارتی بالا، به دلیل طبیعت شیشه که این ماده در برابر عبور گرما و سرما ضعیف‌ترین سطوح ساختمانی هستند که منجر به مصرف زیاد انرژی می‌گردد، و آلودگی هوا: در نماهای شیشه‌ای در اثر تبادل حرارت از طریق جابجایی بین هوای گرم داخل اتاق و سطح سرد شیشه، دمای داخل کاهش یافته و برای حفظ دما در حد آسایش، نیاز به مصرف زیاد انرژی خواهد بود. اگرچه انواع گوناگون شیشه ساخته شده‌اند که جاذب حرارت بوده و از ورود تابش خورشید به داخل جلوگیری می‌کنند، و یا شیشه‌های دو جداره‌ای وجود دارند که مقاومت هدایت حرارتی بهتری نسبت به شیشه‌های تک جداره دارند، اما با این حال هنوز هم نماهای شیشه‌ای نسبت به سایر مصالح ساختمانی دارای ضریب هدایت حرارتی زیاد بوده و باعث اتلاف حرارت زیاد می‌شوند. اتلاف حرارتی بسیار زیاد و مصرف زیاد انرژی جهت تأمین گرمایش و سرمایش در نماهای شیشه‌ای لاجرم باعث آلودگی بیشتر هوا می‌گردد. احساس عدم آسایش حرارتی در فصول سرد سال نمونه‌ای دیگر از معایب است به طوریکه دمای سطح نمای شیشه‌ای به علت مقاومت حرارتی کم، در فصول سرد سال نزدیک به دمای محیط خارج بوده و بدن افراد مستقر در نزدیکی نما از طریق تشعشع با نما تبادل حرارت کرده و ساکنین احساس عدم آسایش حرارتی خواهند نمود. در اوقات گرم و معتدل سال تابش آفتاب به فضای داخل، سبب افزایش بیش از حد دمای داخل می‌شوند. شیشه دو جداره به دلیل وجود یک محفظه بسته محصور بین دو صفحه شیشه‌ای، به مراتب بهتر از شیشه تک جداره

می‌باشد. از نظر صرفه اقتصادی، به‌صرفه نبودن نمای شیشه از این جهت عنوان می‌شود که هزینه دوجداره نمودن نمای شیشه‌ای بسیار زیاد بوده و بحث ریالی آن قابل قبول برای سازندگان ساختمان نمی‌باشد.

همساز شدن معماری با آب و هوای منطقه از گذشته‌های دور وجود داشته است و آب و هوا نقش تعیین کننده‌ای در سیمای بافت و نمای مناطق مسکونی داشته است علاوه بر آن شرایط آب و هوایی در اقتصاد خانواده‌ها و حکومت‌ها اثر گذار بوده است برای مثال با سرد شدن هوا تمایل افراد به خرید و مصرف سوخت‌های فسیلی و غیر فسیلی افزایش یافته و با ورود شبکه برق به سکونتگاه‌های انسانی تمایل به استفاده از نیروی الکتریسیته و همچنین با گرم شدن هوا تمایل به مصرف تهویه‌ها و خنک‌کننده‌های الکتریکی بیشتر شده است. اینک بشریت با کارگیری انواع انرژی‌های مختلف فسیلی و غیر فسیلی در آستانه هزاره سوم قرار گرفته است و وسعی بر محدود کردن انرژیهای به دست آمده از سوختهای فسیلی دارد و درصدد به کارگیری نوعی از انرژی به منظور صرفه‌جویی در انرژیهای دیگر است. ابتدایی‌ترین تمهیدات در جهت صرفه‌جویی در این زمینه جهشی عظیم در اقتصاد کشور را می‌تواند موجب گردد. یکی از بخشهای مهم در این زمینه طراحی و ساختمان‌سازی است که با به کارگیری فنون طراحی و ساخت می‌توان صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی داشت و در نتیجه آلودگی ناشی از آن را نیز به میزان زیادی کاهش داد.

با توجه به اینکه بیش از ۳۰ درصد کل انرژی مصرفی ایران در ساختمانهای مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد، طراحی و استفاده نامناسب از این ساختمآنها و عدم سازگاری مواد و مصالح مورد استفاده با آب و هوا و شرایط منطقه، می‌تواند باعث اتلاف مقدار زیادی از انرژی ورودی به ساختمآنها شود و با توجه به این نکته که سیر طراحی شهری و معماری سنتی ایرانی همواره در راستای کشف آهنگ طبیعت، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و ساختن بناهایی با کمترین مصرف انرژی بوده (سازگاری معماری با آب و هوا)، در نتیجه معماری سنتی ایران می‌تواند ما را برای رسیدن به این هدف که همانا کاهش مصرف و اتلاف انرژی در بخش ساختمآنهای مسکونی است نزدیک سازد. یکی از پایه‌های شکل‌گیری معماری سنتی ایرانی، آب و هوا می‌باشد. در این نوع طراحی منبع اصلی تأمین انرژی، انرژی خورشیدی است و روش‌های طراحی ساختمآنها بر اساس دریافت مستقیم از انرژی خورشید می‌باشد. امروزه تغییرات آب وهوایی در بسیاری از مناطق کشور نمود یافته است که نیازمند همساز شدن معماری با آن تغییرات است.

جنبه دیگر طراحی مناطق مسکونی توجه به موقعیت ساختمان در پلان است. عواملی که خصوصیات آب و هوایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارت‌اند از: توپوگرافی، جهت، اشراف، ارتفاع تپه‌ها یا دره‌های واقع در اطراف آن، سطح زمین چه طبیعی و چه ساخته شده، قابلیت نفوذپذیری، جنس و دمای خاک. همه این جنبه‌ها از اهمیت خاصی برخوردارند. جهت استقرار ساختمان یکی از مهمترین

عوامل مؤثر در کیفیت شرایط حرارتی و محیطی فضای داخلی به شمار می‌رود. جهت استقرار ساختمان، به نوعی در تأمین بسیاری از اهداف طراحی و نیازهای حرارتی آن تأثیر می‌گذارد. جلوگیری از گرم شدن فضاهای داخلی در مواقع گرم و استفاده هرچه بیشتر از انرژی خورشیدی در گرم کردن این فضاها در مواقع سرد، به وضعیت استقرار ساختمان نسبت به موقعیت سالانه خورشید در آسمان مربوط می‌شود. تأمین این موارد مستلزم طراحی جهت ساختمان است. جهت ساختمان به گونه‌ای باشد که در مواقع سرد سال حداکثر و در مواقع گرم سال حداقل انرژی خورشیدی به نمای اصلی آن بتابد. امروزه با افزایش جمعیت و طراحی و ساخت شهرهای جدید به ویژه در ایران توجه به جهت استقرار ساختمانها نسبت به عناصر جوی دارای اهمیت بیشتری است.

مصرف انرژی در بخش ساختمان به ترتیب زیر می‌باشد.

الف ـ روشنایی، ۲۵ درصد

ب ـ گرمایش و سرمایش، ۴۵ درصد

ج ـ وسائل و تجهیزات، ۱۵ درصد

د ـ اتلاف انرژی، ۱۵ درصد

میزان قابل توجه ۵۰ درصد مصرف انرژی کل در ساختمان که ۱۵ درصد آن تلف می‌شود، از یک طرف و میزان ۷۰ درصد مصرف در روشنایی و گرمایش و سرمایش از طرف دیگر حائز اهمیت است. به هر میزان صرفه‌جویی در مقادیر فوق، خود اثر قابل ملاحظه در مصرف انرژی خواهد داشت.

بهره برداری هر انسان از منابع طبیعی یک حق مسلم است اما عدم توجه در طراحی‌های شهری و ساختمان‌سازی، این حق از بسیاری از مردم گرفته می‌شود برای مثال ساختن برج‌های در مسیر باد می‌تواند دسترسی ساکنان یک شهر یا محله را به انرژی طبیعی باد سلب کند. سرعت باد در سطح شهر و خیابان، تحت تأثیر عناصر طراحی شهری از جمله ارتفاع و تراکم ساختمآنها و همچنین پراکندگی ساختمانهای مرتفع، دچار تغییر قابل‌توجهی می‌شود به‌طوری‌که سرعت باد در برخورد با سطح ناهموار که در اثر ساخت و ساز در شهر ایجاد شده است دچار افت و کاهش می‌شود. ضمن آنکه بین «میزان وزش و جریان باد» با «تمرکز یا دفع آلودگی هوا»، رابطه مستقیم وجود دارد. علاوه بر این ساختمانهای بلند دریافت نور و انرژی خورشید را برای ساختمانهای کوتاه‌تر دچار مشکل می‌کند، این مشکل از دو طریق نمایان می‌شود اول به طور مستقیم ساختمان بلند جلوی دریافت نور خورشید توسط ساختمان‌های کوتاه اطراف را می‌گیرد و دوم از طریق سایه‌ای است که ساختمانهای بلند بر روی ساختمآنها و محیط اطراف می‌اندازند. در زمستانها سایه یک ساختمان ۱۶ طبقه ۴۳ درصد بزرگتر از سایه یک ساختمان یک طبقه است. قانون حق استفاده از نور خورشید در برخی از ایالت‌های امریکا مانند کلرادو به تصویب رسیده است در این قانون به ساخت ساختمان و اثر آن در بهره‌برداری ساکنان و ساختمانهای مجاور تأکید شده است.

توجه به ساخت ساختمان با توجه به جهت باد و دریافت نور خورشید در بخش انرژی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند عمدتاً ساختمانهایی که نور خورشید کمتری در طول روز دریافت می‌کنند برای تأمین روشنایی از لامپ‌های الکتریکی استفاده می‌کنند همچنین در ساختمانها و مراکزی که جریان طبیعی باد وجود ندارد، تهویه‌ها و خنک‌کننده‌های الکتریکی مصرف بیشتری دارد. ساختمانهایی با هزینه انرژی زیاد که در معرض بادهای شدید قرار دارند از اولین مراکز آسیب‌پذیر در مقابل تغییر آب و هوا هستند.

منابع فصل هشتم

فرج زاده، م، ۱۳۹۲. مخاطرات آب و هوایی ایران، انتشارات سمت.

Adelekan, I.O., 2010: Vulnerability of poor urban coastal communities to flooding in Lagos, Nigeria. Environment and Urbanization, 22(2), 433-450.

Dasgupta, P., J.F. Morton, D. Dodman, B. Karapinar, F. Meza, M.G. Rivera Ferre, A. Toure Sarr, and K.E. Vincent., 2014: Rural areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 613-657.

Dossou, K.M.R. and B. Gléhouenou-Dossou., 2007: The vulnerability to climate change of Cotonou (Benin): the rise in sea level. Environment and Urbanization, 19(1), 65-79.

Gray, C. and V. Mueller., 2012: Drought and population mobility in rural Ethiopia. World Development, 40(1), 134-145.

Guerreiro,SB, Dawson RJ , Kilsby C, Lewis E and Ford A., 2018: Future heat waves, droughts and floods in 571 European cities, Environ. Res. Lett. 13 034009.

Population Division, New York, NY, USA, 439 pp.

Hanna, E.G., T. Kjellstrom, C. Bennett, and K. Dear., 2011: Climate change and rising heat: population health implications for working people in Australia. Asia- Pacific Journal of Public Health, 23(2 Suppl.), 14S-26S.

Handmer, J., Y. Honda, Z.W. Kundzewicz, N. Arnell, G. Benito, J. Hatfield, I.F. Mohamed, P. Peduzzi, S. Wu, B. Sherstyukov, K. Takahashi, and Z. Yan., 2012: Changes in impacts of climate extremes: human systems and ecosystems. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp.231-290.

Hoa, D.T.M., D.A. Nguyet, N.H. Phuong, D.T. Phuong, V.T. Nga, R. Few, and A. Winkels, 2013: Heat Stress and Adaptive Capacity of Low-Income Outdoor Workers and their Families in the City of Da Nang, Vietnam. ACCCRN Working Paper Series 3: 2013: Asian Cities Climate Change Resilience Network (ACCCRN) Initiative, International Institute for Environment and Development (IIED), London, UK, 86 pp.

IFAD, 2010: Rural Poverty Report 2011: New Realities, New Challenges: New Opportunities for Tomorrow's Generation. International Fund for Agricultural Development (IFAD), Rome, Italy, 319 pp.

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Lobell, D.B. and C.B. Field., 2011: California perennial crops in a changing climate. Climatic Change, 109 (Suppl. 1), S317-S333.

McGranahan, G., 2007: Urban Environments, Wealth and Health: Shifting Burdens and Possible Responses in Low and Middle-Income Nations. Human Settlements Working Paper, Urban Environments No. 1, International Institute for Environment and Development (IIED), London, UK, 53 pp.

Oudin Åström, D., F. Bertil, and R. Joacim., 2011: Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. Maturitas, 69(2), 99-105.

Population Division, 2013: World Population Prospects: The 2012 Revision, Volume I: Comprehensive Tables. ST/ESA/SER.A/336, United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA) sa.un.org/unpd/wup/index.htm.

Revi, A., D.E. Satterthwaite, F. Aragń-Durand, J. Corfee-Morlot, R.B.R. Kiunsi, M. Pelling, D.C. Roberts, and W. Solecki., 2014: Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612.

UN DESA Population Division, 2012: World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA) Population Division, New York, NY, USA, esa.un.org/unpd/wup/index.htm.

UN DESA Population Division, 2013: World Population Prospects: The 2012 Revision, Volume I: Comprehensive Tables. ST/ESA/SER.A/336, United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA) Population Division, New York, NY, USA, 439 pp.

UNISDR, 2011: 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining Development. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, 178 pp.

URL 8-1: https://www.farsnews.com/news/13970411000447/

URL 8-2: https://fa.wikipedia.org/wiki/

فصل نهم

تغییر آب و هوا و مسائل اجتماعی و امنیتی

۹-۱- مقدمه

یکی از مسائل بسیار مهم برای هر کشوری ثبات و پایداری امنیت در بخش‌های مختلف جامعه است. تغییر آب و هوا از راههای زیادی می‌تواند تأثیر گسترده‌ای بر امنیت اجتماعی کشورهای مختلف داشته باشد. این راهها عبارت‌اند از: الف) افزایش تعداد رخدادهای حدی آب و هوایی به اختلالات اقتصادی، اجتماعی و جابجایی جمعیت منجر می‌شود؛ ب) تخریب محیط‌زیست با اعمال استرس بر منابع طبیعی به افزایش قیمت‌ها و درگیری‌های اجتماعی منجر می‌شود؛ ج) کاهش رشد اقتصادی در نتیجه‌ی رشد جمعیت و منابع طبیعی محدود؛ د)کاهش سهم تولید ناخالص داخلی توسط کار، منعکس‌کننده کاهش در دستمزدهای واقعی و افزایش نابرابری در وضعیت اشتغال است؛ ه) تغییرات مرگ و میر و امراض و عوارض ناشی از آنها در وضعیت سلامت در بسیاری از مناطق. همانطور که مشاهده می‌گردد تغییر آب و هوا که منجر به رخداد وقایع حدی می‌گردد می‌تواند جنبه‌های اجتماعی زندگی بشر را بشدت تحت تأثیر قرار دهد. در این بخش سعی می‌گردد به مباحث مهم تغییر آب و هوا و مسائل امنیت اجتماعی پرداخته شود و راهکارهای سازگاری با آن مورد توجه قرار گیرد.

۹-۲- اثرهای تغییر آب و هوا در مسائل اجتماعی طی دوره مشاهداتی و آینده

- **تغییر آب و هوا و امنیت انسانی**

امنیت را اطمینان مردم از چیزهای که برای بقا و رفاه آن‌ها وجود دارد و از آن لذت می‌برند تعریف کرده‌اند. این تعریف بسته به این است که در هر مکانی چه محیطی امن باشد و چه شرایطی را امنیت تلقی کنند؛ در واقع امنیت یک مفهوم چند منظوره است. مفهوم امنیت صرفاً نباید به حوزه نظامی محدود گردد، بلکه باید دارای معنای عام‌تری باشد که نه تنها بتوان آن را در عرصه نظامی به کار بست، بلکه در حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و غیره بدان استناد نمود.

در ادبیات توسعه و روابط بین‌الملل، مفهوم امنیت انسانی در قالب تعابیر گوناگونی مورد تعریف و بازتعریف قرار گرفته است و به عنوان مفهوم یا نظریه‌ای جدید، نقطه آغازی برای تحلیل، به عنوان چشم‌انداز، دستورِ کار سیاسی، و یا چارچوبی برای سیاست‌گذاری مطرح است. با این رویکرد امنیت انسانی، وضعیتی است که یک کشور یا یک منطقه می‌تواند از رهگذر حکمروایی شایسته، مدیریت توانمند و استفاده پایدار از منابع طبیعی و محیط‌زیست، گام‌های مؤثری به‌سوی ایجاد ثبات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی و تضمین رفاه جمعیتش بردارد.

حوزه‌های امنیت انسانی می‌تواند موارد زیر در بربگیرد:

۱. امنیت اقتصادی، که به معنای رهایی از فقر، برخورداری از امنیت غذایی و دسترسی به تغذیه پایدار است
۲. تأمین سلامت که در برگیرنده دسترسی به معالجات پزشکی و محافظت در برابر بیماری‌ها می‌باشد
۳. امنیت زیست‌محیطی که در بردارنده اقدام‌هایی برای محافظت از افراد در برابر آلودگی‌ها است
۴. امنیت شخصی که مصون بودن از خطر جنگ، خشونت و شکنجه را در بر دارد
۵. امنیت اجتماع که به همگرایی و حفظ فرهنگ‌های سنتی و اقلیت‌ها اشاره دارد
۶. امنیت سیاسی که شامل حفاظت از حقوق سیاسی و مدنی است

امنیت انسانی و امنیت ملی در مواردی با یکدیگر دارای تفاوت‌های ذاتی است. امنیت انسانی انسان‌محور است، در حالی که امنیت ملی دولت‌محور می‌باشد. در عین حال امنیت ملی درصدد حمایت از قلمرو دولت در برابر تهدیدهای داخلی و خارجی است، اما امنیت انسانی از مبارزه با طیف وسیعی از تهدیدها مانند آلودگی محیط‌زیست، فقر، بیماری‌های عفونی و نظایر آن حمایت می‌کند. دولت در حوزه امنیت ملی بازیگر اصلی است، اما در امنیت انسانی مشارکت وسیع بازیگران مطرح است. امنیت ملی بر توان نظامی استوار است و امنیت انسانی بر توانمندسازی، حفاظت، رفع مخاطرات و جبران خسارت تأثیر گذار است.

به نظر می‌رسد نخستین تأثیر تغییر آب و هوا بر امنیت انسانی است و موضوع تغییر آب و هوا به صورت مستقیم بر رفاه و شرایط اقتصادی و اجتماعی افراد و جوامع آسیب پذیر اثر می‌گذارد. در چنین جوامعی معمولاً زندگی و معیشت متکی بر منابع طبیعی است.

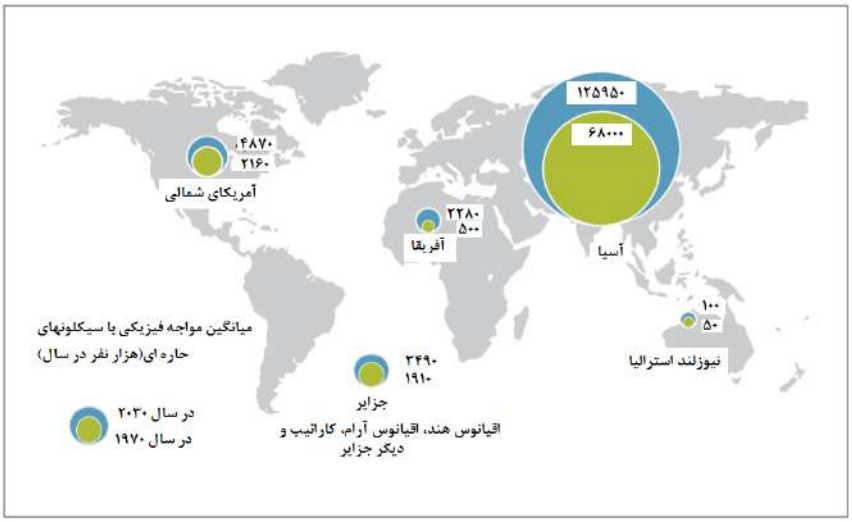
بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰، بار مالی امنیت اجتماعی بر روی تقاضای مقرری ماهانه پیش از افزایش قابل توجهی در سن‌های بازنشستگی در سطح جهان متمرکز می‌شود. منابع محدود به معنای کاهش هزینه‌های بهداشتی می‌باشد که به طور قابل توجهی تا سال ۲۰۲۰ افزایش خواهد داشت، این موارد منجر به نابرابری بیشتر و درگیری‌های اجتماعی می‌گردد. بین سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۶۰، امنیت اجتماعی تمرکز خود را بر روی تأثیرات سلامت محیط‌زیست شروع می‌نماید و بعد از سال ۲۰۶۰، سیستم‌های تأمین اجتماعی، بیشتر به خدمات‌رسانی به فجایع و وام‌های اضطراری برای تأمین نیازهای توان‌بخشی پس از رویدادهای مهم محدود می‌گردد(International Social Security Association,2014).

- **تغییر آب و هوا و مهاجرت اجباری**

بعد دیگر موضوع به پدیده مهاجرت برمی‌گردد. به‌طور کلی واژه‌ی مهاجرت در مفهوم جابجایی و انتقال جمعیت در مکان با تحرک جغرافیایی جمعیت استعمال می‌شود. مهاجرت در معنای عام شامل مهاجرت‌های موقت روزانه، مهاجرت‌های فصلی برای کار، مهاجرت‌های میان‌مدت، بلندمدت و مهاجرت دائمی می‌گردد اما دو گونه نخست در تعریف خاص مهاجرت داخل نمی‌شوند در تعریف خاص عمدتاً مهاجرت ترک یک مکان جغرافیایی برای مدت بیش از یک سال است.

می‌توان گفت دومین تأثیر امنیتی تغییر آب و هوا، موضوع مهاجرت اجباری است. در واقع بلایای طبیعی ناشی از تغییر آب و هوا همچون سیل، طغیان رودخانه‌ها، خشکسالی، توفان‌های سهمگین، سونامی و ...نه تنها به عنوان معضلی داخلی برای کشورهای آسیب‌پذیر هستند، بلکه دامنه منطقه‌ای و حتی بین‌المللی نیز دارند.

همان‌طور که شکل ۹-۱ نشان می‌دهد افراد در معرض سیکلونهای حاره‌ای در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۱۹۷۰ افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. با افزایش هر دو فراوانی و شدت رویدادهای حدی در سطح جهانی، تعداد بیشتری از افراد آواره که به دنبال پناهندگی در جاهای دیگر هستند، مشاهده می‌شود که بسیاری از آنها در محیط‌های دشوار با دسترسی محدود به بازار کار رسمی و کشورهای دارای فرهنگ‌ها و زبانهای مختلف زندگی می‌کنند(International Social Security Association, 2014).



شکل۹-۱: تعداد جمعیت در معرض سیکلونهای حاره‌ای(IPCC, 2012)

پیش‌بینی‌های آینده تا سال ۲۰۵۰ نشان می‌دهند که دامنه تغییرات مهاجرت بین ۲۵ میلیون تا ۱ میلیارد مهاجر متفاوت است، که این افراد به صورت دائمی یا موقت در حال حرکت در داخل یا خارج از مرزها هستند، بیشتر مطالعات رقم ۲۰۰ میلیون نفر را در مهاجرت برآورد کرده‌اند. این مهاجران و افراد آواره جمعیت‌هایی هستند که نیاز دارند به سرعت به رویدادهای آهسته مانند توفانها و خسارات معیشتی واکنش نشان دهند.

پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ تعداد آوارگان ناشی از تغییر آب و هوایی حدود ۱۵۰ میلیون نفر باشند(Sue et al., 2009). مسئله اساسی در حال حاضر هزینه‌های حمایت از پناهندگانی است که از مخاطرات و تغییر آب و هوایی گریخته و آواره و یا پناهنده دیگر کشورها می‌شوند سؤال اینجاست که چرا در حالی که کشورهای ثروتمند نقش اصلی را در گرمایش جهانی و تغییر آب و هوایی دارند اما تحمل گرفتاری‌های آن بر دوش بسیاری از کشورهای فقیر است و قوانین جامع و دقیقی در رابطه با پناهندگان و کمک به مهاجران ناشی از تغییر آب و هوایی وضع نشده است. قوانین باید به گونه‌ای باشد تا کشورهایی مانند ایالات متحده امریکا و چین که رتبه برتر در تولید گازهای گلخانه‌ای را دارند کمک مالی بیشتری را به کشورهای فقیر و آسیب‌دیده از تغییر آب و هوایی کنند. پیش‌بینی می‌شود موضوع دعاوی بین‌المللی قضایی در سالهای آینده بر سر اثرات و شدت تغییر آب و هوا و نقش هر یک از کشورها در آن باشد.

از مهمترین پیامدهای تغییر آب و هوایی، خشکسالی‌های بلندمدت و گاهی دائمی است که یکی از جنبه‌های خشکسالی، افت جریان آبهای سطحی و زیرزمینی و به دنبال آن مهاجرت و تخلیه مناطق مسکونی می‌باشد.

- **تغییر آب و هوا و تخریب محیط‌زیست**

سومین پیامد امنیتی تغییر آب و هوا منازعه بر سر منابع است. درواقع برخی از پژوهشگران مسائل جدی را در این زمینه مطرح می‌کنند. مسائلی از قبیل توفان‌های شدید، خشکسالی، کمبود آب آشامیدنی سالم، غذا، و دیگر منابع می‌تواند سبب جنگ‌ها و منازعات گسترده‌ای در میان دولت‌ها شود.

تخریب محیط‌زیست ناشی از تغییر آب و هوایی بر اثر دو رخداد خشکسالی و سیلاب بیشتر است که به نوبه خود موجب کاهش تولیدات کشاورزی و احتمالاً منجر به تغییرات جمعیتی خواهد شد. افزایش امید به زندگی ممکن است متوقف یا معکوس شود که به‌صورت نظری ممکن است تأثیر مثبت بر سیستم‌های بازنشستگی داشته باشد. با این حال، تأثیر دقیق آن به تغییرات میزان سن بستگی دارد. مرگ و میر نسبتاً بالا در سنین جوانتر افزایش می‌یابد و اثرات زیان‌آورتری نسبت به مرگ و میر افراد در سنین بالاتر خواهد داشت. با توجه به این که تغییرات در میزان بیماری نیز احتمالاً افزایش می‌یابد، زمان صرف شده در بیماری‌ها ممکن است افزایش یابد که منجر به فشار بر سیستم‌های بهداشتی و کاهش احتمالی در ابزارهای مالی می‌شود. سابقه قبلی بیماری ممکن است نه تنها بر هزینه‌های بهداشتی (مخارج طولانی‌تر)، بلکه در کاهش مشارکت کارکنان و کارفرمایان و مالیات بر درآمد تأثیر بگذارد. با توجه به ماهیت نیروی کار در بخش‌های کشاورزی، جنگلداری و ماهیگیری، تأثیر تخریب محیط زیست به ویژه برای فقرا بیشتر است. به عنوان مثال در برزیل، در حالی که این سه بخش ۶ درصد تولید ناخالص داخلی را برای کل کشور تشکیل می‌دهد، تخمین زده می‌شود که آنها تا ۹۰ درصد برای فقیران روستایی اشتغال فراهم می‌کنند(International Social Security Association, 2014).

- **تغییر آب و هوا و امنیت غذایی**

پیامد دیگر امنیت غذایی است. بنا به تعریف نشست جهانی غذا در سال ۱۹۹۶، امنیت غذایی هنگامی وجود دارد که همه مردم در تمام زمانها به غذای کافی، سالم و مغذی دسترسی فیزیکی و اقتصادی داشته باشند و غذای در دسترس، نیازهای رژیم تغذیه‌ای سازگار با ترجیحات آنان را برای یک زندگی فعال و سالم فراهم سازد. تأمین امنیت غذایی همواره یکی از وظایف اصلی تمام حکومت‌ها در قبال مردمانشان بوده و بی‌توجهی به آن می‌تواند بازتابهای مختلف سیاسی- حکومتی، اقتصادی، اجتماعی و... به همراه داشته باشد.

تغییر آب و هوا می‌تواند از طریق تغییرات عمده در شرایط آب و هوایی مثل گرمایش، از طریق تأثیر بر تمام سیستم‌های غذایی جهانی، ملی و محلی، بر امنیت غذایی اثرگذار باشد. تکرار و شدت

حوادث شدید جوی و خشکسالی‌ها، افزایش سطح آب دریاها و افزایش بی‌نظمی‌های الگوهای فصلی بارش، بر روی تولید غذا، زیرساخت‌های توزیع غذا، وقوع وضعیت‌های اضطراری غذا و فرصت‌های معیشتی و نیز سلامت انسانها، در مناطق شهری و روستایی تأثیرات آنی خواهد داشت.

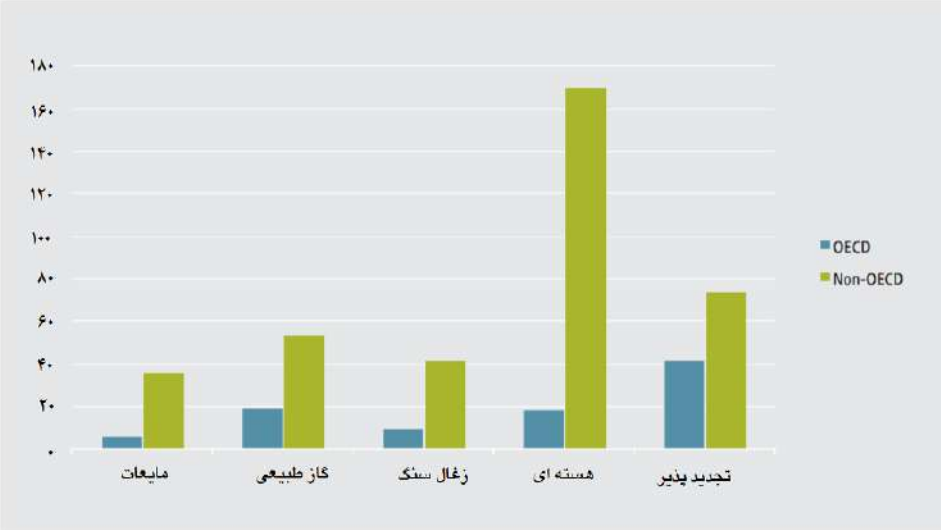
مطالعات نشان می‌دهد که با گرم شدن هوا و تغییر در الگوی بارش، احتمال کاهش غذای جهانی به میزان ۱۰ درصد در سال ۲۰۳۰ میلادی و بیشتر از ۲۰ درصد در سال ۲۰۵۰ میلادی وجود دارد(FAO, 2016). کاهش تولید برای برنج در سال ۲۰۳۰ میلادی در حدود ۹ درصد و در سال ۲۰۵۰ میلادی در حدود ۳۰ درصد، کاهش تولید گندم در سال ۲۰۳۰ میلادی در حدود ۱۲ درصد و در سال ۲۰۵۰ میلادی در حدود ۱۴ درصد، کاهش تولید ذرت در سال ۲۰۳۰ میلادی در حدود هفت درصد و در سال ۲۰۵۰ میلادی در حدود ۱۶ درصد، این کاهش برای دانه سویا در سال ۲۰۳۰ میلادی در حدود دو درصد و در سال ۲۰۵۰ میلادی در حدود ۱۷ درصد پیش‌بینی می‌شود. از طرف دیگر پیش‌بینی می‌شود به دلیل افزایش دما و تغییر در الگوی بارش، قیمت غذا در جهان بین سه تا ۸۴ درصد در سال ۲۰۵۰ میلادی افزایش یابد. از طرف دیگر فائو پیش‌بینی می‌کند عملکرد محصولات کشاورزی ۱۰ تا ۲۵ درصد در سال ۲۰۵۰ میلادی به دلیل تغییر آب و هوا کاهش یافته و به دلیل افزایش درجه حرارت، صید ماهیان در حدود ۴۰ درصد در سال ۲۰۵۰ میلادی کم می شود. این در حالی است که با توجه به افزایش جمعیت جهان، باید افزایش ۶۰ درصدی در تولید غذا به وجود آید. بدین ترتیب تغییر آب و هوا خطر و تهدیدی برای امنیت غذایی جهان است.

- **تغییر آب و هوا و امنیت بخش انرژی**

بعد دیگر امنیت انرژی است. انرژی یک رکن اساسی ثروت و کیفیت زندگی جوامع است. با بیش از یک قرن ارزانی، فراوانی انرژی فسیلی از صنعتی شدن بسیاری از کشورها و استانداردهای روزافزون زندگی شهروندان خود حمایت کرده است. با این حال، تعدادی از مسائل و چالش‌های اصلی جداگانه و مخصوصاً اثرات هماهنگ آن، به احتمال زیاد نحوه استفاده و تأمین انرژی در قرن آینده را تغییر می‌دهد. امروزه امنیت انرژی به عنوان موضوع و مشکل امنیتی جدید برای کشورها ظهور کرده است. تغییر در انرژی و استفاده آن با توجه به تغییر آب و هوا به شدت باعث نوسان قیمت و تنش‌های منطقه‌ای شده و خواهد شد. شکل ۹-۲ سالهای باقی مانده از تولید انرژیهای مختلف را نشان می‌دهد.

شکل۹-۲: سالهای باقی مانده از تولید محصولات مختلف انرژی بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۲ (International Social Security Association, 2014).

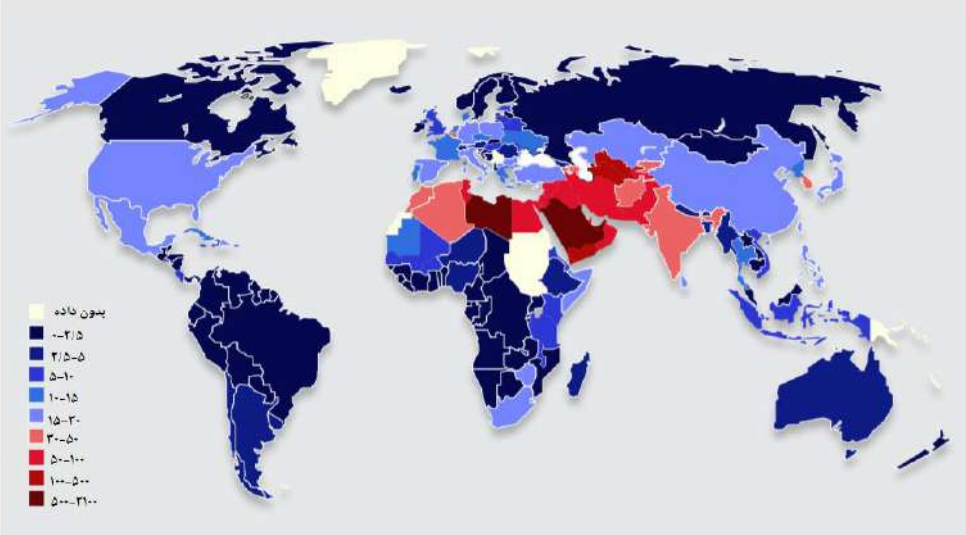
تأمین انرژی تنها بخشی از سرمایه‌گذاری مورد نیاز است، و پیش بینی می‌شود که محصولات و خدمات زیست محیطی به دو برابر مقدار فعلی خود یعنی از ۱۳۷۰ میلیارد دلار در سال در حال حاضر به ۲۷۴۰ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۰ برسد. این خدمات شامل بهره‌وری انرژی، حمل و نقل پایدار، تأمین آب، بهداشت و مدیریت زباله است. بر اساس پیش‌بینی‌های جاری (شکل ۹-۴) تمام اشکال تولید انرژی، از جمله سوخت‌های فسیلی، در سال‌های آینده و دهه‌های آینده به طور قابل توجهی افزایش می یابد. بنابراین، تقاضا برای بازار کار ماهر در تولید و عرضه انرژی احتمالاً در آینده بیشتر خواهد بود. مشاغل در تعدادی از بخش‌ها ایجاد خواهد شد و در دیگر بخش‌ها شغلی وجود نخواهد داشت. سیستم‌های امنیت اجتماعی باید انعطاف‌پذیر باشند تا با مسائل مطرح شده از سوی انتقال به سوی یک اقتصاد سبز، به ویژه مربوط به مهارت مجدد بازار کار، مواجه شوند. کمبود مهارت‌ها در چندین بخش از جمله صنعت سوخت زیستی در برزیل، انرژی تجدید پذیر و زیست محیطی در بنگلادش، آلمان و ایالات متحده و بخش ساخت و ساز در استرالیا، چین، اروپا و آفریقای جنوبی گزارش شده است(International Social Security Association, 2014). تمرکز آموزش و تلاش مجدد مهارت‌های ادارات دولتی باید این تغییرات را منعکس کند. شکل ۹-۳ درصد افزایش ظرفیت تولید انرژی بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵ در نمایش می‌دهد.



شکل۹-۳: درصد افزایش ظرفیت تولید انرژی بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۵ (International Social Security Association, 2014).

- **تغییر آب و هوا و امنیت آبی**

از نظر امنیت آبی، نظر به وجود ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژیکی و سیستم آب و هوایی، هر تغییری در آب و هوا، روی عناصر هیدرولوژی اثر می‌گذارد. رواناب، آبدهی رودخانه‌ها، آبهای زیرزمینی، شدت سیلاب و خشکی، همگی متأثر از بارش و دما هستند که از مهمترین عناصر آب و هوا محسوب می‌شوند. سیستم هیدرولوژیکی مؤلفه جدایی‌ناپذیر سیستم ژئوفیزیکی کره زمین است که هم بر شرایط آب و هوایی تأثیرگذار و هم از آن تأثیرپذیر است. بخار آب گاز گلخانه‌ای اصلی است. تغییرات در آب و هوا بر همه جنبه‌های سیکل هیدرولوژیکی تأثیر دارد. در کل تمامی عوامل هیدرولوژیکی به نوبه خود برای تصمیم‌های برنامه‌ریزی و مدیریت آب تأثیرگذار بوده و عوارض ناشی از این تغییرات حتی بر منابع غذایی بشر نقش تعیین‌کننده دارد و می‌تواند سبب افزایش مسائل و مشکلات فراوان در آینده‌ای نه چندان دور گردد. شکل ۹-۴ درصد برداشت آب شیرین در ارتباط با تقاضای فعلی بشر را نشان می‌دهد.



شکل۹-۴: درصد برداشت آب شیرین در مواجه با تقاضای فعلی آب (International Social Security Association, 2014).

استرس آب و درگیری‌های مرتبط (به عنوان مثال در حوضه‌های اصلی رودخانه‌ای بین کشورهای بالادست و پایین دست)، تجاوز و تخطی در بیابان‌زایی، خشکسالی، سیل و کاهش آب، تعداد زیادی از افراد آسیب دیده را مجبور به مهاجرت می‌کند. تا سال ۲۰۳۰، تأمین آب تنها ۶۰ درصد از تقاضای جهانی را برآورده می‌سازد، در حالی که جمعیتِ تخمین زده شده در حوضه‌های رودخانه‌ای با فشار آب در سال ۲۰۵۰ بین ۲/۸ تا ۲/۵ میلیارد نفر برای یک سناریوی انتشار پایین گازهای گلخانه‌ای و ۹/۶ میلیارد نفر در سناریوی انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای است (IPCC, 2008).

۹-۳- سازگاری در بخش امنیت اجتماعی در مقیاس جهانی

حفاظت اجتماعی سازگار (ASP[1]) یک رویکرد یکپارچه برای کاهش آسیب پذیری افراد فقیر در کشورهای در حال توسعه است. این رویکرد، شوک‌ها و استرس‌هایی که افراد فقیر با آن روبرو هستند و همکاری بالقوه‌ای را که از حفاظت توامان اجتماعی، کاهش خطر فجایع و سازگاری با تغییر آب و هوایی به دست می‌آید، به رسمیت می‌شناسد. تحقیقات اولیه نشان می‌دهد که رویکرد ASP می‌تواند از طریق موارد زیر به کاهش آسیب‌پذیری و فقر کمک نماید(International Social Security Association, 2014):

- تغییر و ارتقای سیستم معیشت
- جوامع هدفمند با کمک‌های ویژه

[1] Adaptive social protection

• مشارکت یک منطق مبتنی بر حقوق برای اقدام
• ارائه یک چشم انداز دراز مدت برای مداخلات در زمینه حفاظت اجتماعی و کاهش خطر رخدادها
• افزایش همکاری بین علوم طبیعی و اجتماعی در هنگام حفاظت اجتماعی، سازگاری با تغییر آب و هوایی و مداخله برای کاهش خطر فاجعه
• معرفی یک معیار محافظت اجتماعی برای ارزیابی اجزای تشکیل دهنده انعطاف پذیری برای رویکرد برنامه‌ریزی

۹-۴- اثر تغییر آب و هوا بر مهاجرت درکشور

بر اساس آمار مهاجرت انتشاریافته توسط مرکز آمار ایران (جدول ۹-۱) در سال ۱۳۹۵ میزان کل افراد مهاجر در کشور حدود ۴/۷ میلیون نفر بوده است که حدود ۸۴ درصد آنها به مناطق شهری و بقیه به مناطق روستایی دیگر نقل مکان کرده‌اند. در این میان استآنهای بزرگ کشور با میزان جمعیت بیشتر از جمعیت مهاجر بیشتری برخوردار گردیده‌اند که بیشترین آن متعلق به استان تهران است. همچنین شکل ۹-۵ بیانگر مهاجرت‌های داخلی کشور طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ می‌باشد که طیف گسترده‌ای را در برمی‌گیرد. انگیزه اصلی برای انجام مهاجرت جمعیت در داخل کشور مختلف بوده که عمده آنها عواملی همچون بیکاری، تنگناهای مالی و داشتن زندگی بهتر را مطرح می‌نمایند. متاسفانه آمار دقیقی از میزان مهاجرت افراد به دلیل تنگناهای طبیعی در مناطق مبدأ وجود ندارد. سوابق مهاجرت در کشور نشان می‌دهد که در طی سال‌های گذشته مهاجرت جمعیت به دلیل رخداد خشکسالی‌های گسترده از منطقه جنوب شرق کشور به‌ویژه زابل به مناطقی از استان گرگان صورت گرفته که امروزه تحت عنوان زابلی‌های گرگان شناخته می‌شوند. در طی سال‌های اخیر نیز با توجه به پیامدهای تغییر آب و هوا و وقوع خشکسالی مستمر و عواملی همچون گرد و غبار سبب گردیده برخی افراد که از تمکن مالی لازم برخوردار هستند نسبت به تغییر مکان خود به مناطق با آب و هوای مساعدتر اقدام کنند که متأسفانه اطلاع دقیقی در این خصوص در اختیار نیست ولی در عین حال باید اشاره نمود در صورت عدم مدیریت صحیح مشکلاتِ رخ داده در این مناطق پیش‌بینی می‌شود که روند مهاجرت افراد به دلیل تنگناهای ناشی از تغییر آب و هوایی گسترش یابد. در عین حال برخی گزارش‌ها از متروکه شدن ۴۶۰ روستا از ابتدای سال ۱۳۹۵ تا پایان سال به دلیل خشکسالی خبر می‌دهند(URL 9-1). ساکنان مناطق مسکونی به ویژه در روستاها پس از حاکم شدن خشکسالی در منطقه و بحرانی شدن شرایط با انگیزه یافتن شرایط زیست مناسبت‌تر محل مسکونی خود را ترک کرده و به مکان دیگری مهاجرت می‌کنند، گسترش این امر موجب تخلیه سکنه مناطق مسکونی شده و به مرور زمان روستا تبدیل به یک محل مخروبه می‌شود.

جدول۹-۱: تعداد کل مهاجران و مقصد مهاجرت (۱۳۹۵-۱۳۸۵) (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۶)

شرح	۱۳۹۵	۱۳۹۰	۱۳۸۵
کل مهاجران	۴۷۰۹۱۴۹	۵۵۹۴۶۶۶	۱۲۱۴۸۱۵۰
مقصد شهری	۳۹۷۲۸۹۶	۴۳۰۲۰۸۶	۸۹۹۹۷۱۰
مقصد روستایی	۷۳۶۲۵۳	۱۲۳۲۵۸۰	۳۱۴۸۴۴۰

شکل۹-۵: روند مهاجرت داخلی در کشور از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۰(مرکز آمار ایران،۱۳۹۰)

۹-۵- اثر تغییر آب و هوا بر امنیت کشور

- **تغییر آب و هوا و امنیت غذایی در کشور**

امنیت غذایی در کشور از مهمترین جنبه‌های تأثیرگذار در عموم جامعه ایران است و تبعات ناشی از کاستی‌های شکل گرفته در آن می‌تواند عموم مردم را درگیر نماید. در زمینه امنیت غذایی جدای از سیری شکم لازم است سیری سلولی نیز مورد توجه قرار گیرد و در کنار آن قدرت اقتصادی برای خرید غذای مورد نیاز و در اختیار داشتن غذای سالم نیز باید مورد توجه باشد.

جدول۹-۲: امنیت غذایی نسبی خانوارهای نمونه کشور(قاسمی، ۱۳۸۳)

کفایت مصرف / مواد مغذی	ناامن شدید[۴]	ناامن خفیف[۳]	امن[۲]	پرمصرف[۱]
انرژی	۱۱	۹	۲۵	۴۳
پروتئین	۸	۷	۱۹	۵۵
کلسیم	۳۰	۱۰	۱۸	۳۴
ویتامین A	۴۶	۵	۱۰	۳۴
ویتامین B2	۷۰	۹	۱۱	۷

مأخذ: طرح جامع مطالعات مصرف مواد غذایی و تغذیه در کشور، انستیتو تحقیقات تغذیه و صنایع غذایی کشور، ۱۳۷۰ ـ ۱۳۷۴

[۱] پرمصرف = دریافت بالای ۱۲۰ درصد نیاز
[۲] امن مطلوب = دریافت ۹۰ ـ ۱۱۰ درصد نیاز
[۳] ناامن خفیف = دریافت ۸۰ ـ ۹۰ درصد نیاز
[۴] ناامن شدید = دریافت زیر ۸۰ درصد نیاز

در سال‌های اخیر گرمایش جهانی و افزایش دما موجب کاهش میزان بارش و وقوع پدیده خشکسالی در کشور شده و در نتیجه نیاز آبی محصولات کشاورزی افزایش یافته است. این مسئله باعث تهدیدی برای تأمین محصولات غذایی در کشور گردیده است. به نظر می‌رسد با توجه به موارد مذکور و با عنایت به این موضوع که کشور ایران در یک منطقه‌ی نیمه‌خشک و بیابانی قرار گرفته است و همزمان درگیر تغییر آب و هوایی گردیده؛ امنیت غذایی ایران دچار مشکلات اساسی شده است که می‌تواند سلامت مردم و امنیت ملی را به طور غیر قابل جبرانی به مخاطره اندازد.

آنچه که در مطالعات مربوط به اثر تغییر آب و هوا بر تولید محصولات کشاورزی مشخص است با توجه به میزان تولید محصولات زراعی به عنوان تابعی از متغیرهای آب و هوایی، این محصولات در آینده کاهش قابل توجهی را خواهد داشت و این موضوع در صورت عدم مدیریت بهینه می‌تواند امنیت غذایی کشور را دچار مخاطره نماید. خوشبختانه تأمین مواد غذایی لازم کشور برای همگان در کشور امکان‌پذیر بوده و فقط توزیع جغرافیایی و دسترسی همه آحاد جامعه به منابع غذایی لازم، به لحاظ شرایط اقتصادی و در مواردی فرهنگ غذایی مردم برای عدم استفاده از برخی مواد غذایی مانند آبزیان و استفاده بیش از حد از غذاهای آماده در این مورد تأثیر گذار است. بنابراین می‌توان گفت در صورت مدیریت صحیح و اصلاح فرهنگ غذایی می‌توان عدم وجود امنیت غذایی کشور را به دلیل شرایط ویژه ایجاد شده توسط تغییر آب و هوایی تحت مدیریت و کنترل درآورد و از این طریق کمترین آسیب را به کشور متصور بود.

- **تغییر آب و هوا و امنیت انرژی در کشور**

تأمین انرژی در حال حاضر به استثنای شرایط خاص مانند برخی از روزهای تابستان که به دلیل سیطره امواج گرمایی نیاز به انرژی افزایش می‌یابد، مشکلی ندارد و در شرایط اوج مصرف به دلیل عدم ظرفیت کافی نیروگاه‌های تولید انرژی الکتریسیته مشکل دارد و از طرفی افزایش جمعیت و تغییر فرهنگ مردم برای استفاده از وسایل سرما ساز؛ تأمین انرژی را با چالش‌های ویژه‌ای روبرو می‌سازد. با توجه به این موضوع اعمال تمهیدات لازم برای مصرف انرژی در کشور در خانه‌ها از طریق عایق سازی مناسب و استفاده از محصولات با بازدهی زیاد را باید مدنظر قرارداد تا این موضوع باعث عدم امنیت انرژی در کشور نشود.

- **تغییر آب و هوا و امنیت آب در کشور**

سهم ایران از منابع آب شیرین جهان نسبت به مناطق دیگر در سطح پایین‌تری قرار دارد؛ در حالی که کشور یک درصد از جمعیت جهان را دارا است اما حدود ۰/۳ درصد از آبهای شیرین را دارد. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد تأمین آب کشور به دلیل کاهش حدود ۲۰ درصدی بارش‌های جوی در کشور طی دهه‌های آینده با چالش‌های جدی روبرو شده و این موضوع امنیت آب کشور را دچار مخاطره خواهد ساخت. برای تأمین امنیت آب کشور راهکارهای مختلفی مطرح شده است که ازجمله آنها می‌توان به وارد نمودن آب از کشورهای همسایه و یا انتقال آب دریای خزر به مناطق مرکزی کشور و کشت فراسرزمینی و همچنین انتقال آب از خلیج‌فارس و دریای عمان به مناطق مرکزی کشور اشاره نمود که هریک از این طرح‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارد. به نظر می‌رسد راهکار بنیادین برای حل معضل کم آبی را باید در نحوه مصرف جستجو نمود. اگر پذیرفته شود که حدود ۹۰ درصد از آب کشور در کشاورزی به مصرف می‌رسد که به دلیل شرایط خاص انهار و شیوه‌های کشت بخش زیادی از آن به هدر می‌رود و از طرفی نیز بعد از تولید محصول کشاورزی نیز حدود ۳۰ درصد از آن به صورت ضایعات تلف می‌شود؛ از این‌رو اگر تمرکز اصلی برنامه‌ریزی‌های کشور به طرف مصرف بهینه پیش برود می‌توان امیدوار بود که با صرفه‌جویی‌های به عمل آمده مقادیر معتنابهی آب را برای توسعه کشاورزی در اختیار داشت. همین وضعیت درباره مصارف کشور در زمینه‌های شرب و صنعت وجود دارد. مطالعات نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد از آب لوله‌کشی شهرها به دلیل فرسودگی شبکه از دسترس خارج می‌شود که با اصلاح شبکه مذکور می‌توان منابع آب زیادی را در اختیار داشت. در صنعت نیز می‌توان با بازیافت آب مصرفی همانند کشورهای پیشرفته این آب را چندین بار مورد مصرف قرار داد تا بدین ترتیب بتوان میزان مصرف را کاهش داد. کاهش میزان تبخیر در کشور نیز از جمله راهکارهایی است که می‌تواند در تأمین منابع آب مورد نیاز کشور چاره ساز باشد. در حال حاضر حدود ۷۱ درصد از بارش‌های دریافتی از طریق تبخیر از دسترس خارج می‌شود که با اعمال تمهیداتی می‌توان این میزان را به حداقل ممکن کاهش داد. به‌هرحال آنچه که به نظر می‌رسد این است که هرچند تغییر آب و

هوایی می‌تواند امنیت آب را دچار مخاطره نماید ولی شرایط کشور طوری است که به اعمال مدیریت لازم می‌توان به افزایش منابع آب کشور امیدوار بود و این موضوع نیازمند برنامه‌ریزی و سرمایه گذاری لازم می‌باشد.

- **ابعاد امنیتی تغییر آب و هوا در ایران**

نبود امنیت در هریک از موارد فوق‌الذکر ممکن است موجب بروز بحرانهای امنیتی در کشور شود و عدم مدیریت این بحرانها می‌تواند به‌طور مستقیم بر امنیت سیاسی تأثیرگذار باشد. بنابراین نبود امنیت آبی، غذایی و یا انرژی، کشور را با تنش‌های داخلی و فرامرزی روبرو خواهد ساخت. با توجه به این موضوع لازم است قبل از آنکه شرایط فوق‌الذکر به مرز بحران برسد آنها را مدیریت نمود و راهکارهای حل مسئله را ارائه نمود و از این طریق از بزرگ شدن مسئله جلوگیری نمود.

۹-۶- تغییر آب و هوایی و تغییر سبک زندگی در کشور

سبک زندگی در جامعه ایرانی تابعی از رشد اجتماعی، آیین دینی، فرهنگ کهن، شرایط اقتصادی و... است که می‌تواند اثرهای ناشی از تغییر آب و هوایی را تشدید یا تضعیف نماید. برای مثال مردم ایران زمین از دیر و باز با فرهنگ صرفه جویی و قناعت آشنا بوده و در موضوعات مختلف زندگی خود آن را به کار بسته‌اند. اگر این موضوع در مصرف بهینه آب، انرژی و سایر موضوعات مربوطه بکار گرفته شود به‌طور قطع در کاهش گازهای گلخانه‌ای مؤثر خواهد بود.

۹-۷- روش‌های سازگاری در مسائل اجتماعی تغییر آب و هوا در کشور

باید اقدامات مختلف سازگاری را برای کاهش معضلات اجتماعی و امنیتی بر اثر تغییر آب و هوا مد نظر قرار داد که در ارتباط مستقیم با شرایط ایجاد شده، وسعت و شدت آن است. در عین حال راهکارهای سازگاری کلی می‌تواند در این زمینه مؤثر باشد. در کل می‌توان گفت قبل از بروز بحران لازم است بسترهای بروز بحران را در همان مراحل اولیه از بین برد تا تبدیل به بحران بزرگ نشود. تغییرات در الگو و سبک زندگی از مهمترین راهکارهای سازگاری در تغییر آب و هوایی محسوب می‌شود؛ چراکه کاهش آسیب‌های وارده به محیط‌زیست و در نتیجه کاهش پیامدهای منفی تغییر آب و هوا و گرمایش جهانی را موجب می‌شود. فرض کنیم افراد تصمیم بگیرند که کاهش گازهای گلخانه‌ای را در دستور کار خود قرار دهند؛ در این شرایط افراد یک جامعه می‌باید به جای استفاده از وسیله نقلیه شخصی از وسایل نقلیه عمومی استفاده کنند. صرفه جویی در مصرف آب از دیگر الگوهای سبک زندگی متناسب با تغییر آب و هوا است. با توجه به این موضوع تغییر در سبک زندگی، کلیه جنبه‌های زندگی فردی و اجتماعی تک تک افراد یک جامعه را در بر می‌گیرد. به‌طور قطع آموزش افراد برای آگاهی افراد جامعه از پیامدهای منفی تغییر آب و هوایی که می‌تواند زندگی همه افراد یک جامعه را تحت تأثیر قرار دهد نقش تعیین‌کننده دارد.

منابع فصل نهم

قاسمی حسین، ۱۳۸۳، امنیت غذا و تغذیه و جالش‌های آینده در کشور، مجموعه مقالات اولین همایش کشاورزی و توسعه ملی.

مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰. سالنامه آماری سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰.

مرکز آمار ایران، ۱۳۹۶، سالنامه آماری سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵.

FAO, 2016: climate change and food security: risks and responses, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

International Social Security Association, 2014: management and social security, Climate change and natural resource scarcity Discussion document.

IPCC, 2008: "Linking climate change and water resources: Impacts and responses", in B. C. Bates et al. (eds.), Climate change and water (Technical paper, No. 4). Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance ClimateChange Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 582 pp.

Sue, R, Crichton, D, Nicol, F., 2009: Adapting building and cities for climate change, Springer publications.

URL 9-1: http://titreshahr.com/fa/news/7346/

فصل دهم

اقتصاد تغییر آب و هوا

۱۰-۱- مقدمه

بدون شک اثرهای منفی تغییر آب و هوا موجب اختلال در ظرفیت تولید اقتصاد ملی و افزایش فقر می‌شود. درکل خسارت‌های ناشی از تغییر آب و هوا به عدم توسعه‌یافتگی اقتصاد منجر می‌شود که بشر را مجبور به استفاده از منابع کمیاب برای نگهداری و بازسازی تجهیزات آسیب‌دیده می‌نماید. برخی از اثرهای تغییر آب و هوا مانند خشکسالی اثر اقتصادی خود را به صورت دوره چندماهه نشان می‌دهند و برخی نیز مانند توفانهای شدید باعث اثرهای اقتصادی سریع می‌شوند. به گواه داده‌های موجود تقریباً سرتاسر جهان در معرض انواع اثرهای تغییر آب و هوا قرار دارند. این رخدادها می‌توانند عامل اصلی برای فقر و نابودی دستاوردهای توسعه و ذخیره ثروت در کشورهای درحال‌توسعه باشند. مرگ‌ومیر و خسارت‌های اقتصادی هر دو تابعی از فرکانس (تعداد و تناوب) اثرهای تغییر آب و هوا می‌باشند. این فصل مروری بر مهمترین ابعاد اقتصادی تغییر آب و هوا در سطح بین‌المللی و داخلی دارد.

۱۰-۲- ابعاد اقتصادی تغییر آب و هوا

به‌موازات توسعه‌یافتگی، خسارت‌های ناشی از بحرانهای طبیعی ازجمله تغییر آب و هوا تولید ناخالص داخلی را کاهش می‌دهد. همه پیامدهای حاصل از تغییر آب و هوا برابر نبوده و خسارت‌های یکسانی برجای نمی‌گذارند. ازنظر اقتصادی یک فاجعه طبیعی؛ به‌عنوان یک رویداد طبیعی تعریف

می‌شود که باعث اختلال در عملکرد دستگاه‌های اقتصادی می‌شود و تأثیر منفی قابل توجهی بر دارایی‌ها، عوامل تولید، اشتغال یا مصرف دارد(Hallegatte, 2013).

هاریس و همکاران ابعاد مختلف خسارت‌های اقتصادی تغییرآب و هوا در آمریکا را بررسی نموده‌اند(Harrris et al., 2015). ابعاد خسارت‌های مورد بررسی شامل کشاورزی، ازبین رفتن جنگل‌ها، اضمحلال گونه‌ها، افزایش سطح دریا، تولید الکتریسیته، سلامت انسان‌ها، مهاجرت، رخداد مخاطرات آب و هوایی و ... می‌شود که در شرایط افزایش ۲/۵ درجه سانتیگرادی دما حدود ۶۰ میلیارد دلار به اقتصاد آمریکا خسارت وارد خواهد ساخت.

اثرهای ناشی از تغییر آب و هوا به سه گروه خسارت‌های مستقیم، خسارت‌های غیرمستقیم و اقتصاد کلان طبقه‌بندی می‌شود. خسارت‌ها از جنبه دیگر به خسارت‌های ملموس و غیرملموس طبقه‌بندی می‌شوند. خسارت‌های ملموس، شامل خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم هستند، خسارت‌های غیرملموس (غیرمستقیم) به خسارت‌هایی گفته می‌شود که قابل‌خرید و فروش نبوده و برای آنها ارزش بازاری و تجاری وجود ندارد مثل مرگ‌ومیر و صدمات روانی (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۵). خسارت مربوط به هر یک از پیامدهای تغییر آب و هوا به میزان سرمایه‌گذاری انجام شده و تجهیزات و امکانات موجود و همچنین وجود امکانات طبیعی مانند جنگل و مرتع بستگی دارد.

خسارت‌های مستقیم را به آسانی می‌توان اندازه‌گیری کرد، این خسارت‌ها معمولاً بر منافع مستقیم انسانها که برای بعد از مصیبت لازم است برآورد شود، همانند بازسازی منطقه مصیبت‌زده، اثرگذار است. این خسارت‌ها معمولاً بر انسان، کالا و محیط خسارت وارد می‌کنند (فرج زاده، ۱۳۹۲). هزینه‌های اقتصادی مستقیم یعنی ارزش آنچه آسیب‌دیده یا نابودشده است کافی نیست بلکه باید هزینه‌های غیرمستقیم نیز برآورد شود(Hallegatte, 2013).

خسارت مستقیم ناشی از پدیده‌ها و فاجعه‌های فیزیکی عبارت‌اند از: بادهای تند، طغیان آب، لرزش زمین، خسارت به اتومبیل‌ها، خسارت به جاده ها، مرگ‌ومیر ناشی از فروریختن ساختمانها (Hallegatte, 2013). از جمله موارد دیگر اثرهای مستقیم عبارت‌اند از: ۱- آسیب به خانه و وسایل ۲- آسیب به ساختارهای شرکت‌ها و موجودی (سرمایه‌ها) و وسایل ۳- آسیب به زیرساخت‌ها ۴- مرگ‌ومیر و آسیب‌دیده‌ها (متأثر شده‌ها) ۵- تخریب محیط‌زیست ۶- واکنش‌های اضطراری و پاک‌سازی(Kousky, 2012).

خسارت‌های مستقیم به خسارت‌های مستقیم بازاری (برای محصولاتی که می‌تواند در بازار خریداری شود مانند اتومبیل، ساختمان) و خسارت‌های مستقیم غیر بازاری (که نمی‌تواند در بازار خریداری شود مثل زندگی انسان و اکوسیستم) طبقه‌بندی می‌شوند(Hallegatte, 2013).

شواهد بسیاری از اثرات مستقیم منفی رخدادهای حدی آب و هوا بر رشد اقتصادی وجود دارد، خشکسالی به‌عنوان بیشترین خسارت اقتصادی در بین مخاطرات هرساله بین ۶ تا ۸ میلیارد دلار

خسارت برجا می‌گذارد؛ که موجب اثرات عظیم ویرانگر قحطی مانند خشکسالی ۱۹۸۰ اتیوپی و قرن ۱۹ هند می‌شود، سیل جوامع را در روش‌ها و مقیاس‌های مختلف (زمان و مکان) تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین به خانه‌ها و زیرساخت‌ها و سرمایه فیزیکی و اجتماعی جامعه آسیب می‌زند. در چین، سیل رودخانه یانگ‌تسه در اوایل قرن ۲۰ بارها و بارها صدها کشته برجای گذاشته است و خسارت سیل در سال ۱۹۹۸، ۳۰ میلیارد دلار تخمین زده شد. خسارت ناشی از جاری شدن سیل در ۱۹۹۸ در گنگ و برهماپوترا، در هند، بنگلادش و نپال ۵ میلیارد دلار برآورد شد. تأثیرات مخاطرات آب‌وهوا بر رشد اقتصادی (مثل سیل و خشکسالی که تأثیر قابل‌توجهی بر اقتصاد ملی دارد) بسیار زیاد است به عنوان مثال در اتیوپی سیل و خشکسالی بیش از یک‌سوم رشد اقتصادی را کاهش داد؛ به طوریکه ۱۰ تا ۱۶ درصد از کاهش تولید ناخالص داخلی ناشی از سیل و خشکسالی بود(Brown, 2010).

خسارت‌های غیرمستقیم مانند اختلال در فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی یک جامعه که از نتایج ثانوی بلایا مانند از رونق افتادن کسب وکار و افزایش بیکاری نشات می‌گیرند، می‌باشند (فرج زاده اصل, ۱۳۹۲). اثرات غیرمستقیم مخاطرات آب‌وهوا موجب کاهش سرمایه‌گذاری و منجر به چرخه منفی دارایی یا افزایش فقر می‌گردد (Brown, 2010). خسارت‌های غیرمستقیم (به‌عنوان خسارت‌های مرتبه بالاتر هم خوانده می‌شود) خسارت‌هایی نیست که به‌واسطه خود فاجعه ایجاد شده باشد بلکه از نتایج آن است، برای کاهش خسارت مخاطره‌ها (سیل، زلزله، توفان)، اصطلاح ضرر و زیان غیرمستقیم اغلب به‌عنوان زیانهای خروجی مانند کاهشِ تولید اقتصادی در اثر مخاطره استفاده می‌شود(Hallegatte and Przyluski, 2010). علاوه بر این هزینه بلایا بر انسان و اقتصادِ جامعه تحمیل می‌شود. هزینه‌ها شامل هزینه‌های امدادرسانی، بهبود و توان‌بخشی و بازسازی سرمایه‌های آسیب‌دیده و نابودشده است که در بلایای بزرگ به تأمین مالی خارجی و یا کمک‌های بشردوستانه بین‌المللی نیاز است.

در اقتصاد کلان، روابط اقتصادی متغیرهایی مانند تولید، مصرف، پس‌انداز، سرمایه‌گذاری، درآمد، رشد اقتصادی، تورم و مانند این‌ها مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد، به‌عبارت‌دیگر اقتصاد کلان، بررسی وضع اقتصادی در سطح کل است و برخلاف اقتصاد خرد که به بررسی قیمت‌ها، مقدار خرید، فروش، هزینه و درآمد و غیره، در سطح بنگاه‌ها و بازارهای فردی می‌پردازد، اقتصاد کلان مجموعه نظریه‌هایی است که پدیده‌های اقتصادی را در سطح مقادیر جمعی تجزیه و تحلیل می‌کند و مجموع رفتارها و واکنش‌های اقتصادی و نیز دوران بازرگانی و تغییرات ایجادشده در بازارهای کالا و خدمات، کار، سرمایه و پول را مورد مطالعه قرار می‌دهد. دامنه اقتصاد کلان بسیار گسترده و مشتمل بر نظریه‌های سرمایه گذاری، تولید، درآمد، اشتغال، بیکاری، تورم، مصرف، سطح عمومی قیمت‌ها نظریه‌های پولی و نرخ‌های بهره، سود، هزینه‌ها و بدهی‌های دولت، کسری بودجه، تجارت خارجی و

به‌طورکلی شامل مجموعه سیاست‌های مالی، پولی، رشد اقتصادی و حتی پیش‌بینی تغییر آنها در آینده است (Benito and et al. , 2004).

در کنار اثرهای منفی آب و هوا باید به اثرهای مثبت آن نیز توجه نمود. به‌طور مثال زیر کشت رفتن اراضی که تاکنون به دلیل دمای کم امکان کشت در آنها وجود نداشت از آثار مثبت تغییر آب و هوا تلقی می‌شود.

نقش سازمآنهای بیمه‌گر در مدیریت خسارت‌های ناشی از تغییر آب و هوا بسیار مؤثر است. بلایای طبیعی موجب تلفات جانی و خسارت‌های مالی گسترده می‌شود و بیش‌تر انتظار می‌رود پس از وقوع بلایای طبیعی، بلافاصله دولت وارد عمل شود و همه عملیات بازسازی و جبران آسیب دیدگان ناشی از این بلایای طبیعی را به عهده بگیرد، درحالی‌که در کشورهای پیشرفته، شرکت‌های بزرگ بیمه به عنوان مکمل بدنه دولتی محسوب شده و با دریافت حق بیمه‌های متناسب با احتمال وقوع بلایای طبیعی، پس از بروز بلایای طبیعی در کنار دولت، فعال‌شده و بخش زیادی از خسارت‌های دولت را به دوش می‌کشند. با این حال میزان پرداخت خسارت‌ها توسط شرکت‌های بیمه در مقایسه با مخارج دولتی زیاد نیست (صادقی و امام قلی پور، ۱۳۸۷).

با توجه به گرم شدن آب‌وهوا و فراوانی و شدت مخاطرات افزایش‌یافته، در کشورهای با درآمد کم و متوسط اثرات مخاطرات فاجعه می‌تواند ویرانگر باشد، چون این کشورها بیشتر آسیب‌پذیر هستند و از این رخدادها رنج می‌برند. در طی سالهای ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۴ بیش از ۹۵ درصد از مرگ‌ومیر حوادث طبیعی در کشورهای درحال‌توسعه رخداده است؛ و خسارت اقتصادی مخاطرات در ایالات متحده در هرسال ۵۴ میلیارد دلار است. در ثروتمندترین کشور متوسط مجموع تلفات در طول این دوره به میزان ۳/۷ درصد از درآمد ناخالص ملی با حدود ۳۰ درصد از خسارت های بیمه محاسبه شده است اما در کشورهای کم‌درآمد به میزان ۱۲/۹ درصد از تولید ناخالص داخلی است. خسارت‌های غیرمستقیم در درازمدت می‌تواند بسیار قابل‌توجه باشد، به‌ویژه در کشورهایی که ظرفیت محدودی برای مقابله با آنها وجود دارد. در حال حاضر به‌طورکلی کاهش کل اثرات مخاطره یا فاجعه بسیار دشوار است (Mechler et al., 2010).

۱۰-۳- تأثیرات اقتصادی تغییر آب و هوا طی دوره مشاهداتی و آینده

تغییر آب و هوایی، عواقب فراوان اجتماعی واقتصادی خواهد داشت که نه تنها بر بخش‌های عمده اقتصادی نظیر کشاورزی، انرژی و یا مراقبت های بهداشتی تأثیر می‌گذارد، بلکه باعث تغییرات در عرضه و تقاضا برای کالاها و خدمات در تمام بخش های اقتصاد خواهد شد. درجه حرارت بالاتر، افزایش سطح دریا و سایر تغییر آب و هوایی (تغییرات در الگوهای بارندگی منطقه‌ای، چرخه آب، فراوانی و شدت حوادث حدی آب و هوایی) نیز بر جنبه‌های دیگر زندگی نظیر امنیت انسان، سلامت و رفاه، فرهنگ، توانایی‌های مردم و کیفیت محیط‌زیست تأثیر می‌گذارد که عمدتاً مرتبط با فعالیت اقتصادی نیستند.

جدول ۱۰-۱ اثرات آب و هوایی بر هر بخش که در گزارش‌ها در نظر گرفته شده است را ارائه می‌دهد. مهم است که توجه داشت که این زیرمجموعه‌ی همه تأثیرات تغییر آب و هوایی است. همه این دسته بندی‌ها تأثیری کاملاً جداگانه ندارند و همیشه نمی‌توانند به وضوح از یکدیگر جدا شوند. برای مثال، رویدادهای حدی نه تنها بر سلامت انسان، زمین و سرمایه آسیب می‌رسانند، بلکه ممکن است مردم را به مهاجرت به مکانهای دیگر به عنوان یک شکل از سازگاری مجبور کنند؛ رویدادهای حدی نیز می‌توانند موجب آسیب های طولانی‌مدت برای کسانی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر پیامدهای طولانی‌مدت قرار می‌گیرند، شوند. کشاورزی به شدت وابسته به اکوسیستم ها و دسترسی به آب است، در حالی که خسارات در مناطق ساحلی، بر اکوسیستم‌ها، معیشت و کشاورزی، تأثیر می‌گذارد (OECD, 2015).

جدول۱۰-۱: طبقه‌بندی اثرات اقتصادی تغییر آب و هوا(OECD, 2015)

کشاورزی	تغییر در بازدهی محصولات مرگ و میر دام‌ها و امراض ناشی از امواج گرما و سرما تغییر در تولیدات شیر و لبنیات تغییر در تولیدات کشاورزی تغییر در صید ماهی
نواحی ساحلی	خسارات در نواحی خشکی و پایتخت ناشی از افزایش سطح آب دریا اثرات بر روی فعالیت‌های غیر بازاری در نواحی ساحلی
رخدادهای حدی	مرگ و میر و خسارات به خشکی و پایتخت ناشی از هوریکانها مرگ و میر و خسارات به خشکی و پایتخت ناشی از سیلها
سلامت	مرگ و میر ناشی از مواجه با گرما مرگ و میر ناشی از مواجه با امواج گرما و سرما مرگ و میر ناشی از بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین و دیگر ناقلین از آب و غذا و بیماری‌های تنفسی و قلبی
تقاضای انرژی	تغییر در تقاضای انرژی برای گرمایش و سرمایش
تقاضای توریسم	تغییر در جریان و سرویس‌دهی به گردشگران
اکوسیستم‌ها	کاهش تنوع زیستی و اکوسیستم‌ها تغییرات در بازدهی گیاهان جنگلی
تنش‌های آبی	تغییر در تأمین انرژی تغییر در دسترسی به آب آشامیدنی و مصرف‌کنندگان نهایی
امنیت انسآنها	نزاع و درگیری مهاجرت انسآنها
دیگر موارد	رخدادهای بزرگ‌مقیاسِ مزاحم

- **کشاورزی**

تغییر آب و هوایی بر بخش‌های مختلف از جمله تولید محصول، دامداری، مرتع و آبزی‌پروری تأثیر خواهد داشت. اثرات تغییر آب و هوایی (از جمله تغییرات دما و الگوهای بارندگی منطقه‌ای) بر بهره‌وری محصول، به طور جامع‌تری مورد مطالعه قرار گرفته است و این نشان می‌دهد که در سطح جهانی این اثرات تا حد زیادی با توجه به سطح متوسط تا شدید گرمایش، منفی است (Rosenzweig et al., 2013). با این وجود، در سطح منطقه‌ای، تفاوت‌های بزرگی بین مناطق وجود دارد به طوریکه در برخی نقاط تأثیرات مثبت و در برخی از آنها تأثیرات منفی وجود دارد. تغییرات بارندگی، دی اکسید کربن اتمسفر و غلظت ازن، تغییرات شیوع آفات و بیماری، و رویدادهای حدی ناشی از تغییر آب و هوایی احتمالاً بر فعالیت‌های کشاورزی آینده گاهی به‌طور مثبت و گاهی به‌طور منفی تأثیر می‌گذارند. بر طبق گزارش هیئت بین الدول تغییر آب و هوا (IPCC, 2014)، احتمال بالایی وجود دارد که غلظت بالاتر دی اکسید کربن جو، اثرات محرکی بر عملکرد محصول (حتی علف‌های هرز) داشته باشد، در حالی که سطح بالاتری از ازن احتمالاً آسیب بالاتری خواهد زد. علاوه بر این، تغییر آب و هوایی ممکن است پیامدهای زیادی با توجه به نحوه انجام کشاورزی، از جمله حفاظت از روستاها، امنیت غذایی و حفظ تنوع زیستی، داشته باشد. همه این موارد زیانهای اقتصادی زیادی را به جامعه تحمیل می‌نماید.

علی‌رغم سهم نسبتاً کوچک بخش کشاورزی در تولید ناخالص داخلی در اکثر کشورها، سهم بخش کشاورزی در کاهش کل تولید ناخالص داخلی، قابل توجه است، زیرا پیش‌بینی می‌شود که تغییر آب و هوایی به طور قابل ملاحظه‌ای این بخش را تحت تأثیر قرار دهد (افت ارزش افزوده کشاورزی جهانی تا سال ۲۰۶۰ به ۹ درصد می‌رسد).

- **مناطق ساحلی**

مناطق ساحلی یا سیستم‌های ساحلی شامل اکوسیستم‌های طبیعی (سواحل، صخره‌ها، تالآبها، و غیره) و سیستم‌های انسانی (شهرک‌ها، شهرها، بندرها، تولید مواد غذایی و ...) هستند. آنها شامل ویژگی‌های ساحلی مشخص و اکوسیستم‌ها، و همچنین محیط ساخته‌شده، فعالیت‌های انسانی و مؤسساتی است که این فعالیت‌های انسانی را سازمان‌دهی می‌کنند (IPCC, 2014)، محرکهای مربوط به تغییر آب و هوایی می‌توانند بر روی این سیستم‌ها تأثیر بگذارند. فراتر از تغییرات احتمالی در فراوانی و شدت توفان، افزایش بارش، افزایش درجه حرارت اقیانوس و اسیدی شدن اقیانوس، افزایش سطح دریا به طور بالقوه مهمترین عامل آسیب به مناطق ساحلی است. افزایش سطح دریا می‌تواند بر روی بازار و کالاها و خدمات غیر بازاری در مناطق ساحلی، از طریق رویدادهایی مانند امواج توفان، فرسایش، نفوذ آب شور و فرسایش ساحلی، تأثیرات منفی بگذارد. هر دو سیستم طبیعی و انسانی تحت تأثیر افزایش سطح دریا قرار خواهند گرفت.

انتظار می‌رود که افزایش سطح دریا تأثیر غیر بازاری قابل توجهی را بر روی زیستگاه‌های طبیعی و اشکال جغرافیایی در مناطق ساحلی، به عنوان مثال در سواحل و تالابها داشته باشد. برای جنوب سواحل کالیفرنیا، پندلتون و همکاران خسارات مازاد ناشی از غرقابی دائمی از افزایش سطح دریا را به میزان ۱ متر، به طور متوسط تا ۶۳ میلیون دلار در سال و ۳۷ میلیون دلار در سالهای بسیار توفانی برآورد کرده‌اند(Pendleton et al., 2009).

آسیب‌های اقتصادی به مناطق ساحلی و تقاضای گردشگری کمتر است، که به ترتیب به میزان ۰/۲درصد و ۰/۱درصد از تولید ناخالص داخلی است. تأکید می‌شود که این هزینه‌های اقتصادی کامل این بخش‌ها نیست. تغییر آب و هوا در مناطق ساحلی، احتمالاً در دهه‌های بعد تأثیرات بیشتری خواهد داشت؛ بین سال های ۲۰۴۰ و ۲۰۶۰، افزایش آسیب های منطقه ساحلی حتی از کشاورزی فراتر خواهد رفت (OECD, 2015).

- **رخدادهای حدی**

تغییرات منطقه‌ای ممکن است به شدت تحت تأثیر تغییر آب و هوایی باشد، اگرچه تغییرات منطقه‌ای متفاوت است. فعالیت‌های سیکلونهای گرمسیری، از جمله توفان، به احتمال زیاد تا پایان قرن ۲۱ در پی افزایش میانگین دمای سطحی جهانی به شدت افزایش می‌یابد (IPCC, 2014). هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا گزارش نمود که با افزایش دما، رخدادهای بارش حدی در بیشتر خشکی‌های عرض‌های متوسط و مناطق مرطوب گرمسیری تا پایان قرن حاضر بسیار حدی و مکرر خواهند شد. به طور مشابه، تعداد و شدت سیلابهای رودخانه همچنین در اکثر حوضه‌های رودخانه افزایش خواهد یافت. کاهش بارش و افزایش تبخیر می‌تواند منجر به خشکسالی شود که در برخی مناطق و فصول طولانی‌تر یا مکررتر می‌گردد (IPCC, 2014)، پیش‌بینی می‌شود که این روند و آسیب‌های مرتبط با آن، باعث افزایش هزینه‌های اقتصادی نسبت به سناریوهای بدون تغییر آب و هوا شود. کانال‌های مستقیم اصلی که این آسیب‌ها را تجربه می‌کنند، شامل تأثیرات بر سرمایه فیزیکی (مانند کارخانه‌ها، خانه‌ها، خیابانها و پل‌ها، ماشین‌آلات، شبکه‌های کامپیوتر، حتی زیرساخت‌های انرژی)، زمین (به عنوان مثال منابع طبیعی) و کار (یعنی نیروی کار) می‌باشند. این حوادث همچنین به اثرات غیرمستقیم اقتصادی برای مثال از طریق اختلال در تأمین برق و یا حمل‌ونقل و یا وقفه‌ی موقت در تقریباً تمام فعالیت‌های اقتصادی محلی منجر می‌شود. افزایش شدت رویدادهای حدی در نتیجه تغییر آب و هوایی نیز منجر به مرگ و میر ناگهانی می‌شود و مردم را مجبور می‌کند تا خانه های خود را ترک کنند و به طور موقت یا دائمی به مکانهای دیگر حرکت کنند و بر سلامت و رفاه تأثیر گذار است. آنها همچنین بر اکوسیستم ها و خدماتی که ارائه می‌دهند، تأثیر می‌گذارد.

مندلسون و همکاران یافته‌اند که آسیب‌های فعلی سالانه‌ی جهانی از سیکلون‌های حاره‌ای ۲۶ میلیارد دلار است که برابر با ۰/۰۴درصد از تولید ناخالص داخلی جهانی است و تقریباً تا پایان قرن

تحت شرایط فعلی آب و هوایی به میزان دو برابر این رقم به دلایلی نظیر تغییرات در شرایط اجتماعی-اقتصادی می‌رسد (Mendelsohn et al., 2012).

پیش بینی می‌شود که شمار تلفات جهانی از استرسهای گرمایی از سالانه کمتر از ۱۵۰ هزار نفر در آب و هوای کنونی تا بیش از یک میلیون در سال ۲۰۵۰ و نزدیک به ۳ میلیون تا سال ۲۰۸۰ افزایش یابد(OECD, 2015).

شکل ۱۰-۱ خسارات پیش بینی شده آب و هوای شهری از سیلابها تا سال ۲۰۸۰ را نشان می‌دهد. دو کشور که بیشترین آسیب‌های سیل شهری در آنها پیش بینی شده است، هند و چین هستند. محرک اصلی این امر افزایش زیادی در سرمایه‌های شهری است که در این کشورها وجود دارد. مقیاس خطرات سیلاب در این کشورها و آسیب‌های ناشی از تغییر آب و هوایی نیز بسیار زیاد است. بنگلادش نیز در رتبه‌بندی بالایی از کشورهای آسیب دیده قرار دارد. در برخی کشورها این تغییرات برعکس است مثلاً اندونزی، روسیه، تایلند و کشورهای اصلی نیل، کشورهایی هستند که خطر سیل در حال حاضر نسبتاً بالا است اما خسارات پیش بینی شده از تغییر آب و هوایی منفی است. برای کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، آسیب‌های ناشی از آب و هوای شهری تا سال ۲۰۸۰ به کمتر از ۵۰ میلیارد دلار محدود می‌شود. این بدان معنی نیست که خسارات کل شهری، به عنوان مثال ناشی از آب و هوا یا غیر آب و هوا، بسیار کوچکتر از مناطق غیر سازمان همکاری و توسعه اقتصادی است. به عنوان مثال، مجموع خسارات تا سال ۲۰۸۰ در ایالات متحده به ۱۷۰ میلیارد دلار، در مکزیک به ۵۸ میلیارد دلار، در آلمان ۲۰ میلیارد دلار و در هلند به ۱۷ میلیارد دلار، خواهد رسید، اما مؤلفه آب و هوایی این آسیب‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از بسیاری کشورهای غیر عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی است.

شکل۱۰-۱: خسارات (برحسب میلیارد دلار امریکا) تغییر آب و هوایی شهری ناشی از سیلابها تا سال ۲۰۸۰ (OECD, 2015)

- **سلامت**

تأثیرات سلامت تغییر آب و هوایی شامل اثرات مستقیم و غیرمستقیم، از جمله: مرگ و میر مرتبط با گرما و سرما و بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین و یا منتقله از آب غـذا؛ و تغییـر در آلـودگی هـوا و آلرژن‌ها، می‌باشد. همچنین تهدیدات مرتبط با زیرساخت‌های بهداشـتی و بهداشـت حرفـه‌ای (WHO, 2014; 2012) وجود دارد. هزینه‌های اقتصادی اثرات سلامت به راحتی قابل ارزیابی نیسـت زیـرا شـامل هزینه‌های بازاری و غیر بازاری است. به عنوان مثال هزینه‌های بروز بیماری شامل تأثیرات بازاری، مانند اثرات بیماری‌ها بر بهره‌وری کار، و اثرات غیر بازاری، مانند هزینه‌های درد و رنج است.

شواهدی نشان می‌دهند که کاهش رخدادهای حدی سـرد (امـواج سـرما) مـرگ و میـر را کـاهش خواهد داد. بوسلو و همکاران، نشان داده‌اند که کفه‌ی ترازوی کاهش مرگ و میرهای زمستانی مرتبط با تغییر آب و هوایی می‌تواند سنگین‌تر از کفه‌ی ترازوی اثرات منفی مرگ و میر ناشـی از امـواج گرمـا در بسیاری از نقاط باشد (Bosello et al., 2006). همچنین آنها پیش بینی کرده‌اند کـه در اتحادیـه اروپـا، ایالات متحده، کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق، ژاپن، چین و هند، کاهش مـرگ و میر ناشی از امواج سرما که خود را به‌صورت بیماری قلبـی نشـان مـی‌دهـد بسـیار بیشـتر از مـرگ و میرهای مرتبط با امواج گرما تا سال ۲۰۵۰ است. در کل، آنها پیش بینی می‌کنند که تغییر آب و هوایی می‌تواند تا اواسط قرن بیستم منجر به کاهش مرگ و میر به میزان ۸۴۹۲۵۲ نفر شود.

به همین ترتیب، واتکیس و هانت دریافتند که کاهش میزان مرگ و میر زمسـتانه‌ی اتحادیـه اروپـا ناشی از تغییر آب و هوایی بیشتر از افزایش در میزان مرگ و میر تابستان در اکثر دوره‌ها در میان‌مدت (۲۰۱۰-۲۰۱۱) و بلندمدت (۲۱۰۰- ۲۰۷۱) است (Watkiss and Hunt, 2012).

- **تقاضای انرژی**

تقاضا برای انرژی نیز تحت تأثیر تغییر آب و هوایی قرار خواهد گرفت. کانال‌های اصلی بـرای تغییـر تقاضای انرژی از طریق کاهش نیاز به حرارت در زمستان و افزایش نیاز به خنک کننـده هـا در تابسـتان عمل می‌کنند. تأمین انرژی نیز ممکن است با کمبود آب مختل شود، و این به نوبـه خـود بـر تقاضـای انرژی تأثیر می‌گذارد(OECD,2015).

به طور کلی، تقاضای جهانی انرژی برای خنک‌سازی در سال ۲۰۱۰ تـا ۲۰۶۰، در سـناریوی بـدون تغییر آب و هوایی، تا ۲۵۰ درصد و در مقایسه با سناریوی با تغییر آب و هوایی تا ۳۳۰ درصـد افـزایش خواهد یافت. افزایش تقاضا برای گرمایش بسیار پایین است و پیش بینـی مـی‌شـود تـا سـال ۲۰۶۰ در سناریوی بدون تغییر آب و هوا افزایش ۱۶ درصدی و در سناریوی بـا تغییـر آب و هـوایی، افـزایش ۴۲ درصدی داشته باشد. این افزایش با هزینه‌های بسیار زیـادی بـرای کشـورهای مختلـف همـراه خواهـد بود(OECD, 2015).

- **گردشگری**

اثرات تغییر آب و هوایی ناشی از تغییرات در شرایط آب و هوایی محلی، ایجاد موقعیت‌های خاص توریستی است. به عنوان مثال، اسکی در آلپ نمونه خوبی است. ممکن است مقدار بارش به‌صورت برف کاهش یابد و هزینه‌های بالای ارائه برف مصنوعی باعث افزایش قیمت اسکی در آلپ شود. این موارد باعث تغییر در جریان گردشگری داخلی و بین‌المللی و همچنین تغییرات در هزینه‌های آن می‌شود(OECD, 2015).

اثرات منطقه‌ای برای گردشگری بسیار مهم است، زیرا در بعضی از کشورها تأثیرات منفی و در برخی دیگر تأثیرات مثبت ثبت شده است. کشورهایی که بیشترین میزان درآمد گردشگری را تا سال ۲۰۶۰ نسبت به سناریوی پایه دارند عبارت‌اند از: کانادا (۹۲+ درصد)، روسیه (۶۶+ درصد) و ایالات متحده (۲۱+ درصد). تأثیرات مثبت کمتر (حدود ۱۰+ درصد) نیز در شیلی و ژاپن رخ می‌دهد. بزرگ ترین اثرات منفی در آمریکای لاتین، به استثنای شیلی و برزیل (۲۷- درصد)، مکزیک (۲۵- درصد) و همچنین آفریقا، به استثنای آفریقای جنوبی، چین، آسیای جنوب شرقی و کشورهای در حال توسعه در آسیا (با اثرات تقریباً ۲۰- درصد) رخ می‌دهد. تأثیرات منفی کمتری نیز در آفریقای جنوبی (۱۴- درصد)، اندونزی (۱۳- درصد)، در مناطق سازمان همکاری و توسعه اقتصادی اتحادیه اروپا (۹- درصد) و منطقه خزر (۷- درصد) پیش بینی می‌گردد. کشورهای دیگر اثرات بسیار کمتری دارند. در کشورهایی که اثرات منفی وجود دارد هزینه‌های ناشی از کاهش جمعیت گردشگر بر درآمد داخلی‌شان تأثیرات بسزایی خواهد گذاشت(OECD, 2015).

- **اکوسیستم‌ها**

اکوسیستم‌ها بر روی خشکی و در آب، بسیاری از خدمات ارزشمند را برای انسان و سایر گونه‌ها شامل عرضه مواد غذایی، مواد خام، آب و هوا و کیفیت هوا، زیستگاه گونه‌ها و فرصت‌هایی برای زیبایی‌شناسی و الهام بخشی (TEEB, 2014) ارائه می‌دهند.

انتظار می‌رود که تغییر آب و هوایی، تحت تأثیر فشارهای بیشتر قرار گیرد - به طور مستقیم و غیرمستقیم- و با تعامل و تشدید عوامل تشدیدکننده دیگر مانند توسعه انسانی، خدمات اکوسیستمی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گرمایش، به عنوان یک محرک بزرگ مستقیم آب و هوا و تغییرات در حوادث حدی، به احتمال زیاد تنوع زیستی و فراوانی گونه ها را کاهش می‌دهد و یا در صورت امکان گونه های خاصی (هم حیوانات و هم گیاهان) را به تغییر عرض به سمت عرض‌های بالاتر یا ارتفاعات بالاتر برای سازگاری با دماهای قابل تحمل به منظور افزایش احتمال زنده ماندن مجبور می‌کند. مهاجرت به سمت شمال ماهی و پرندگان (و به طور کلی گونه‌های درخت) یک مثال در پاسخ به گرمایش در نیمکره شمالی است. بارش سنگین، به نوبه خود، ممکن است به عنوان یک اثر غیر مستقیم با سرعت بخشیدن به فرسایش مناطق جنگلی که تحت فشار قرار گرفته‌اند بر اکوسیستم‌ها تأثیر بگذارد. تغییرات در

دسترس بودن و کیفیت خدمات اکوسیستم نیز بر عملکرد بخش‌های اقتصادی، به ویژه بخش کشاورزی، جنگلداری و ماهیگیری تأثیر خواهد گذاشت.

تا سال ۲۰۶۰، مناطقی با بیشترین میزان تمایل به پرداخت هزینه (WTP[1]) برای اکوسیستم‌ها که حدود یک درصد تولید ناخالص داخلی در سناریوی RCP8.5 هستند، اقتصادهای بزرگی مانند ژاپن، کره، ایالات متحده، کانادا، مکزیک، آفریقای جنوبی و همچنین بسیاری از کشورهای اروپایی هستند. WTP در شیلی و بقیه آمریکای لاتین، چین، روسیه، خاورمیانه و مناطق سازمان همکاری و توسعه اقتصادی کمتر از ۰/۳درصد تا ۰/۷درصد از تولید ناخالص داخلی است. سایر مناطق، دارای WTP بسیار کوچک هستند، که کمترین میزان آن در کشورهای آفریقایی جنوب صحرای آفریقا است. این توزیع از ارزش WTP شگفت‌آور نیست، زیرا پرداخت هزینه خدمات اکوسیستم به طور مستقیم با درآمد متوسط ارتباط دارد. از این رو طبیعی است که WTP برای خدمات اکوسیستم در کشورهای ثروتمند مانند ایالات متحده یا کانادا بالاتر است و در مناطق دیگر جهان مانند آفریقا نیز به سختی وجود دارد (OECD, 2015).

- **تنش‌های آبی**

تنش‌های آب و کمبود آب تأثیرات گسترده‌ای بر تمام فعالیت‌های زیستی و غیر زیستی زندگی می‌گذارد و در صورت تنش آبی، خشکسالی و دیگر رخدادها چهره اصلی خود را نمایان می‌کنند و خسارات غیر قابل جبرانی در پی این تنش‌ها قابل بررسی است.

مطالعه صورت گرفته توسط هندرسون و همکاران تلاش کرده است که اثرات اقتصادی تغییر آب و هوا در منابع آب در ایالات متحده، چندین نوع از مصرف آب از طریق آبیاری و خنک‌کننده‌ها را برآورد نماید(Henderson et al., 2015). آنها خسارات سالانه معادل ۲/۱ میلیارد دلار تا سال ۲۰۵۰ را تخمین زده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که بیشترین تأثیرات بر فعالیت‌های غیر مصرفی مانند نیروگاه‌های آبی و جریانهای محیطی باشد؛ کشاورزی و سایر کاربردهای مصرفی تحت تأثیر تغییر آب و هواییِ کمتر منفی قرار خواهد گرفت. همچنین آنها اثرات اقتصادی تغییر آب و هوا در منابع آب ایالات متحده، چندین نوع از مصرف آب از طریق آبیاری و خنک‌کننده‌ها را در سال ۲۱۰۰ به مبلغ ۴/۲ میلیارد دلار بدون سیاست‌های جدید تغییر آب و هوا تخمین زده‌اند.

۱۰-۴- سازگاری با اقتصاد تغییر آب و هوا در مقیاس جهانی

راهکارهای زیر به عنوان مهمترین روش‌های سازگاری در سطح جهانی مطرح شده است:

۱- برآورد هزینه‌های سازگاری مرتبط با هر بخش

۲- هویت یابی سیاست‌های مناسب برای کاهش و سازگاری

[1] willingness to pay

۳- مشخص نمودن سطوح مصرف و کاهش گازهای گلخانه‌ای در مکانهایی که رخدادهای حدی به وقوع پیوسته است
۴- تشویق برای تحقیق در زمینه سناریوهای مختلف
۵- استفاده از مدل‌های برآورد خسارات

۱۰-۵- ابعاد اقتصادی خسارت‌های تغییر آب و هوا در کشور

مطالب گذشته نشان داد که تغییرات آب و هوا از جهت‌های مختلف کشور را تحت تاثیر قرار خواهد داد. مهمترین این ابعاد عبارتند از تاثیر در منابع آب، کشاورزی، سلامت، گردشگری، تنوع زیستی، پوشش گیاهی و انرژی. بطور مسلم خسارت وارده به هریک از این ابعاد دارای ارزش اقتصادی زیادی خواهد بود که باید بر اساس یک چارچوب مشخص این خسارت‌ها برآورد شود.

۱۰-۶- خسارت‌های مالی مخاطرات آب و هوایی ناشی از تغییر آب و هوا در کشور

جدول ۱۰-۲ مجموع فراوانی خسارت‌های مالی ناشی از ۱۳ نوع مخاطره رخداده در کشور در سال ۱۳۹۰-۱۳۷۰را نشان می‌دهد (اسدی، ۱۳۹۶). بر مبنای بررسی جدول مشخص است در طی دوره آماری مخاطره‌های رخداده مجموعاً ۳۶۴۹۴۶۱/۰۴ واحد خسارت مالی وارد کرده است. عمده‌ترین درصد فراوانی خسارت‌ها مربوط به استانهای سیستان و بلوچستان با ۲۲/۶۰۳ درصد اول، چهارمحال و بختیاری با ۲۱/۳۲۳ درصد دوم، فارس با ۱۵/۸۷۲ درصد سوم و خوزستان با ۱۲/۴۹۹ درصد چهارم بوده است. بقیه استانها مقداری کمتر از ۵ درصد را ثبت کردند. از مجموع کل فراوانی ۳۶۴۹۴۶۱/۰۴ مورد خسارت وارد شده عمده‌ترین خسارت‌های وارد شده به ۴ استان ذکرشده به ترتیب استان سیستان و بلوچستان با ۸۲۴۹۱۷ واحد، چهارمحال و بختیاری با ۷۷۸۱۷۷ واحد، فارس با ۵۷۹۲۵۳ واحد و خوزستان با ۴۵۶۱۵۸ واحد بوده است.

مجموع ۱۳ نوع مخاطره رخداده در کشور ۱۰۵۰۰۵۵۰۰۰۰۰۰ میلیون ریال خسارت مالی وارد کرده است که از این مقدار استان مازندران با ۱۰۵۰۰۵۰۰۰۰۰۰ میلیون ریال بیشترین میزان خسارت و استان البرز با ۲۱۷۷۲/۱۲ میلیون ریال کمترین میزان خسارت را داشته است.

بیشترین تعداد کشته‌ها از مجموع ۱۴۶۲ نفر کشته در اثر ۱۳ نوع مخاطره رخداده در کشور استان خراسان شمالی با ۱۵۰ نفر، خراسان رضوی و آذربایجان غربی هرکدام با ۱۱۶ نفر و گلستان با ۱۰۴ تعداد کشته بوده است و کمترین تعداد کشته‌ها در استآنهای البرز و ایلام و تهران با ۷ نفر، سمنان و قم با ۴ نفر و یزد با ۳ نفر کشته بوده است.

بیشترین تعداد مصدومین از مجموع ۱۷۷۷ نفر مصدوم بر اثر ۱۳ نوع مخاطره رخداده در کشور استان اردبیل با ۳۱۸ نفر، خوزستان با ۲۷۴ نفر، مازندران با ۲۰۶ نفر و کمترین تعداد مصدومین در استآنهای کرمانشاه و همدان هرکدام با یک نفر مصدوم بوده است و در استآنهای خراسان جنوبی، سمنان، قزوین، مرکزی نیز مصدومی نداشته است.

شکل ۱۰-۲ میزان خسارت‌های مالی مخاطره‌های رخداده در کشور را نشان می‌دهد. استانهای آذربایجان شرقی، زنجان، قزوین، البرز، تهران، قم، مرکزی، کرمانشاه، ایلام، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر و خراسان شمالی با کمترین میزان خسارت در طبقه اول قرار دارند. استانهای آذربایجان غربی، کردستان، لرستان، گلستان، سمنان، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان و هرمزگان در طبقه دوم قرار دارند. استانهای اردبیل، گیلان، خراسان رضوی، یزد، کرمان، فارس و خوزستان در طبقه سوم قرار دارند. استان اصفهان در طبقه چهارم قرار دارد. استان مازندران با بیشترین میزان خسارت در طبقه پنجم قرار دارد. با توجه به نوع آب‌وهوا و فراوانی خسارت‌ها و میزان خسارت‌های برآورد شده علاوه بر دلایل آب‌وهوایی می‌توان اشاره کرد که نوع زیرساخت‌ها و عدم پیش‌بینی به‌موقع و دقیق و عدم اطلاع‌رسانی به‌موقع سبب شده شدت خسارت‌ها بیش از حد انتظار باشد.

بیشترین میزان خسارت از مخاطره‌های رخداده در کشور در اثر مخاطره سیل بوده است؛ در اثر مخاطره گردوغبار نیز خسارتی ثبت‌نشده است. بیشترین میزان خسارت مخاطره سیل در استان مازندران بوده است.

جدول ۱۰-۲: توزیع مکانی خسارت‌های ناشی از مخاطره‌های رخداده در کشور(۱۳۹۰-۱۳۷۰)

کل مخاطره‌ها/ استان	مجموع فراوانی	درصد فراوانی	میزان خسارت به میلیون ریال	کشته	مصدوم
آذربایجان شرقی	۲۵۴۶۰	۰/۶۹۷	۵۷۲۴۱۳/۴۱	۹۱	۵۰
آذربایجان غربی	۶۴۱۱۷	۱/۷۵۶	۹۱۰۱۶۲/۸۶۵	۱۱۶	۹
اردبیل	۷۱۷۸۴	۱/۹۶۶	۲۳۶۱۳۵۱/۹۵	۶۶	۳۱۸
اصفهان	۱۸۳۹۵/۵	۰/۵۰۴	۱۱۱۰۲۰۴۷/۰۸	۲۰	۷۷
البرز	۱۵۶۸	۰/۰۴۲	۲۱۷۷۲/۱۲	۷	۹
ایلام	۳۷۸۲	۰/۱۰۳	۳۵۷۰۹۵	۷	۳۹
بوشهر	۲۵۲	۰/۰۰۶	۹۳۱۰۶/۴۶	۶۸	۹
تهران	۸۹۳	۰/۰۲۴	۷۵۷۱۷/۶۸	۷	۲۱

کل مخاطره‌ها/ استان	مجموع فراوانی	درصد فراوانی	میزان خسارت به میلیون ریال	کشته	مصدوم
چهارمحال و بختیاری	۷۷۸۱۷۷	۲۱/۳۲۳	۴۶۲۸۲۴/۵۷	۵۵	۱۳۳
خراسان جنوبی	۵۰۶۹۵	۱/۳۸۹	۱۴۱۴۸۶۶/۷۶	۱۱	۰
خراسان رضوی	۸۰۷۸۰/۵	۲/۲۱۳	۲۷۴۹۰۲۷/۲۹۵	۱۱۶	۱۳۵
خراسان شمالی	۳۰۰۲۴	۰/۸۲۲	۵۲۶۱۶۸/۹	۱۵۰	۸
خوزستان	۴۵۶۱۵۸	۱۲/۴۹۹	۲۹۲۵۹۵۵/۵۲۴	۶۴	۲۷۴
زنجان	۸۹۱۶	۰/۲۴۴	۱۳۸۳۸۶/۱۷	۲۳	۱۱
سمنان	۳۰۱۹	۰/۰۸۲	۷۲۰۵۱۳/۲	۴	۰
سیستان و بلوچستان	۸۲۴۹۱۷	۲۲/۶۰۳	۱۰۷۳۶۶۹/۵۲	۸۰	۷۱
فارس	۵۷۹۲۵۳	۱۵/۸۷۲	۵۱۲۶۷۱۵/۲۵	۵۳	۳۹
قزوین	۳۳۲	۰/۰۰۹	۱۵۱۱۶۰/۹۳	۳۷	۰
قم	۱۰۳۸	۰/۰۲۸	۳۷۲۴۵۰	۴	۱۰
کردستان	۲۳۴۵۲	۰/۶۴۲	۶۹۷۸۵۲/۷۵	۲۹	۱۸۰
کرمان	۱۶۳۵۰۵	۴/۴۸۰	۴۸۴۶۸۵۶/۳۹	۲۴	۳۴
کرمانشاه	۷۰۷۱	۰/۱۹۳	۲۷۵۵۳۴/۸۶۵	۲۶	۱
کهگیلویه و بویراحمد	۱۵۴۷۹	۰/۴۲۴	۳۵۹۲۷۱/۴۰۵	۴۴	۱۹
گلستان	۱۳۵۶۴	۰/۳۷۱	۱۱۹۸۹۱۶/۴۵	۱۰۴	۱۴
گیلان	۵۱۷۱۹	۱/۴۱۷	۲۳۳۳۳۷۰/۹۱۸	۹۱	۶۳
لرستان	۸۶۶۰	۰/۲۳۷	۱۲۵۵۴۵۶/۸۷۵	۲۵	۱۳
مازندران	۱۵۵۹۸۶	۴/۲۷۴	۱۰۵۰۰۵۰۰۰۰۰۰	۷۶	۲۰۶
مرکزی	۳۱۰۱	۰/۰۸۴	۶۶۲۷۳/۳۵	۱۱	۰
هرمزگان	۶۳۱۹۰/۱۸	۱/۷۳۱	۱۴۹۲۸۴۷/۳۲	۲۹	۲۱
همدان	۵۸۰۷۲	۱/۵۹۱	۲۸۵۳۱۳۰/۰۶	۲۱	۱
یزد	۸۶۱۰۰/۸۶	۲/۳۵۹	۲۷۵۹۲۷۳/۸۶	۳	۱۲
مجموع	۳۶۴۹۴۶۱/۰۴	۱۰۰	۱۰۵۰۵۵۰۰۰۰۰۰	۱۴۶۲	۱۷۷۷

شکل۱۰-۲: نقشه میزان خسارت‌های مالی مخاطره‌های رخ‌داده در کشور

از نظر توزیع زمانی مخاطره‌های رخ‌داده در کشور، بیشترین میزان خسارت در اثر مخاطره سیل در سال ۱۳۷۳ با ۱۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰ میلیون ریال بوده است و کمترین میزان خسارت در سال ۱۳۷۰ بوده است و مخاطره گردوغبار خسارت مالی نداشته است. بر اساس مطالعات انجام شده میزان خسارت‌ها در طی دوره‌ی آماری روند کاهشی داشته است که این با توجه به گرمایش جهانی و وجود خسارت‌هایی با شدت بیشتر کمی جای تأمل دارد، از دلایل آن می‌توان نقص در داده‌ها یا استحکام بیشتر در ساخت‌وسازها، پیش‌بینی‌های به نسبت دقیق‌تر و آگاهی مردم باشد.

جدول ۱۰-۳ میزان خسارت‌های ناشی از مخاطره‌های رخداده در استآنهای کشور را نشان می‌دهد. بیشترین میزان خسارت از مجموع ۱۰۵۰۵۵۰۰۰۰۰۰ میلیون ریال خسارت مالی واردشده در اثر مخاطره سیل با ثبت میزان ۹۹/۹۵۳ درصد بوده است و مخاطره گردوغبار خسارتی نداشته است. از مجموع ۱۴۶۲ نفر کشته در کل کشور، مخاطره سیل با ۸۹۹ نفر بیشترین تعداد کشته‌ها را داشته و مخاطره‌های خشکسالی، پیشروی دریا، گردوغبار کشته‌ای نداشته‌اند. از مجموع ۱۷۷۷ نفر مصدوم در کل کشور، مخاطره سیل با ۶۹۶ نفر بیشترین تعداد مصدومین را داشته و مخاطره‌های خشکسالی،

پیشروی دریا و گردوغبار مصدومی نداشته‌اند. بیشترین میزان خسارت‌های مالی، کشته‌ها و مصـدومین در اثر مخاطره سیل بوده و مخاطره گرد و غبار هیچ خسارت مالی نداشته است.

جدول۱۰-۳: میزان خسارت‌های اقتصادی مخاطرات آب‌وهوایی در کل استانهای کشور

نوع مخاطره / کل کشور	فراوانی	میزان خسارت به میلیون ریال	درصد میزان خسارت	کشته	مصدوم
سیل	۲۲۱۴۸۷۹/۴	۱۰۵۰۰۶۰۱۶۷۶۵/۲۲	۹۹/۹۵۳	۸۹۹	۶۹۶
باران شدید	۱۸۹۶۹۰/۴۶	۳۷۲۰۳۱۳/۳۱	۰/۰۰۳۵	۱۶۸	۷۳
خشکسالی	۸۹۹۱۳۴	۲۶۱۶۸۳۹۵/۱۰۴	۰/۰۲۴۹	۰	۰
برف	۲۷۶۱۹	۶۵۶۱۱۵۷/۳۰۵	۰/۰۰۶۲	۷۰	۷۱
توفان	۴۸۰۷۶/۱۸	۸۷۲۶۱۹۷/۰۷۸	۰/۰۰۸۳	۷۸	۲۸۸
تگرگ	۷۲۶۶۳	۳۶۸۷۷۲/۱۸	۰/۰۰۰۳	۳۵	۲۶
صاعقه	۵۱۷۰	۲۲۰۵۳۰	۰/۰۰۰۲	۱۳۰	۸۰
موج سرما	۹۳۶۲۹	۸۴۶۲۴۱۷/۷	۰/۰۰۸۰	۱۴	۴۲۵
موج گرما	۱۵۰۲۱	۱۱۳۴	۰/۰۰۰۰۱	۱	۵۰
باد	۲۴۵۹۵	۶۱۹۰۳۰/۲۸	۰/۰۰۰۵	۱۸	۳۱
بهمن	۱۴	۷۵۶/۲۵	۰/۰۰۰۰۰۷	۴۹	۴
پیشروی دریا	۵۸۸۵۷	۱۵۴۹۰۵/۸	۰/۰۰۰۱	۰	۰
گردوغبار	۰	۰	۰	۰	۳۲
مجموع	۳۶۴۹۳۴۸/۰۴	۱۰۵۰۵۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰	۱۴۶۲	۱۷۷۷

۱۰-۷- سازگاری در اقتصاد تغییر آب و هوا در کشور

۱-تهیه برنامه مدون برآورد خسارات با توجه به مدلهای اقتصادی مرتبط با تغییر آب و هوا

۲-هماهنگی بخشهای مختلف منابع آب، کشاورزی، انرژی و...

۳-تهیه گزارشهای دقیق از خسارات وارده بعد از هر رخداد حدی و کاربرد آنها در برنامه ریزیها

۴-پایش دقیق قبل و بعد از رخدادهای حدی

۵-آموزش همگانی در زمینه‌های مختلف مرتبط با بخش‌های مهم

منابع فصل دهم

اسدی قزانچی، ط، ۱۳۹۶. تحلیل اثرهای اقتصادی مخاطرات آب و هوایی در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی دکتر منوچهر فرج زاده.

خورسندی، ح و همکاران، ۱۳۸۵. پیش‌نویس راهنمای برآورد خسارت سیلاب، نشریه شماره ۲۹۶-الف.

صادقی، ح و امام قلی پور، سارا، ۱۳۸۷. مطالعه تأثیر بلایای طبیعی بر تولید ناخالص داخلی غیرنفتی در ایران، مجله تحقیقات اقتصادی.

فرج زاده، م، ۱۳۹۲. مخاطرات آب و هوایی ایران، انتشارات سمت.

Benito, G, Corominas Jordi and Manuel Moreno José., 2004: Impacts on Natural Hazards of Impacts on Natural Hazards of, Natural Hazards of Climatic Origin.

Brown, C.J., E.A. Fulton, A.J. Hobday, R.J. Matear, H.P. Possingham, C. Bulman, V. Christensen, R.E. Forrest, P.C. Gehrke, N.A. Gribble, S.P. Griffiths, H. Lozano- Montes, J.M. Martin, S. Metcalf, T.A. Okey, R. Watson, and A.J. Richardson., 2010: Effects of climate-driven primary production change on marine food webs: implications for fisheries and conservation. *Global Change Biology*, **16**, 1194-1212.

Bosello, F., R. Roson and R.S.J. Tol., 2006: "Economy-wide estimates of the implications of climate change: Human health", Ecological Economics, Vol. 58, pp. 579-591.

Hallegatte, S., 2013: The Indirect Cost of Natural Disasters and an Economic, Monchener Ruckversicherungs-Geo Risks Research, NatCatSERVICE.

Hallegatte, S and Przyluski, V., 2010: The Economic of Natural Disasters Concepts and Method, The World Bank Sustainable Development Network office of The Chief Economist.

Harris Jonathan M., Brian Roach and Annr-Marie Codur, 2015: The economic of global climate change, Global developmemt and environment instisie, Tufts University.

Henderson, J. et al., 2015: "Economic impacts of climate change on water resources in the coterminous United States", Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Vol. 20 (1), pp. 135-157.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

Kousky, C., 2012, Informing Climate Adaption: A Review of The Economic Costs of Natural Disasters Their Determinates and Risk Reduction option; Discussion paper.

Mechler, R, Hochrainer, S, Pflug, G, Lotsch, A, Williges, K, 2010: Assessing the Financial Vulnerability to Climate-Related Natural

Mendelsohn, R., K. Emanuel, S. Chonabayashi, and L. Bakkensen ,2012: "The Impact of Climate Change on Global Tropical Cyclone Damage", Nature Climate Change 2: 205-209.

OECD, 2015: The Economic Consequences of Climate Change, OECD Publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/9789264235410-e.

Pendleton, L. et al., 2009: "Estimating the Potential Economic Impacts of Climate Change on Southern California Beaches", draft paper prepared for the California Energy Commission and the California Environmental Protection Agency, www.energy.ca.gov/2009publications/CEC-500-2009-033/CEC-500- 2009-033-D.PDF.

Rosenzweig, C., J.W. Jones, J.L. Hatfield, A.C. Ruane, K.J. Boote, P. Thorburn, J.M. Antle, G.C. Nelson, C. Porter, S. Janssen, S. Asseng, B. Basso, F. Ewert, D. Wallach, G. Baigorria, and J.M. Winter., 2013: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, **170**, 166-182.

TEEB, 2014: "Ecosystem Services", website article of The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB), www.teebweb.org/resources/ecosystem services/ (accessed 15 March 2015).

Watkiss, P. and A. Hunt., 2012: "Projection of economic impacts of climate change in sectors of Europe based on bottom up analysis: human health", Climatic Change, Vol. 112, pp. 101-126.

WHO, 2012: Atlas of Health and Climate, World Health Organization and World Meteorological Organization, Geneva.

WHO, 2014: Quantitative Risk Assessment of the Effects of Climate Change on Selected causes of Death, 2030s and 2050s, World Health Organization, Geneva.