

دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مهندسی انرژی

عنوان پژوهش:  
تأثیر ریسک‌های اقلیمی بر  
همبست آب و هوا، زمین، انرژی و آب (CLEWs)

استاد: دکتر عباس رجبی قهنویه  
درس: قابلیت اطمینان و تحلیل ریسک

نگارنده:  
پرنیان احمدی

تابستان ۱۴۰۱

## فهرست

۱	مقدمه.....	۳
۲	تعریف موضوع پژوهش.....	۳
۲-۱	معرفی ابزار مورد استفاده.....	۵
2-2	معرفی منطقه مورد مطالعه.....	۷
۳	ریسک اقلیمی.....	۸
۳-۱	انواع ریسک‌های اقلیمی.....	۱۱
۳-۲	جنبه‌های مختلف تأثیر تغییرات اقلیمی.....	۱۴
۳-۳	شاخص جهانی ریسک اقلیمی ۲۰۲۱.....	۱۶
۴	اثرگذاری ریسک‌های اقلیم بر همبست CLEWS.....	۱۶
4-1	ریسک اقلیمی و زمین.....	۱۶
۴-۲	ریسک اقلیمی و انرژی.....	۱۸
4-3	ریسک اقلیمی و آب.....	۲۱
۴-۴	همبست آب، انرژی و غذا با در نظر گرفتن ریسک اقلیمی برای آفریقای جنوبی.....	۲۴
۵	فهرست منابع و مراجع.....	۲۷

## ۱ مقدمه

رشد سریع جمعیت و شهرنشینی همراه با توسعه اقتصادی جهانی، فشار زیادی بر منابع محدود سیاره ما، از جمله آب، انرژی، غذا، زمین و اکوسیستم وارد می‌کند. در این میان، رویکردهای همبست<sup>۱</sup> به طور همزمان تعاملات بین چندین بخش را بررسی می‌کنند. مطالعات کمی اخیر نشان داده‌اند که رویکردهای همبستی می‌توانند هم‌افزایی را آشکار کنند و مبادلات بین بخش‌ها را شناسایی کنند. هدف مطالعات همبست آب و انرژی در سطح کلان، ارزیابی و مدیریت آب و انرژی در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف است.

بحث صرفه‌جویی در آب و انرژی به یکی از مهم‌ترین پیش زمینه‌های توسعه پایدار در سراسر جهان تبدیل شده‌است. آب و انرژی به یکدیگر وابسته هستند و متقابلاً بر هم اثر می‌گذارند.

روش‌ها و ابزارهای زیادی برای تحلیل سیستم آب و انرژی وجود دارد. سیستم آب و هوا، زمین، انرژی و آب (CLEWS)<sup>۲</sup> ابزار اصلی مورد استفاده در این پژوهش است. ایده پشت این چارچوب از این قرار است: سیستم‌های زمین، انرژی و آب به شدت یکپارچه هستند و هر ارزیابی از این منابع باید به صورت یکپارچه انجام گیرد. در این ابزار، به جای توسعه یک ابزار تجزیه و تحلیل جدید، از روش‌های ارزیابی آزمایش شده برای هر یک از این سه منبع استفاده و ادغام شده‌اند. کلید این رویکرد، شناسایی نقاطی است که سیستم‌های منابع در آن تعامل دارند [۴].

در این ابزار تعاملات مدل آب، زمین و انرژی با آب و هوا در نظر گرفته می‌شود. میدانیم رویدادهای آب و هوایی شدید و نحوه شکل‌گیری آنها پیچیده است. هنگام تلاش برای توضیح علل باید عوامل مرتبط متعددی را در نظر گرفت. با این حال، علم به اندازه کافی توانسته است ثابت کند که تغییرات آب و هوایی تأثیر قابل توجهی بر رویدادهای شدید آب و هوایی دارد و فراوانی، شدت و مدت آنها را افزایش می‌دهد. تغییرات در معرض قرار گرفتن و آسیب‌پذیری، که اغلب به توسعه انسانی مربوط می‌شود، می‌تواند به شدت بر خطرات زیست محیطی تأثیر بگذارد. در حالی که ما این مشارکت را تایید می‌کنیم، در اینجا بر خطرات مربوط به آب و هوا تمرکز می‌کنیم [۱۵].

یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت منابع در سطح منطقه‌ای ممکن است نتایج مطلوب را به همراه داشته باشد. از آنجایی که منابع وسیع و بهره‌برداری نشده در منطقه به طور نابرابر در حوضه‌های رودخانه‌های فرامرزی توزیع شده است، پیوند WEF می‌تواند مسیری برای ایجاد تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری‌هایی باشد که در هر منطقه ای نفوذ می‌کند. اتخاذ رویکرد پیوندی گامی رو به جلو در جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار در زمینه ریشه‌کنی فقر، گرسنگی صفر، بهره‌مندی از آب برای همه، و تامین انرژی پاک خواهد بود.

## ۲ تعریف موضوع پژوهش

رشد سریع جمعیت و شهرنشینی همراه با توسعه اقتصادی جهانی، فشار زیادی بر منابع محدود سیاره ما، از جمله آب، انرژی، غذا، زمین و اکوسیستم وارد می‌کند. بر اساس تخمین یونیسف، سهم جمعیت شهری برای اکثر کشورهای در حال توسعه تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۵۰ درصد خواهد بود. برآورد شده است که تا سال ۲۰۳۵، تقاضای انرژی اولیه جهان ۴۰ درصد در مقایسه با سال ۲۰۱۰ رشد خواهد کرد [۱].

<sup>1</sup> Nexus

<sup>2</sup> The climate, land, energy, and water systems

در این میان، رویکردهای همبست<sup>۱</sup> به طور همزمان تعاملات بین چندین بخش را بررسی می‌کنند. مطالعات کمی اخیر نشان داده‌اند که رویکردهای همبستی می‌توانند هم‌افزایی را آشکار کنند و مبادلات بین بخش‌ها را شناسایی کنند. اگر این رویکرد به خوبی اجرا شود، پتانسیل کاهش اثرات منفی و ارتقای برنامه‌ریزی، مدیریت و حکمرانی یکپارچه را دارند [۲].

اصطلاح همبست برای اولین بار در حوزه منابع طبیعی در سال ۱۹۸۳ تحت برنامه همبست انرژی و غذا استفاده شد که به دنبال راه حل‌های یکپارچه برای کمبود غذا و انرژی بود. از آن زمان، اغلب برای مطالعه ارتباط بین غذا، آب و انرژی، گاهی اوقات با اضافه کردن مسائلی مانند حفاظت از تنوع زیستی و سلامت انسان، یا در چارچوب‌های خاص مانند پاسخ به تغییرات آب و هوا، استفاده شده است [۲].

از مزایا و هزینه‌های رویکردهای همبست می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲]:

۱- کشف هم‌افزایی و منافع مشترک، ۲- شناسایی و کاهش مبادلات مضر، ۳- پرده‌برداری از پیامدهای غیرمنتظره، ۴- بهبود برنامه‌ریزی یکپارچه، تصمیم‌گیری، حکمرانی و مدیریت.

بحث صرفه‌جویی در آب و انرژی به یکی از مهم‌ترین پیش زمینه‌های توسعه پایدار در سراسر جهان تبدیل شده است. آب و انرژی به یکدیگر وابسته هستند و متقابلاً بر هم اثر می‌گذارند. با افزایش نگرانی در مورد امنیت آب و انرژی در سطح جهان، کشف دقیق پیوندهای متقابل بین انرژی و آب، که به عنوان همبست آب و انرژی شناخته می‌شود، در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۱].

آب برای استخراج، تبدیل، انتقال انرژی و تولید برق استفاده می‌شود و محدودیت در دسترس بودن آب بر انتخاب امکانات انرژی تأثیر می‌گذارد. با افزایش جمعیت، توسعه انرژی در آینده به طور قابل توجهی مصرف آب را افزایش خواهد داد، و سرمایه‌گذاری‌های عمده‌ای برای کاهش مصرف آب برای انرژی جهت متعادل کردن سیستم‌های انرژی شهری انجام می‌شود [۳]. توجه به همبست آب و انرژی منجر به رونق تحقیقات در مورد این موضوع شده است. تجزیه و تحلیل‌های انجام شده طیف بسیار گسترده‌ای از مسائل و مقیاس‌ها را پوشش می‌دهد و شامل توسعه بسیاری از مدل‌ها و ابزارهای می‌شود. و به طور گسترده‌ای از مطالعات سطح خرد تا مطالعات سطح کلان را پوشش می‌دهد [۱].

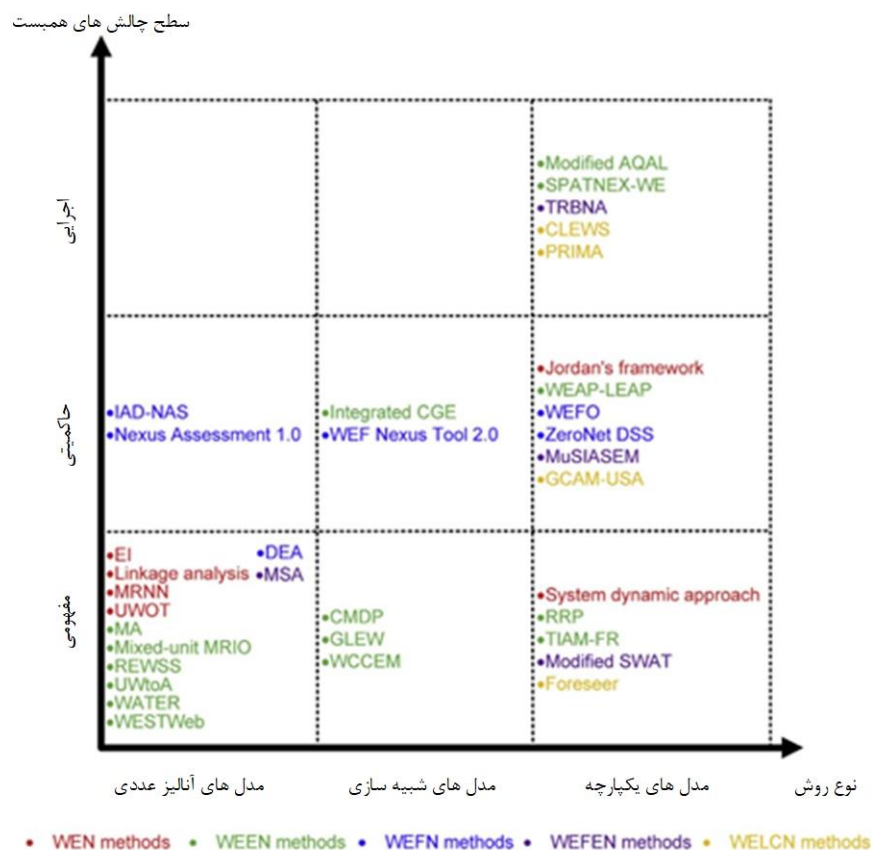
تحقیقات در سطح خرد عمدتاً بر ارزیابی جریان منابع در بخش‌های اقتصادی خاص، مانند محاسبه ردپای آب در اشکال خاص تولید انرژی یا محاسبه مصرف انرژی برای آب در اهداف مختلف (مثلاً برای منازل مسکونی، مصارف صنعتی و غیره) متمرکز است. هدف مطالعات همبست آب و انرژی در سطح کلان، ارزیابی و مدیریت آب و انرژی در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف است. و اغلب شامل تجزیه و تحلیل در دسترس بودن منابع و پیش‌بینی‌هایی است که تلاش می‌کنند سیستم‌های کامل آب یا انرژی (یا هر دو) یک شهر، منطقه، ایالت، کشور یا مناطق فرامرزی را در نظر بگیرند [۱].

## ۱-۲ معرفی ابزار مورد استفاده

روش‌ها و ابزارهای زیادی برای تحلیل سیستم آب و انرژی وجود دارد. این ابزارها با توجه به حوزه‌ای که دربرمی‌گیرند در دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند [۱]:

همبست آب و انرژی (WEN) - همبست آب، انرژی و محیط (WEEN) - همبست آب، انرژی و غذا (WEFN) - همبست آب، انرژی، غذا و اکوسیستم (WEFEN) - همبست آب، انرژی، زمین و آب و هوا (WELCN)

شکل ۱ نمایی کلی از ابزارها با توجه به محدوده همبست، نوع مدل و سطح چالش آنها را نشان می‌دهد.



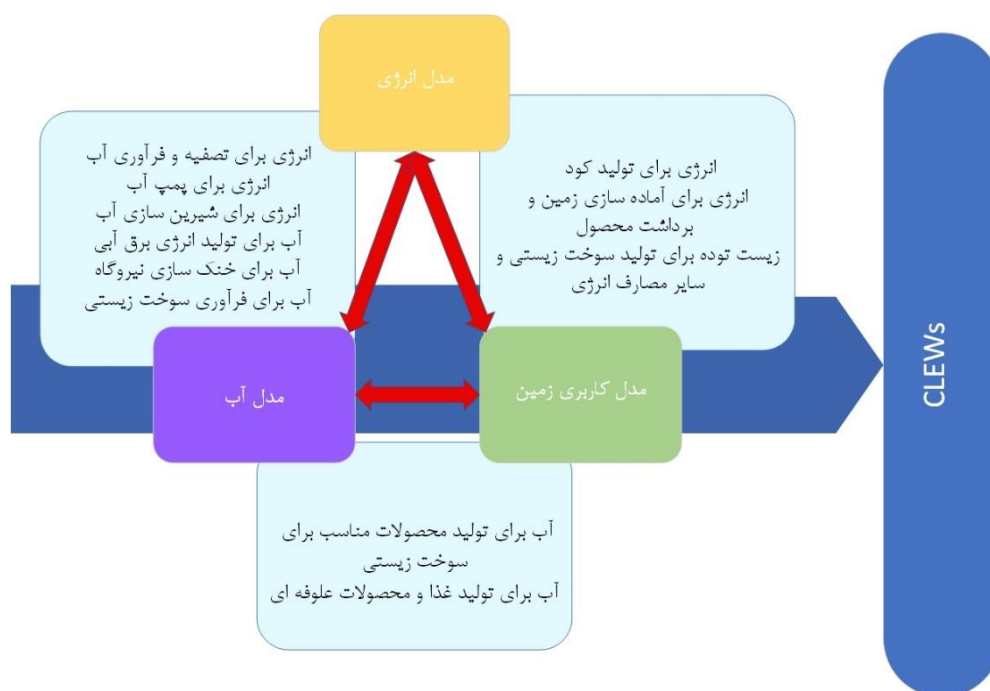
شکل ۱-۲ تجزیه و تحلیل روش‌های همبست در سطح کلان با توجه به محدوده همبست، نوع مدل و سطح چالش آنها [۱].

سیستم آب و هوا، زمین، انرژی و آب<sup>۱</sup> (CLEWS) ابزار اصلی مورد استفاده در این پژوهش است. ایده پشت این چارچوب از این قرار است: سیستم‌های زمین، انرژی و آب به شدت یکپارچه هستند و هر ارزیابی از این منابع باید به صورت یکپارچه انجام گیرد. در این ابزار، به جای توسعه یک ابزار تجزیه و تحلیل جدید، از روش‌های ارزیابی آزمایش شده برای هر یک از این سه منبع استفاده و ادغام شده‌اند. کلید این رویکرد، شناسایی نقاطی است که سیستم‌های منابع در آن تعامل دارند [۴].

نمونه ای از شماتیک CLEWS در شکل ۲ نشان داده شده است.

CLEWS علاوه بر بررسی تعاملات بین منابع مختلف آب، انرژی و زمین، استرس‌های خارجی مانند تغییرات آب و هوایی را

در نظر می‌گیرد [۱].

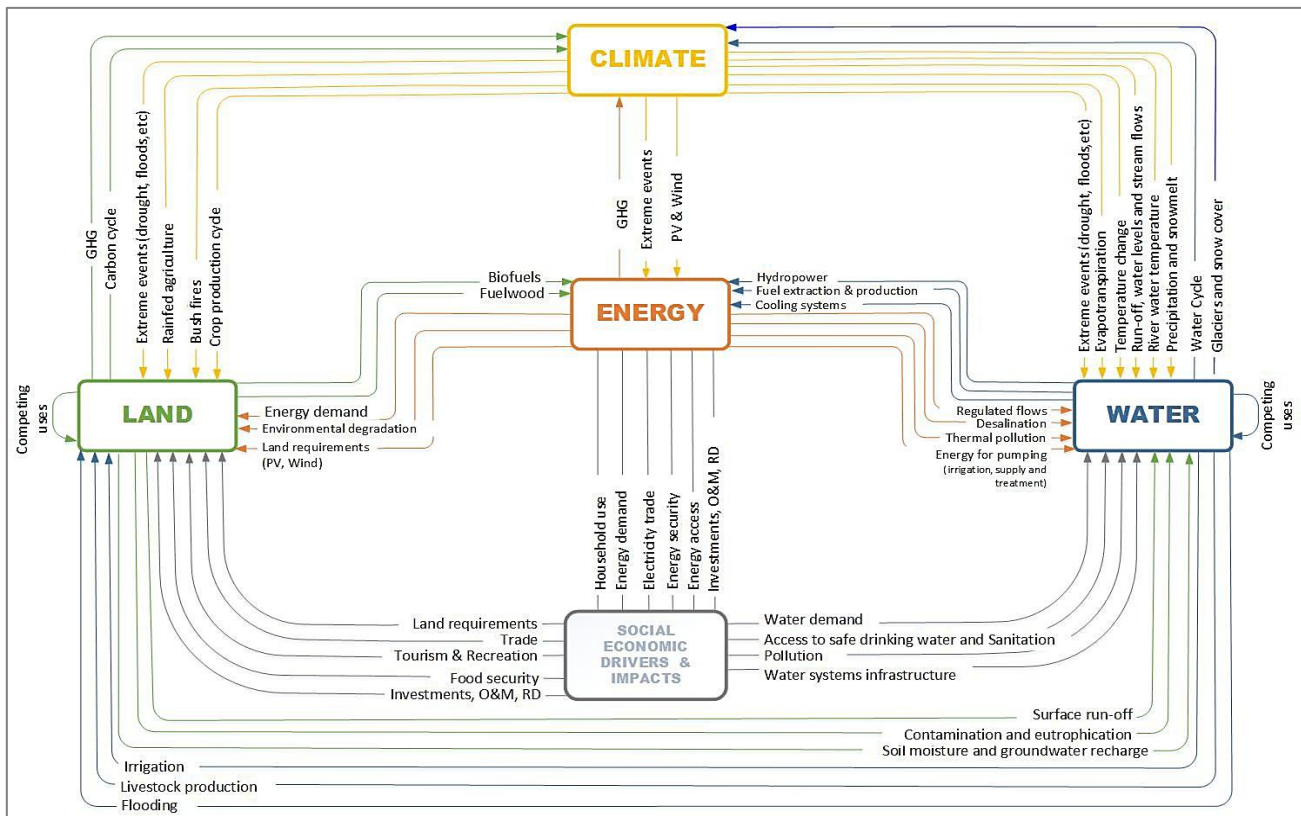


شکل ۲-۲ چارچوب CLEWS. این چارچوب مدل آب، انرژی و زمین را با سناریوهای تغییر آب و هوا یکپارچه می‌کند [۴].

این ابزار برای طراحی استراتژی‌هایی در حمایت از تصمیم‌گیری، ارزیابی سیاست، هماهنگ‌سازی و ادغام سیاست‌ها، ارزیابی‌های فناوری و توسعه سناریوها اعمال می‌شود. این مدل توسط یک گروه تحقیقاتی از مؤسسه فناوری سلطنتی KTH در سوئد توسعه یافته است [۱].

این مدل، از پلت فرم نرم افزار OSeMOSYS (سیستم مدل سازی انرژی منبع باز) استفاده می‌کند که یک مدل منبع باز و یک مدل بهینه سازی سیستم‌های کامل برای برنامه ریزی انرژی در بلندمدت است. مدل OSeMOSYS مزایای خود را در سادگی، دسترسی، مقرون به صرفه بودن و انعطاف پذیری دارد که مدل و نتایج آن را شفاف و قابل تکرار می‌کند [۵].

این مدل با موفقیت در جوامع علمی و در سیاست گذاری استفاده شده است. با این حال، محدودیت این مدل این است که داده‌های هزینه به سختی و در سطح جهانی به دست می‌آیند. بنابراین انتظار نمی‌رود هزینه‌ها دقیق باشند. علاوه بر این، این ابزار نیازمند



شکل ۳. چارچوب مدل سازی CLEWs [۶].

داده‌های گسترده‌ای از جمله پارامترهای فنی و اقتصادی بخش‌های انرژی، آب و کاربری زمین است و نیاز به مشارکت متخصصین در فرآیند شناسایی و کمی سازی ارتباطات متقابل منابع دارد [۱].

## ۲-۲ معرفی منطقه مورد مطالعه

یکی از مناطق ایران که همواره در فرآیند برنامه ریزی چالش‌های ویژه‌ای را به دنبال داشته منطقه جنوب-شرق ایران موسوم به سواحل مَکُران بوده است. منطقه ی طولانی مَکُران از میناب تا گواتر با احتساب دماغه‌های ساحلی بیش از ۷۷۷ کیلومتر مربع است. این منطقه به لحاظ ظرفیت‌های اقتصادی دارای سه سطح ملی، منطقه ای و بین المللی است. ۶۲۰ کیلومتر مرز آبی سواحل مَکُران و تسلط این منطقه بر یکی از مهمترین و استراتژیکترین راههای آبی جهان، ویژگی خاصی به این منطقه بخشیده است. سواحل مَکُران در آینده به مرکز صادرات، واردات و تولید با استقرار صنایع تبدیل شود [۷].



شکل ۴ منطقه مکران

در اسناد بالادستی و طرح‌های جامعی که در باب توسعه سواحل مکران تا به امروز تدوین شده است، این سواحل قرار است با استقرار صنایع پتروشیمی و فولاد و استفاده از آب دریا برای آنها به تولید محصولات بالادست و پایین دست این صنایع پردازد؛ همچنین استقرار سایر صنایع و بخش کشاورزی نیز با احداث گلخانه‌های صنعتی و استفاده از شیرین سازی آب دریا برای تولید در آنها در دستور کار قرار گرفته است. در طرح جامع وزارت نفت نیز قرار است با احداث پایانه‌های نفتی، بخش مهمی از صادرات نفت ایران از خارک در خلیج فارس به بندر جاسک در سواحل مکران در آب‌های عمان منتقل شود و این بندر را به‌هاب ترانزیت انرژی در منطقه تبدیل سازد [۷].

از سوی دیگر همزمان با استقرار صنایع مادر و کنار آنها صنایع پایین دستی در سواحل مکران، مکران قرار است میزبان جمعیت جدیدی بشود و معضل کم آبی شهرهای ایران را نیز با ایجاد تأسیسات بزرگ و مدرن شیرین سازی آب‌های دریا برطرف کند. طبق طرح‌های تحقیقاتی صورت گرفته در باب آینده تحولات جمعیتی سواحل مکران، جمعیت ۵۰۰ هزار نفری ساکن مکران به حدود ۱ میلیون و ۲۰۰ هزار نفر، طی سالیان آتی افزایش خواهد یافت [۷].

در سند توسعه منطقه ساحلی مکران به توسعه این منطقه به عنوان منطقه ویژه اقتصادی و تخصصی انرژی، نفت، گاز، پتروشیمی و انرژی‌های نو با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع آب و اقلیم منطقه اشاره شده است [۸].

### ۳ ریسک اقلیمی

رویدادهای آب و هوایی شدید و نحوه شکل‌گیری آنها پیچیده است. هنگام تلاش برای توضیح علل باید عوامل مرتبط متعددی را در نظر گرفت. با این حال، علم به اندازه کافی توانسته است ثابت کند که تغییرات آب و هوایی تأثیر قابل توجهی بر رویدادهای



شدید آب و هوایی دارد و فراوانی، شدت و مدت آنها را افزایش می دهد. درک رابطه بین بحران آب و هوایی ناشی از انسان و رویدادهای شدید آب و هوایی برای کاهش خطرات و آمادگی برای این نوع رویدادها ضروری است [۱۳].

سیل‌ها، آتش‌سوزی‌ها، موج‌های گرما و خشکسالی اغلب از ترکیبی از فرآیندهای فیزیکی متقابل در مقیاس‌های مکانی و زمانی متعدد ناشی می‌شوند. ترکیبی از فرآیندها (محرك‌های آب و هوا و مخاطرات) که منجر به تأثیر قابل‌توجهی می‌شود به عنوان «رویداد مرکب» نامیده می‌شود. روش‌های سنتی ارزیابی ریسک معمولاً تنها یک محرك و یا خطر را در یک زمان در نظر می‌گیرند، که به طور بالقوه منجر به دست کم‌گرفتن ریسک می‌شود، زیرا فرآیندهایی که باعث رویدادهای شدید می‌شوند، اغلب با هم تعامل دارند و از نظر مکانی ویا زمانی وابسته هستند [۱۵].

در تابستان ۲۰۱۰، روسیه تحت تأثیر موج گرما بی‌سابقه‌ای قرار گرفت. بارش کمتر از حد نرمال در هفت ماه اول سال باعث خشکسالی تابستانی شد که به بزرگی استثنایی موج گرما کمک کرد. شرایط بسیار خشک و گرم منجر به آتش‌سوزی‌های گسترده‌ای شد که به محصولات زراعی آسیب رساند و باعث مرگ و میر انسان شد. این آتش‌سوزی‌ها همچنین باعث آلودگی هوا در مقیاس وسیع در شهرهایی مانند مسکوشد و بر تلفات ناشی از موج گرما افزود. حوادث در روسیه در تابستان ۲۰۱۰ را می‌توان یک رویداد مرکب نامید که شامل وقوع همزمان چندین خطر وابسته است: خشکسالی، گرما، آتش‌سوزی و آلودگی هوا [۱۵].

در مجموع، این خطرات اثرات مخربی را در بسیاری از مناطق ایجاد کردند، در مقیاسی بسیار فراتر از آنچه که هر یک از این خطرات به تنهایی ایجاد می‌کرد.

جدول ۱ فهرست غیر جامعی از مخاطرات مربوط به آب و هوا و همچنین ترکیبی از خطرات وابسته با اثرات بالقوه بزرگ [۱۵].

خطرات	محرك‌های اقلیمی
خشکسالی	بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، دما
استرس گرمایی فیزیولوژیکی	دما، رطوبت اتمسفر، (به شدت به چرخه روزانه وابسته است)
خطر آتش‌سوزی	دما، بارندگی، رطوبت نسبی، باد، رعد و برق
خطر طوفان	سرعت باد، رطوبت، گردش اتمسفر در مقیاس بزرگ
سیل ساحلی	جریان رودخانه، بارش، سطح آب ساحلی، موج، سرعت باد
خطر سیل در محل تلاقی رودخانه‌ها	بارش، سطح آب رودخانه‌ها، گردش جوی در مقیاس بزرگ
خشکسالی و گرما همزمان	دما، بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت اتمسفر
باد و بارش همزمان	سرعت باد، بارش، کوه‌نگاری، گردش جوی در مقیاس بزرگ
گرما و آلودگی هوا همزمان	دما، دی اکسید گوگرد، NOx، ذرات معلق (PM10)

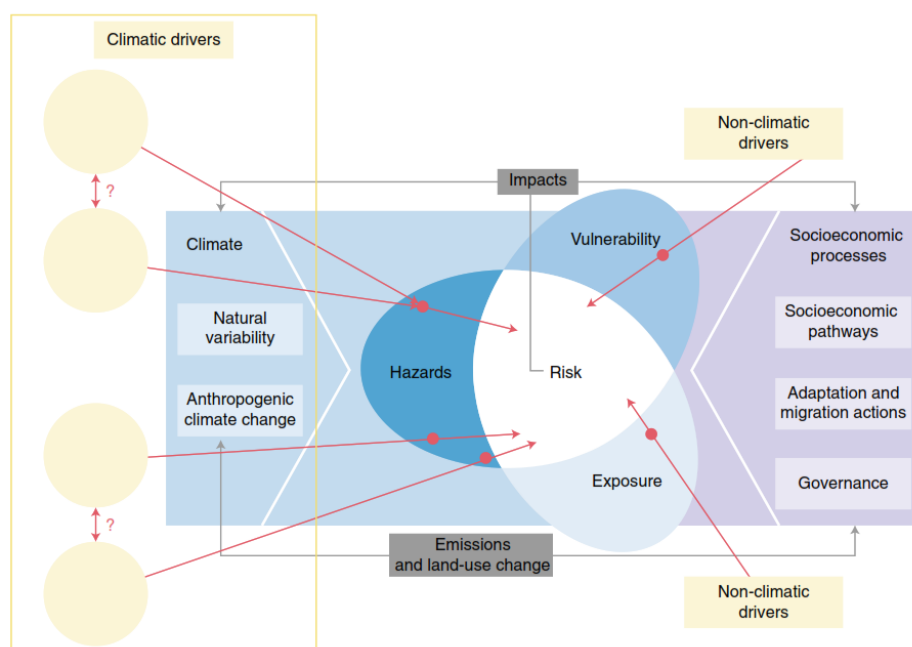
ما در اینجا رویدادهای ترکیبی آب و هوا را به عنوان ترکیبی از عوامل متعدد و یا خطراتی که به خطرات اجتماعی یا زیست محیطی کمک می کند تعریف می کنیم. محرکها شامل فرآیندها، متغیرها و پدیدههایی در حوزه آب و هوا هستند که ممکن است در مقیاسهای مکانی و زمانی چندگانه باشند. خطرات معمولاً رخدادهای فیزیکی فوری با تأثیرات منفی (مانند سیل، موج گرما، آتش سوزی جنگلی) هستند، اما گاهی اوقات می توانند مثبت باشند. (به عنوان مثال، سبز شدن کوههای آلپ در طول موج گرمای سال ۲۰۰۳ در اروپا). [۱۵].

ریسک به عنوان احتمال خطرات (رویدادها یا روندها)  $\times$  پیامدها تعریف می شود. در این تعریف علامت  $\times$  به طور کلی، پیچیدگی توزیعهای احتمالی و پیامدهای مربوطه را نشان می دهد. از این نظر، ادغام در یک محدوده محدود که فقط شامل رویدادهای بسیار مکرر با تأثیر کم می شود، می تواند منجر به خطراتی شود که با ریسک مرتبط با رویدادهای بسیار نادر با تأثیر زیاد قابل مقایسه است [۱۵].

طبق IPCC، ریسک عبارت است از پتانسیل عواقب، زمانی که چیزی با ارزش در خطر است و نتیجه آن نامشخص است، با تشخیص تنوع ارزشها. ریسکها از تعامل بین خطر، آسیب پذیری و قرار گرفتن در معرض آن ناشی می شوند و می توانند با فرمول شرح داده شوند:

$$\text{ریسک} = (\text{احتمال رویدادها یا روندها}) \times \text{پیامدها}$$

که در آن پیامدها تابعی از شدت خطر (رویداد یا روند)، قرار گرفتن در معرض و آسیب پذیری هستند. در اینجا، ما از اصطلاح خطر برای اشاره به اثرات زیست محیطی و اجتماعی ناشی از رویدادهای آب و هوایی استفاده می کنیم [۱۵].



شکل ۱-۳ چارچوب ریسک گسترده

عوامل اقلیمی متعدد باعث ایجاد یک یا چند خطر می شوند که منجر به خطرات اجتماعی و زیست محیطی می شود. محرکهای آب و هوا (که ممکن است از آب و هوا در مقیاس محلی تا حالتهای آب و هوایی در مقیاس بزرگ متفاوت باشد، که با

دایره‌های زرد نشان داده می‌شود) و یا خطرات ممکن است به یکدیگر وابسته باشند. محرک‌های غیراقلیمی مرتبط با آسیب پذیری و قرار گرفتن در معرض نیز ممکن است به خطر کمک کنند [۱۵].

رویدادهای مرکب را می‌توان در چارچوب ریسک کلی که خطرات، آسیب پذیری و قرار گرفتن در معرض را به هم مرتبط می‌کند در نظر گرفت (شکل ۴). تغییرات در معرض قرار گرفتن و آسیب پذیری، که اغلب به توسعه انسانی مربوط می‌شود، می‌تواند به شدت بر خطرات زیست محیطی تأثیر بگذارد. در حالی که ما این مشارکت را تایید می‌کنیم، در اینجا بر خطرات مربوط به آب و هوا تمرکز می‌کنیم [۱۵].

آب و هوای زمین در حال تغییر است و تغییرات بیشتر در دهه آینده و پس از آن اجتناب ناپذیر است. دمای این سیاره از دهه ۱۸۸۰ به طور متوسط حدود ۱.۱ درجه سانتیگراد افزایش یافته است.

این امر با اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای و تجزیه و تحلیل صدها هزار رصد ایستگاه‌های هواشناسی مستقل از سراسر جهان تأیید شده است. کاهش سریع پوشش یخی سطح سیاره شواهد بیشتری ارائه می‌دهد. این نرخ گرمایش حداقل یک مرتبه سریعتر از هر نرخ است که در ۶۵ میلیون سال گذشته ثبت شده است [۹].

میانگین، تغییرات چشمگیر را در موارد تشدید شده پنهان می‌کند. از نظر آماری، توزیع دما در حال گرمتر شدن و گسترش یافتن است. این بدان معناست که میانگین روز در بسیاری از مکان‌ها اکنون گرم‌تر است و وجود روزهای بسیار گرم محتمل‌تر می‌شوند.

با افزایش میانگین دمای جهانی، مدل‌های اقلیمی نشان‌دهنده افزایش خطرات اقلیمی در سطح جهان است. با توجه به علم آب و هوا، گرمایش بیشتر به افزایش فراوانی و یا شدت خطرات آب و هوایی حاد در سراسر جهان، مانند امواج گرمای کشنده، بارش شدید، و طوفان ادامه خواهد داد و خطرات مزمن مانند خشکسالی، استرس گرمایی و بالا آمدن سطح دریا را در پی خواهد داشت. در ادامه اثرات فیزیکی تغییر اقلیم را بررسی می‌شود [۹].

### ۳-۱ انواع ریسک‌های اقلیمی

- افزایش میانگین دما

انتظار می‌رود میانگین دمای جهانی طی سه دهه آینده افزایش یابد، که منجر به افزایش میانگین ۲.۳ درجه سانتی‌گراد خواهد شد. بسته به مکان، این مساله می‌تواند به افزایش متوسط دمای محلی بین ۱.۵ تا ۵.۰ درجه سانتیگراد نسبت به سال ۲۰۲۰ تبدیل شود. انتظار می‌رود قطب شمال با سرعت بیشتری نسبت به جاهای دیگر گرم شود.

- بارش شدید

انتظار می‌رود در بخش‌هایی از جهان، رویدادهای بارش شدید، که در اینجا به عنوان رویدادی یک بار در هر ۵۰ سال (یعنی با احتمال ۲ درصد سالانه) که در دوره ۸۱-۱۹۵۰ تعریف می‌شود، رایج‌تر شوند. پیش‌بینی می‌شود احتمال رخدادهای بارش شدید در

برخی مناطق، از جمله بخش‌هایی از چین، آفریقای مرکزی و سواحل شرقی آمریکای شمالی در مقایسه با دوره مذکور، بیش از چهار برابر افزایش یابد.

- طوفان شدید.

در حالی که بعید به نظر می‌رسد که تغییر اقلیم، فرکانس طوفان‌های استوایی را تغییر دهد، مدل‌های آب و هوا و تئوری فیزیک پایه افزایش میانگین شدت این طوفان‌ها (و در نتیجه افزایش فراوانی طوفان‌های شدید) را پیش‌بینی می‌کنند. احتمال رخداد طوفان شدید (یعنی رویدادی با احتمال ۱ درصد سالانه در دوره ۱۹۸۱-۲۰۰۰) انتظار می‌رود در برخی از بخش‌های جنوب شرقی ایالات متحده دو برابر و در برخی از مناطق جنوب شرقی آسیا تا سال ۲۰۴۰ سه برابر شود. هر دو مناطق پرمعیت با فعالیت اقتصادی بزرگ و ارتباط فراوان با جهان هستند.

- خشکسالی.

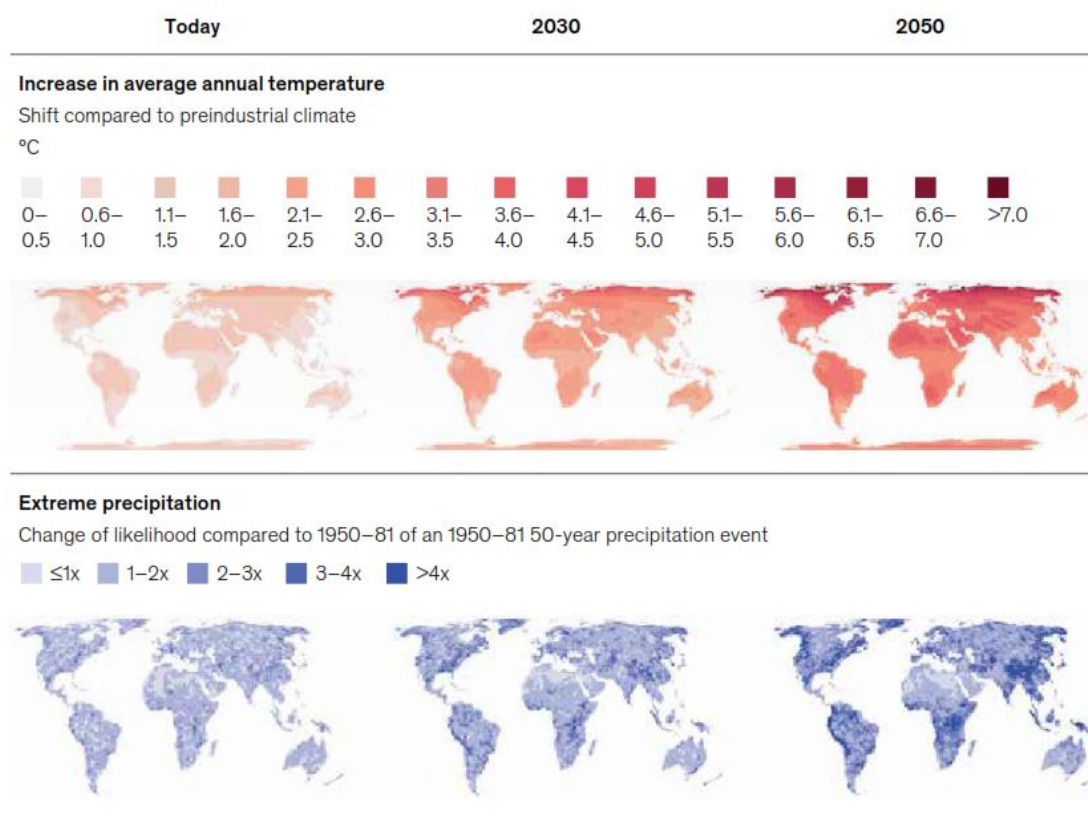
با گرم شدن زمین، پیش‌بینی می‌شود وسعت فضایی و سهم زمان صرف شده در خشکسالی افزایش یابد. پیش‌بینی می‌شود که سهم یک دهه سپری شده در شرایط خشکسالی تا سال ۲۰۵۰ در برخی از نقاط جهان به ویژه در بخش‌هایی از مدیترانه، جنوب آفریقا و آمریکای مرکزی و جنوبی به ۸۰ درصد برسد.

- امواج گرمایی کشنده

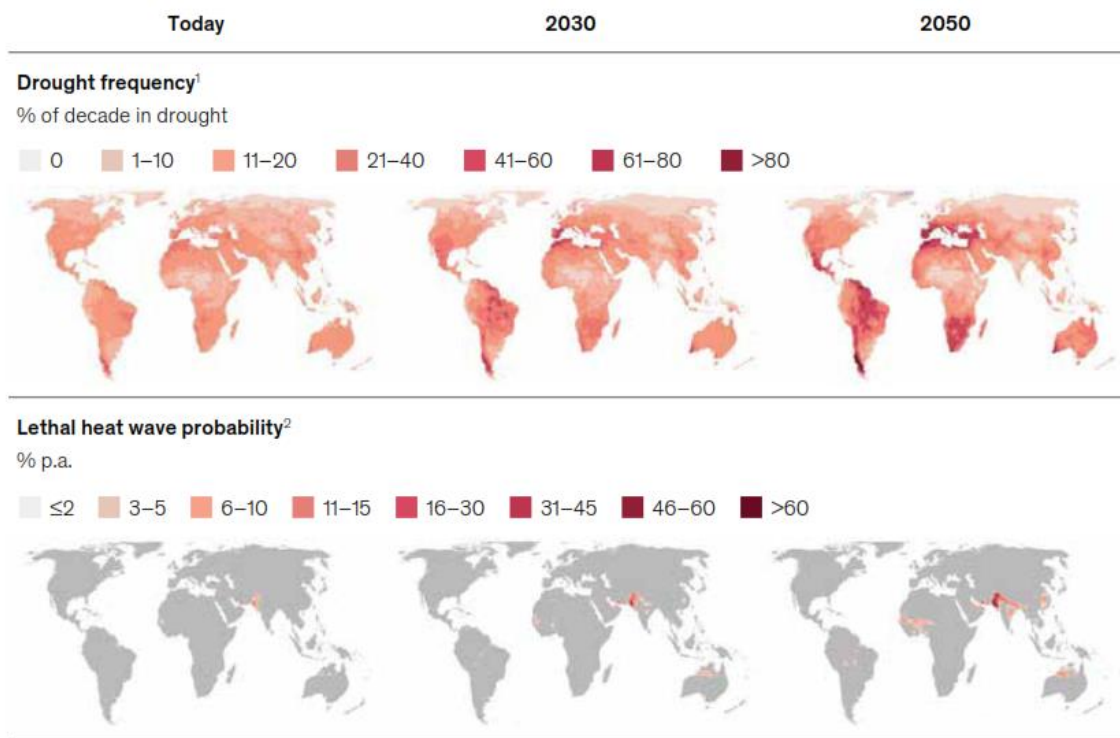
امواج گرمای کشنده به عنوان رویدادهای سه روزه تعریف می‌شوند که در طی آن میانگین حداکثر دمای روزانه حباب مرطوب می‌تواند از آستانه بقا برای یک انسان سالم که در سایه استراحت می‌کند، فراتر رود. مناطق شهری در بخش‌هایی از هند و پاکستان می‌توانند اولین مکان‌هایی در جهان باشند که امواج گرمایی را تجربه می‌کنند که از آستانه بقا برای یک انسان سالم فراتر می‌رود، و مناطق کوچکی که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۶۰ درصد شانس سالانه چنین موج گرمایی را تجربه کنند.

- تامین آب

با تغییر الگوهای بارندگی، تبخیر، زمان ذوب برف و سایر عوامل، عرضه آب شیرین تجدیدپذیر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. انتظار می رود برخی از نقاط جهان مانند آفریقای جنوبی و استرالیا شاهد کاهش عرضه آب باشند، در حالی که سایر مناطق از جمله اسیا و بخش‌هایی از آمریکای جنوبی پیش بینی می شود افزایشی را تجربه کنند. پیش‌بینی می‌شود که مناطق خاصی، برای مثال، بخش‌هایی از منطقه مدیترانه و بخش‌هایی از ایالات متحده و مکزیک، تا سال ۲۰۵۰ شاهد کاهش میانگین سالانه آب سطحی بیش از ۷۰ درصد باشند. چنین کاهش بزرگی در عرضه آب می‌تواند تنش مزمن آب را تشدید می کند و رقابت برای منابع در سراسر بخش‌ها را افزایش می دهد.



شکل ۳-۲ پیش‌بینی/افزایش دما و بارش شدید تا سال ۲۰۵۰



شکل ۳-۳ پیشبینی خشکسالی و موج گرما

## ۲-۳ جنبه‌های مختلف تأثیر تغییرات اقلیمی

تغییرات اقلیمی بر زندگی انسان و نیز عوامل تولیدی که فعالیت اقتصادی ما بر آن استوار است و در نتیجه بر حفظ و رشد ثروت، تأثیر می‌گذارد. تأثیر تغییر اقلیم را با میزانی که می‌تواند ذخایر سرمایه (انسانی، فیزیکی و طبیعی) را مختل یا نابود کند و تأثیر اجتماعی-اقتصادی ناشی از آن اختلال یا تخریب، اندازه‌گیری می‌کنند. اثر بر فعالیت اقتصادی که توسط تولید ناخالص داخلی اندازه‌گیری می‌شود، نتیجه تأثیرات مستقیم بر این سهام سرمایه است.

تغییرات اقلیمی در حال حاضر تأثیر اجتماعی و اقتصادی قابل اندازه‌گیری دارد. در سراسر جهان، نمونه‌هایی از این تأثیرات و ارتباط آن‌ها با تغییرات آب و هوایی را می‌یابیم. خطرات اقلیمی به تنهایی می‌تواند بر چندین سیستم تأثیر بگذارد. برای مثال، گرمای شدید ممکن است جوامع را از طریق امواج گرمای کشنده و غیرقابل کاری شدن ساعات روز، حتی با تغییر سیستم‌های غذایی، اختلال در خدمات زیربنایی، و به خطر انداختن سرمایه‌های طبیعی مانند یخچال‌های طبیعی تحت تأثیر قرار دهد. بارش شدید و سیل می‌تواند دارایی‌های فیزیکی و زیرساخت‌ها را از بین ببرد در حالی که جوامع ساحلی و رودخانه‌ها را به خطر می‌اندازد. طوفان‌ها می‌توانند زنجیره‌های تامین جهانی را تحت تأثیر قرار دهند و تغییرات زیستی می‌تواند بر خدمات اکوسیستم تأثیر بگذارد. این تأثیرات عبارت اند از:

- قابلیت زندگی و کار

خطراتی مانند استرس گرمایی می‌تواند بر توانایی انسان برای کار در فضای باز تأثیر بگذارد یا در موارد شدید می‌تواند جان انسان‌ها را به خطر بیندازد. گرما ظرفیت کار را کاهش می‌دهد زیرا کارگران باید برای جلوگیری از گرمزدگی استراحت کنند و بدن

به طور طبیعی تلاش خود را برای جلوگیری از فشار بیش از حد محدود می کند. افزایش دما همچنین می تواند ناقلان بیماری را تغییر دهد و در نتیجه بر سلامت انسان تأثیر بگذارد.

#### - سیستم های غذایی

تولید غذا ممکن است به دلیل شرایط خشکسالی، دمای شدید یا سیل، بر زمین و محصولات مختل شود. تغییر اقلیم می تواند عملکرد سیستم غذایی را بهبود بخشد و یا آن را کاهش دهد و در عین حال نوسانات کم و بیش را ایجاد کند. در برخی موارد، عملکرد محصول ممکن است افزایش یابد. در موارد دیگر، ممکن است از آستانه هایی فراتر رود که برخی از محصولات به طور کامل شکست می خورند.

#### - دارایی های فیزیکی

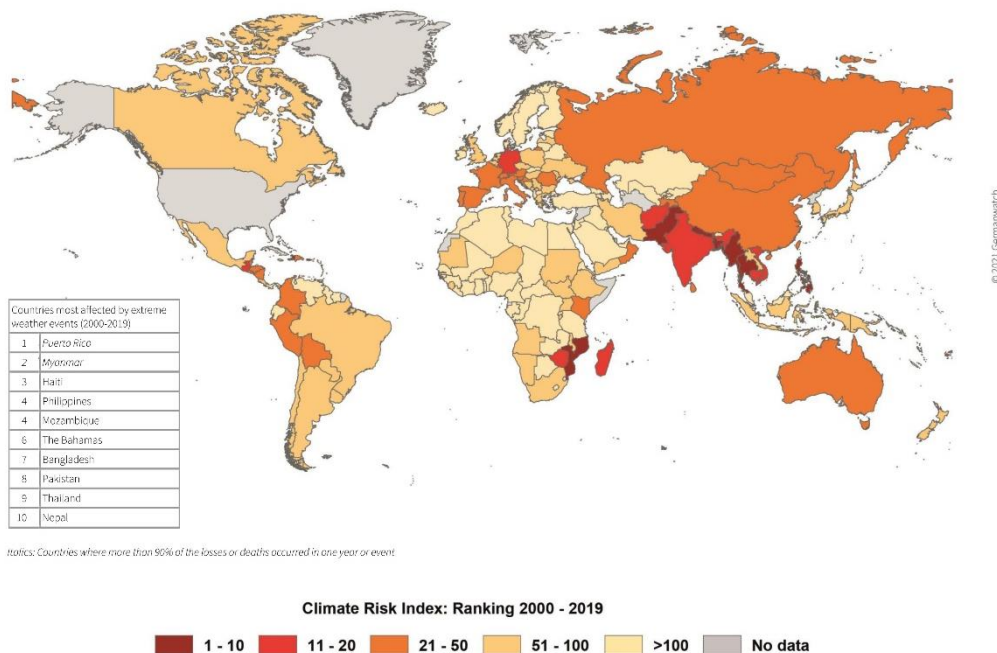
دارایی های فیزیکی مانند ساختمان ها ممکن است در اثر بارش شدید، سیل جزر و مد، آتش سوزی جنگل ها و سایر خطرات آسیب ببینند یا از بین بروند. خطرات حتی می توانند به طور مادی بر کل شبکه دارایی ها مانند منطقه تجاری مرکزی شهر تأثیر بگذارند.

#### - خدمات زیرساختی

دارایی های زیرساختی نوع خاصی از دارایی های فیزیکی هستند که می توانند از بین بروند یا در عملکردشان اختلال ایجاد شود. های قدرت می توانند در و منجر به کاهش خدماتی که ارائه می کنند یا افزایش هزینه این خدمات شود. به عنوان مثال، سیستم شرایط بسیار گرم بهره وری کمتری داشته باشند. طیف وسیعی از خطرات از جمله گرما، باد و سیل می تواند خدمات زیرساختی را مختل کند. این به نوبه خود می تواند تأثیرات ضربه ای بر سایر بخش هایی که به این دارایی های زیرساختی متکی هستند، داشته باشد.

### ۳-۳ شاخص جهانی ریسک اقلیمی ۲۰۲۱

شاخص جهانی ریسک اقلیمی (CRI) که توسط Germanwatch ایجاد شده است، اثرات کمی رویدادهای اقلیمی حدی را تجزیه و تحلیل می‌کند. این شاخص مشخص می‌کند که کشورها و مناطق تا چه اندازه تحت تأثیر رویدادهای اقلیمی حدی مرتبط با آب و هوا (طوفان، سیل، موج گرما و غیره) قرار گرفته اند. این فهرست بر اساس داده‌های Munich Re NatCatSERVICE<sup>11</sup> است که در سراسر جهان به عنوان یکی از معتبرترین و کامل ترین پایگاه‌های داده در این زمینه در نظر گرفته می‌شود. کشورهایی که بالاترین رتبه را دارند کشورهایی هستند که بیشتر تحت تأثیر رویدادهای شدید آب و هوایی قرار گرفته اند و باید CRI را به عنوان یک علامت هشدار دهنده در نظر بگیرند که آنها در معرض خطر رویدادهای مکرر یا فجایع نادر اما عظیم هستند. جدیدترین داده‌های موجود برای سال ۲۰۱۹ و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ در نظر گرفته شده است. کشورهایی که در سال ۲۰۱۹ بیشترین آسیب را دیدند موزامبیک، زیمبابوه و همچنین باهاما بودند. برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ پورتوریکو، میانمار و هائیتی بالاترین رتبه را دارند [۱۳].



شکل ۴-۳ شاخص ریسک اقلیمی ۲۰۲۱

### ۴ اثرگذاری ریسک‌های اقلیم بر همبست CLEWs

#### ۱-۴ ریسک اقلیمی و زمین

تغییر آب و هوا به عنوان یک تشدیدکننده تهدید تلقی می‌شود که مستقیماً خطرات امنیت انسانی را تشدید می‌کند، مانند ناامنی غذا و آب. علاوه بر خطرات زیست محیطی مرتبط با تغییرات آب و هوایی، مانند خشکسالی و سیل، زمین و کاربری زمین می



تواند تحت تأثیر اقدامات کاهش آب و هوا و سازگاری قرار گیرد. برای تصمیم گیران نه تنها مهم است که تأثیرات تغییرات آب و هوا را در نظر بگیرند، بلکه ارزیابی خطرات غیرمستقیم مرتبط با اقدامات کاهشی و سازگاری با تغییرات آب و هوا نیز مهم است [۱۱].

تغییرات اقلیمی و کمبود منابع به طور فزاینده ای به عنوان عواملی از خطرات و تهدیدهایی تلقی می شوند که مشکلات اجتماعی موجود مانند فقر، بی عدالتی، ناامنی اجتماعی، خشونت، تروریسم یا جنگ داخلی را تشدید می کنند.

به عنوان یکی از فراوان ترین و در عین حال مورد مناقشه ترین منابع، زمین و کاربری زمین در معرض انواع درگیری ها در سراسر جهان هستند [۱۱].

کمبود زمین نه تنها از طریق پدیده های طبیعی ناشی از آب و هوا، بلکه از طریق تداخل انسان که به طور کلی در دو دسته قابل تشخیص است، ایجاد می شود: (۱) تداخل اولیه، مانند تخریب جنگل برای گسترش کشاورزی، شهرنشینی در زمین های کشاورزی سابق، یا رقابت برای استفاده از فضای شهری؛ و (۲) تداخل ثانویه، مانند نیروگاه های انرژی تجدیدپذیر در مقیاس بزرگ به عنوان کاهش تغییرات آب و هوا یا تلاش های اسکان مجدد به عنوان سازگاری با تغییرات آب و هوایی. این اقدامات با هدف خنثی کردن اثرات نامطلوب تغییرات آب و هوایی در منطقه و کاهش آسیب پذیری و افزایش انعطاف پذیری جوامع محلی در برابر تغییرات اقلیمی انجام می شود. با این حال، بسیاری از اقدامات کاهش و انطباق، به زمین نیاز دارند و بنابراین به طور غیرمستقیم فشار بر زمین را به عنوان یک منبع افزایش می دهند [۱۱].

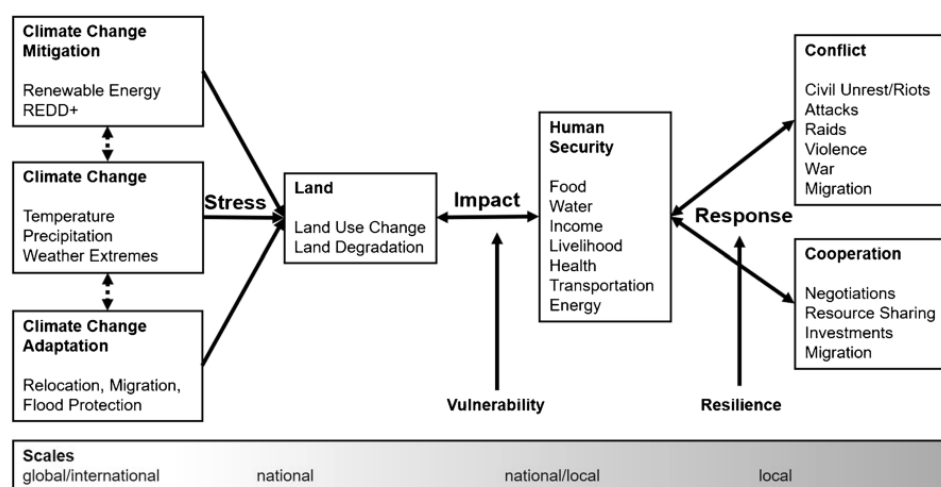


Fig. 1 Conceptual framework of direct and indirect effects of climate change on resource availability and potential conflict and cooperation dynamics (modified from Scheffran et al. [14])

افزایش دما، تنوع درمیزان بارندگی، شرایط حدی آب و هوایی، یا افزایش سطح دریا به دلیل تغییرات آب و هوایی، امنیت انسان را از طریق انواع ارتباطات متقابل در دهه های آینده تحت تأثیر قرار می دهد. یکی از ارتباطات متقابل استفاده از زمین و تغییر کاربری زمین است که انتظار می رود نه تنها از طریق تغییر شرایط آب و هوایی بلکه از طریق دخالت انسان به دلیل رشد جمعیت، شهرنشینی سریع و در نتیجه افزایش فشار بر منابع اکوسیستم به شدت تحت تأثیر قرار گیرد [۱۱].

#### ۴-۱-۱ امنیت غذایی و آسیب پذیری

هر چهار بعد امنیت غذایی: یعنی در دسترس بودن<sup>۱</sup> غذا (تولید و تجارت)، دسترسی<sup>۲</sup> به غذا، ثبات منابع غذایی، و استفاده از غذا (فرآیندهای واقعی درگیر در تهیه و مصرف غذا)، احتمالاً تحت تأثیر آب و هوا قرار دارند. مهمتر از همه، امنیت غذایی نه تنها به تأثیرات آب و هوایی و اقتصادی-اجتماعی، بلکه به تغییرات در جریان‌های تجاری، ذخایر و سیاست کمک‌های غذایی نیز بستگی دارد. به طور خاص، تغییرات آب و هوایی منجر به اثرات مختلط و متفاوت از نظر جغرافیایی بر تولید غذا و در نتیجه دسترسی به غذا خواهد شد. کشورهای در حال توسعه گرمسیری، که بسیاری از آنها منابع زمین و آب ضعیفی دارند و در حال حاضر با ناامنی غذایی جدی مواجه هستند، ممکن است به ویژه در برابر تغییرات آب و هوایی آسیب پذیر باشند [۱۴].

تغییرات در فراوانی و شدت خشکسالی و سیل، پایداری و دسترسی به منابع غذایی حیاتی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. کمبود بارندگی می‌تواند به طور چشمگیری هم عملکرد محصول و هم تعداد دام را در مناطق نیمه خشک استوایی کاهش دهد. ناامنی غذایی و از دست دادن معیشت با از دست رفتن زمین‌های کشت شده و شیلات ماهی ساحلی در نتیجه طغیان و فرسایش سواحل در مناطق کم ارتفاع بیشتر تشدید می‌شود. تغییرات آب و هوایی همچنین ممکن است بر استفاده از مواد غذایی از طریق تأثیرات بر منابع زیست محیطی، با پیامدهای بهداشتی مهم اضافی تأثیر بگذارد. برای مثال، کاهش دسترسی به آب در مناطق کم‌آب، به‌ویژه در مناطق نیمه گرمسیری، پیامدهای منفی مستقیمی برای پردازش و مصرف مواد غذایی دارد. در مقابل، افزایش خطر سیل در سکونتگاه‌های انسانی در نواحی ساحلی از هر دو افزایش سطح دریا و افزایش بارندگی‌های شدید ممکن است آلودگی مواد غذایی و بیماری‌ها را افزایش داده و الگوهای مصرف را کاهش دهد [۱۴].

#### ۴-۲ ریسک اقلیمی و انرژی

اجزای سیستم انرژی تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی، از طریق تغییرات بلند مدت در پارامترهای آب و هوا، تغییرپذیری و رویدادهای شدید آب و هوایی قرار دارند.

اثرات تغییر آب و هوا در سراسر سیستم انرژی مورد انتظار است. در سمت تقاضا، تعادل الگوهای تقاضای گرمایش و سرمایش به دلیل افزایش دما در حال تغییر است. در سمت عرضه، تأثیرات شامل تغییرات در میانگین‌ها و تنوع منابع بادی، خورشیدی و نیروی آبی است. در دسترس بودن محصولات زراعی برای مواد اولیه انرژی زیستی؛ هزینه‌ها و در دسترس بودن سوخت‌های فسیلی به دلیل ذوب شدن یخ‌های دریا و یخ‌های دائمی؛ راندمان پنل‌های PV، نیروگاه‌های حرارتی و خطوط انتقال به دلیل افزایش دما؛ از کار افتادن فناوری به دلیل تغییر در فراوانی و شدت رویدادهای شدید آب و هوایی از جمله این تأثیرات است [۱۲].

این اثرات فیزیکی پیامدهایی بر قابلیت اطمینان، هزینه و اثرات زیست محیطی محلی عرضه انرژی دارند. علاوه بر این، برخی از اثرات ممکن است منجر به افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی یا زیرساخت‌های تقویت شده و در نتیجه افزایش انتشار گازهای

<sup>1</sup> availability

<sup>2</sup> Access

گلخانه ای (GHG) شود. برای مثال، کاهش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش منابع انرژی تجدیدپذیر یا افزایش خطرات آسیب طوفان به زیرساخت‌های ساحلی.

بنابراین ما در اینجا بر تأثیرات طرف عرضه تمرکز می‌کنیم: بر منابع اولیه، فناوری‌های تولید و انتقال انرژی. عناصر سیستم انرژی تحت تأثیر تغییرات متوسط شرایط آب و هوایی، تغییرپذیری شرایط و فراوانی و شدت رویدادهای شدید آب و هوایی قرار می‌گیرند. مطالعات تأثیرات بر منابع بادی و نیروی آبی بر ادبیات غالب است، به دنبال آن منابع انرژی زیستی و عملکرد نیروگاه‌های حرارتی-الکتریک (TPPs) قرار دارند. اثرات تغییرات تدریجی بر پارامترهای آب و هوایی مانند دما و بارش بیش از تغییرات به رویدادهای شدید آب و هوایی مورد مطالعه قرار گرفته است، زیرا ابزارهای موجود توانایی محدودی برای ثبت رویدادهای شدید دارند [۱۲].

#### ۴-۲-۱ برق آبی

مطالعات جهانی در پیش‌بینی تأثیرات افزایش دما و تغییر الگوهای بارش بر تولید برق آبی متفاوت است: ترنر و همکاران (۲۰۱۷) پیش‌بینی می‌کنند که تغییرات آب و هوایی حتی در سناریوهای انتشار بالا تأثیر کمی بر پتانسیل کل منابع جهانی خواهد داشت، در حالی که ون ولیت و همکاران (۲۰۱۶) کاهش ظرفیت انرژی آبی جهانی را تا ۶.۱٪ در دهه ۲۰۸۰ پیش‌بینی کردند. مطالعات منطقه‌ای مختلف نشان دادند پتانسیل برق آبی برای اکثر مناطق در عرض‌های جغرافیایی بالا (کانادا، روسیه، شمال اروپا، شمال شرق چین) ۵ تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد و در مناطقی مانند جنوب اروپا، جنوب ایالات متحده آمریکا، جنوب شرقی چین و جنوب آمریکای جنوبی ۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد [۱۲].

#### ۴-۲-۲ بادی

با مرور ادبیات تأثیرات باد، پرایور و بارتلمی (۲۰۱۰) دریافتند که سرعت متوسط باد در سراسر اروپا و آمریکای شمالی تا پایان قرن در ۱۵٪ $\pm$  از مقادیر فعلی باقی خواهد ماند. این حد از آن زمان تا ۲۰٪ $\pm$  و ۳۰٪ $\pm$  تجدید نظر شده است. مطالعات محدود نشان می‌دهد که هیچ تغییر قابل توجهی در منابع باد در چین (چن و همکاران ۲۰۱۲) یا آفریقای جنوبی (فانت و همکاران ۲۰۱۶) وجود نخواهد داشت [۱۲].

#### ۴-۲-۳ خورشیدی

پیش‌بینی‌های تغییر آب و هوا بر این باورند که پوشش ابر در مناطق کم عرض تا میانی کاهش می‌یابد (پت و همکاران ۲۰۱۳). با این حال، افزایش در منابع خورشیدی اغلب با کاهش بازده به دلیل افزایش دما تعدیل می‌شود. به این ترتیب، مطالعات منطقه‌ای تمایل دارند تغییرات در تولید خورشیدی را کمتر از ۱۰٪ تا پایان قرن پیش‌بینی کنند [۱۲].

## ۴-۲-۴ موج

منبع موج به طور بالقوه تحت تأثیر تغییرات الگوهای باد و افزایش سطح دریا قرار می گیرد. با این حال، مطالعات محدود تغییری در تولید موج در خلیج فارس یا منورکا و در بریتانیا (کمتر از ۳ درصد) را نشان نمی دهند.

## ۴-۲-۵ انرژی زیستی

بسیاری از مقالات به افزایش آسیب به محصولات انرژی زیستی و زیرساخت های انرژی در اثر طوفان (بادهای شدید، سیل، رانش زمین) اشاره می کنند. میانگین بازده و مناطق مناسب برای رشد محصولات بیوانرژی تحت تأثیر افزایش دما و تغییر الگوهای بارش قرار می گیرند. به طور کلی، انتظار می رود بازده در عرض های جغرافیایی بالا افزایش یابد و در عرض های جغرافیایی پایین کاهش یابد، به عنوان مثال تا ۱۶-٪ و + ۲۸٪ در دهه ۲۰۵۰، اگرچه مطالعات به عدم قطعیت های زیادی در مورد اهمیت توسعه فن آوری و کوددهی CO<sub>2</sub> توجه می کنند [۱۲].

## ۴-۲-۶ نیروگاه های حرارتی

انتظار می رود افزایش دما به دلیل کاهش بازده حرارتی، خروجی نیروگاه را تقریباً ۰.۴-۰.۷ درصد در هر درجه کاهش دهد (چوانگ و سو ۲۰۰۵؛ دورمایزند سوگوت ۲۰۰۶؛ لینرودتال. ۲۰۱۱؛ ابراهیم و همکاران ۲۰۱۴). انتظار می رود کاهش منابع آب برای خنک سازی باعث کاهش بار یا خاموش شدن نیروگاه ها شود. به عنوان مثال، افزایش میانگین سالانه دمای ۳ درجه سانتی گراد می تواند باعث کاهش روزانه ظرفیت تولید تا ۳۶٪ در آلمان شود (Koch et al. 2014). در حالی که انتظار می رود برخی مناطق تحت تغییرات آب و هوایی ظرفیت افزایش یافته را تجربه کنند (هند و روسیه)، ظرفیت نیروگاه حرارتی سالانه جهانی احتمالاً در اواسط قرن ۲۱ تا ۱۲ درصد کاهش می یابد (van Vliet و همکاران ۲۰۱۶) [۱۲].

## ۴-۲-۷ خطوط انتقال

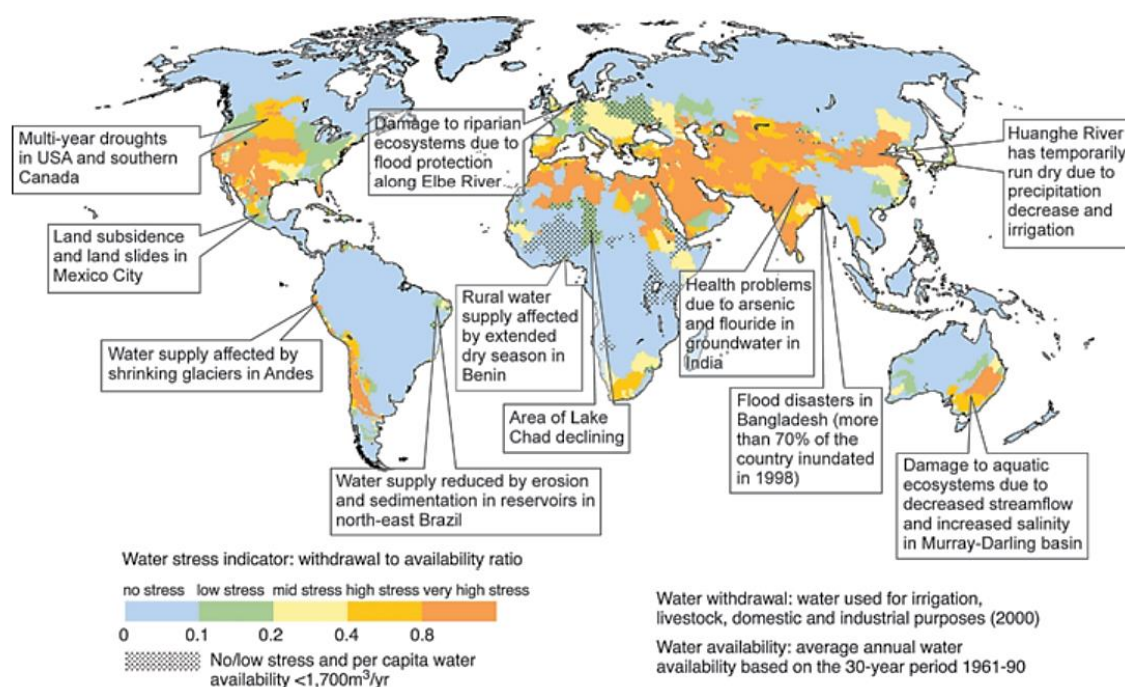
مطالعات محدود نشان می دهد که افزایش دما ظرفیت انتقال خطوط هوایی را کاهش می دهد: انتظار می رود این خطر در بریتانیا کم باشد (Cradden and Harrison 2013)، اما ممکن است در ایالات متحده در زمان اوج تقاضا در تابستان با کاهش تا حداکثر ۵.۸٪ قابل توجه باشد. (بارتوس و همکاران ۲۰۱۶). به طور فزاینده ای، پیش بینی می شود که طوفان های مکرر خطرات کمتری را برای خطوط برق در بریتانیا ایجاد کنند (مک کول و همکاران ۲۰۱۲)، اما ممکن است شاخص های قابلیت اطمینان را تا ۳۰ درصد در بخش هایی از روسیه افزایش دهند (تیوسوف و همکاران ۲۰۱۷) [۱۲].

## ۳-۴ ریسک اقلیمی و آب

گرمایش مشاهده شده در طی چندین دهه موجب تغییرات در چرخه هیدرولوژیکی در مقیاس بزرگ مانند افزایش محتوای بخار آب اتمسفر؛ تغییر الگوهای بارش، رویدادهای حدی و شدید؛ کاهش پوشش برف و ذوب گسترده یخ؛ و تغییرات در رطوبت خاک و روانابها شده است.

همانطور که می توان به وضوح در زمینه بین المللی مشاهده کرد، اهمیت آب شیرین برای سیستم پشتیبانی حیات ما به طور گسترده ای شناخته شده است. آب شیرین برای همه اشکال زندگی ضروری است و تقریباً در تمام فعالیتهای انسانی به مقدار زیاد مورد نیاز است [۱۴].

در ارزیابیهای جهانی، حوضههایی که دارای سرانه آب زیر ۱۰۰۰ متر مکعب در سال (براساس متوسط رواناب بلندمدت) یا نسبت برداشت به متوسط رواناب سالانه بلندمدت بالای ۰.۴ باشند، دارای تنش آبی تعریف می شوند. حجم آب ۱۰۰۰ مترمکعب سرانه در سال معمولاً بیشتر از مقدار مورد نیاز برای مصارف آب خانگی، صنعتی و کشاورزی است. چنین حوضههایی با تنش آبی در شمال آفریقا، منطقه مدیترانه، خاورمیانه، خاور نزدیک، آسیای جنوبی، شمال چین، استرالیا، ایالات متحده آمریکا، مکزیک، شمال شرقی برزیل و سواحل غربی آمریکای جنوبی قرار دارند. برآوردها برای جمعیتی که در چنین حوضههایی با تنش آبی زندگی می کنند، بین ۱.۴ میلیارد تا ۲.۱ میلیارد است [۱۴].



شکل ۴-۱ نمونه‌هایی از آسیب پذیری‌های فعلی منابع آب شیرین و مدیریت آنها

مصرف آب، به ویژه برای آبیاری، عموماً با دما افزایش می یابد و با بارندگی کاهش می یابد. با این حال، هیچ مدرکی برای روند بلندمدت مصرف آب مرتبط با اقلیم در گذشته وجود ندارد. این تا حدی به دلیل این واقعیت است که مصرف آب عمدتاً توسط عوامل غیراقلیمی هدایت می شود و همچنین به دلیل کیفیت پایین داده‌های مصرف آب کلی و داده‌های سری زمانی به طور خاص است [۱۴].

در دسترس بودن آب از منابع آب سطحی یا چاه‌های کم عمق آب زیرزمینی به تغییرات فصلی و بین سالانه جریان بستگی دارد و تامین آب مطمئن توسط جریان‌های کم فصلی تعیین می شود. در حوضه‌های تحت سلطه برف، دمای بالاتر منجر به کاهش جریان و در نتیجه کاهش عرضه آب در تابستان می شود .

در مناطق تحت تنش آب، مردم و اکوسیستم‌ها به‌ویژه در برابر کاهش و تغییر بارندگی به دلیل تغییرات آب و هوایی آسیب‌پذیرتر هستند.

آب در تمام اجزای سیستم اقلیمی (اتمسفر، هیدروسفر، کرایوسفر، سطح زمین و بیوسفر) نقش دارد. بنابراین، تغییرات آب و هوایی از طریق مکانیسم‌های متعددی بر آب تأثیر می گذارد. این بخش مشاهدات تغییرات اخیر در متغیرهای مرتبط با آب و پیش بینی تغییرات آینده را مورد بحث قرار می دهد.

چرخه هیدرولوژیکی با تغییرات دمای اتمسفر ارتباط تنگاتنگی دارد. گرم شدن سیستم آب و هوا در دهه‌های اخیر بدون تردید است، همانطور که اکنون از مشاهدات افزایش میانگین دمای جهانی هوا و اقیانوس‌ها، ذوب گسترده برف و یخ و بالا آمدن سطح دریاهای جهانی مشهود است [۱۴].

### تغییرات مرتبط با آب مشاهده شده در اقلیم

- بارش (شامل شدید) و بخار آب
- برف و یخ سطحی
- سطح دریا
- تبخیر و تعرق
- رطوبت خاک
- رواناب و دبی رودخانه

### ۴-۳-۱ تأثیرات مشاهده شده تغییر اقلیم

#### یخچال‌های طبیعی کوهستانی و کلاهک‌های یخی، صفحات یخی و قفسه‌های یخی

اثرات تغییرات یخچال‌های طبیعی کوهستانی و کلاهک‌های یخی در رواناب‌ها و تغییر شرایط مخاطره آمیز ثبت شده است. همچنین شواهد در حال ظهوری از بالا آمدن پوسته فعلی در پاسخ به ذوب اخیر یخچال‌های طبیعی در آلاسکا وجود دارد.

#### پوشش برفی و زمین یخ زده

به دلیل پوشش کمتر برف ، جریان اوج رودخانه بهاری ۱ تا ۲ هفته زودتر در طول ۶۵ سال گذشته در آمریکای شمالی و شمال اوراسیا رخ داده است. همچنین شواهدی مبنی بر افزایش جریان پایه زمستانی در شمال اوراسیا و آمریکای شمالی و همچنین روند اندازه گیری شده به سمت کاهش برف در ارتفاعات کم وجود دارد که بر مناطق اسکی تأثیر می گذارد [۱۴].

### تغییرات در سیستم‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی

مطالعات زیادی در رابطه با روند جریان رودخانه در طول قرن بیستم در مقیاس‌های مختلف از حوضه آبریز تا جهانی انجام شده است. برخی از این مطالعات روندهای قابل توجهی را در برخی از شاخص‌های جریان رودخانه شناسایی کرده‌اند و برخی ارتباط آماری معنی‌داری را با روند دما یا بارش نشان داده‌اند. اما هیچ روند همگنی در سطح جهانی گزارش نشده است. با این حال، بسیاری از مطالعات هیچ روندی را پیدا نکرده‌اند، یا نتوانسته‌اند اثرات تغییرات دما و بارندگی را از اثرات مداخلات انسانی در حوضه، مانند تغییر کاربری زمین و ساخت مخزن جدا کنند [۱۴].

## کیفیت آب

گرم شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها ناشی از آب و هوا در دهه‌های اخیر مشاهده شده است. در نتیجه، اکوسیستم‌های آب شیرین تغییراتی را در ترکیب گونه‌ها، فراوانی ارگانیسم‌ها، بهره‌وری و تغییرات فنولوژیکی (از جمله مهاجرت ماهیان اولیه) نشان داده‌اند. همچنین به دلیل گرم شدن، بسیاری از دریاچه‌ها لایه بندی طولانی مدت با کاهش غلظت مواد مغذی لایه سطحی، و کاهش طولانی مدت اکسیژن در لایه‌های عمیق تر را نشان داده‌اند. به دلیل تأثیرات انسانی قوی که به تغییرات آب و هوایی مربوط نمی شود، شواهدی برای روندهای مرتبط با اقلیم در سایر پارامترهای کیفیت آب (مانند شوری، عوامل بیماری‌زا یا مواد مغذی) در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی وجود ندارد [۱۴].

## سیل

انواع فرآیندهای اقلیمی و غیراقلیمی بر فرآیندهای سیل تأثیر می‌گذارند که منجر به سیل رودخانه‌ها، سیلاب‌های ناگهانی، سیلاب‌های شهری، سیلاب فاضلاب، سیلاب‌های طغیان دریاچه‌های یخچالی و سیل‌های ساحلی می‌شود. این فرآیندهای تولید سیل شامل بارش شدید و یا طولانی مدت، ذوب برف، شکستن سد، کاهش انتقال به دلیل تجمع یخ یا رانش زمین یا طوفان است [۱۴]. سیل به شدت بارندگی، حجم، زمان، فاز (باران یا برف)، شرایط پیشین رودخانه‌ها و حوضه‌های زهکشی آنها (به عنوان مثال وجود برف و یخ، ویژگی و وضعیت خاک (یخ زده یا نه، اشباع یا غیر اشباع)، رطوبت، میزان و زمان ذوب برف یا یخ، شهرنشینی، وجود دایک‌ها، سدها و مخازن) بستگی دارد. تجاوز انسان به دشت‌های سیلابی و عدم وجود طرح‌های مقابله با سیل، پتانسیل خسارت را افزایش می‌دهد. در شدت بارندگی و سایر تغییرات آب و هوایی افزایش مشاهده شده است، به عنوان مثال، افزایش الگوهای آب و هوای غربی در طول زمستان در اروپا، که منجر به سیستم‌های کم فشار بسیار بارانی می‌شود که اغلب باعث سیل می‌شود. تحقیقات نشان دادند که تغییرات آب و هوایی ممکن است بر شدت و فراوانی سیل تأثیر داشته باشد [۱۴].

## خشکسالی

اصطلاح خشکسالی ممکن است به خشکسالی هواشناسی (بارندگی بسیار کمتر از حد متوسط)، خشکسالی هیدرولوژیکی (جریان رودخانه کم و سطح پایین آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی)، خشکسالی کشاورزی (رطوبت کم خاک) و خشکسالی محیطی (ترکیبی از حالت‌های بالا) گفته شود. اثرات اجتماعی و اقتصادی خشکسالی ممکن است از تعامل بین شرایط طبیعی و عوامل انسانی مانند تغییر کاربری زمین، پوشش زمین و تقاضا و استفاده از آب ناشی شود. برداشت بیش از حد آب می‌تواند تأثیر خشکسالی را تشدید کند [۱۴].

جدول ۲ نمونه‌هایی از تأثیرات احتمالی تغییر اقلیم به دلیل تغییرات در آب و هوا و رویدادهای حدی اقلیمی مرتبط با بارش، بر اساس پیش‌بینی‌ها از اواسط تا اواخر قرن ۲۱. برآوردهای احتمال در ستون ۲ مربوط به پدیده‌های فهرست شده در ستون ۱ است. جهت روند و احتمال وقوع پدیده

Phenomenon <sup>a</sup> and direction of trend	Likelihood of future trends based on projections for 21st century using SRES scenarios	Examples of major projected impacts by sector			
		Agriculture, forestry and ecosystems [4.4, 5.4]	Water resources [3.4]	Human health [8.2]	Industry, settlements and society [7.4]
Heavy precipitation events: frequency increases over most areas	Very likely	Damage to crops; soil erosion; inability to cultivate land due to waterlogging of soils	Adverse effects on quality of surface and groundwater; contamination of water supply; water scarcity may be relieved	Increased risk of deaths, injuries and infectious, respiratory and skin diseases	Disruption of settlements, commerce, transport and societies due to flooding; pressures on urban and rural infrastructures; loss of property
Area affected by drought increases	Likely	Land degradation, lower yields/crop damage and failure; increased livestock deaths; increased risk of wildfire	More widespread water stress	Increased risk of food and water shortage; increased risk of malnutrition; increased risk of water- and food-borne diseases	Water shortages for settlements, industry and societies; reduced hydropower generation potentials; potential for population migration
Intense tropical cyclone activity increases	Likely	Damage to crops; windthrow (uprooting) of trees; damage to coral reefs	Power outages causing disruption of public water supply	Increased risk of deaths, injuries, water- and food-borne diseases; post-traumatic stress disorders	Disruption by flood and high winds; withdrawal of risk coverage in vulnerable areas by private insurers; potential for population migrations; loss of property

<sup>a</sup> See Working Group I Fourth Assessment Table 3.7 for further details regarding definitions.

جدول ۳ تغییرات مشاهده شده در رواناب، جریان رودخانه، سطح دریاچه و سیل، خشکسالی.

Environmental factor	Observed changes	Time period	Location
Runoff/streamflow	Annual increase of 5%, winter increase of 25–90%, increase in winter base flow due to increased melt and thawing permafrost	1935–1999	Arctic Drainage Basin: Ob, Lena, Yenisey, Mackenzie
	1–2 week earlier peak streamflow due to earlier warming-driven snowmelt	1936–2000	Western North America, New England, Canada, northern Eurasia
Floods	Increasing catastrophic floods of frequency (0.5–1%) due to earlier break-up of river ice and heavy rain	Recent years	Russian Arctic rivers
Droughts	29% decrease in annual maximum daily streamflow due to temperature rise and increased evaporation with no change in precipitation	1847–1996	Southern Canada
	Due to dry and unusually warm summers related to warming of western tropical Pacific and Indian Oceans in recent years	1998–2004	Western USA
Water temperature	0.1–1.5°C increase in lakes	40 years	Europe, North America, Asia (100 stations)
	0.2–0.7°C increase (deep water) in lakes	100 years	East Africa (6 stations)
Water chemistry	Decreased nutrients from increased stratification or longer growing period in lakes and rivers	100 years	North America, Europe, Eastern Europe, East Africa (8 stations)
	Increased catchment weathering or internal processing in lakes and rivers	10–20 years	North America, Europe (88 stations)

## ۴-۴ همبست آب، انرژی و غذا با در نظر گرفتن ریسک اقلیمی برای آفریقای جنوبی

پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم برای منطقه جنوب آفریقا نشان می‌دهد که بیشترین تأثیرات از محل منابع آب احساس می‌شود که می‌تواند به شدت بر تولید غذا و تولید انرژی تأثیر بگذارد.

انتظار می‌رود بارندگی سالانه تا سال ۲۰۸۰ در جنوب آفریقا ۲۰ درصد کاهش یابد و این می‌تواند چالش‌های ناامنی آب و

غذا را بدتر کند، به ویژه در کشورهایی که در حال حاضر با کمبود منابع مواجه هستند. چالش‌ها با افزایش جمعیت و رشد صنعتی



تشدید می شوند. این عوامل استرس را از قبل آشکارا بر تولید و عرضه انرژی و همچنین امنیت غذا و آب تأثیر منفی می گذارد و بر اهداف توسعه منطقه تأثیر می گذارد. بنابراین، پیوند WEF فرصتی برای مدیریت هماهنگ منابع برای توسعه پایدار، ارتقای همکاری‌های منطقه‌ای، تضمین امنیت منطقه‌ای و کاهش آسیب‌پذیری‌های منطقه‌ای ارائه می‌دهد [۱۰].

تغییرات اقلیمی باعث تغییرات شدید در توزیع رویشگاه گیاهان شده و بر محصول و امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد. تغییرات در توزیع رویشگاه به دلیل بارندگی کم، افزایش تنوع بارندگی و افزایش فراوانی و شدت خشکسالی و سیل است. از آنجایی که آب کلید پیوند WEF است، کاهش مجموع بارندگی در نتیجه بر تولید انرژی و تولید غذا تأثیر می‌گذارد و امنیت منطقه را به خطر می‌اندازد [۱۰].

تکرار و شدت خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها آسیب‌پذیری منطقه را همواره بدتر می‌کند و تهدیدی برای معکوس کردن دستاوردهای اقتصادی گذشته است. منابع فرامرزی منطقه جنوب آفریقا فرصتی برای همکاری منطقه‌ای در برنامه‌ریزی منابع ارائه می‌کند و مسیری برای ارتقای انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی و کاهش این آسیب‌پذیری‌ها است. به عنوان مثال، تأثیر خشکسالی ۲۰۱۵ نوسانات جنوبی ال نینو (ENSO) همه کشورهای منطقه را تحت تأثیر قرار داد و باعث شد بیش از ۴۰ میلیون نفر (۱۴ درصد از جمعیت جنوب آفریقا) در ناامنی غذایی قرار داشته باشند. سطح آب سد کاهش یافت و بازده محصولات کاهش یافت و باعث ناامنی انرژی و غذایی شد. علاوه بر این، سطح آب دریاچه کاریبا (مشترک بین زامبیا و زیمبابوه) در فوریه ۲۰۱۶ به ۱۲ درصد از ظرفیت آنها در مقایسه با ۵۳ درصد ثبت شده در همان زمان در سال ۲۰۱۵ در دوره خشکسالی کاهش یافت. در نتیجه، تولید برق سالانه بالقوه بیش از ۵۰ درصد کاهش یافت. به طور مشابه، در اکتبر ۲۰۱۵، تانزانیا مجبور شد تمام نیروگاه‌های آبی خود را به دلیل سطح پایین آب سد خاموش کند که باعث کاهش ۲۰ درصدی در تولید برق آبی شد. تانزانیا از آن زمان برخی از نیروگاه‌های برق آبی خود را به گاز طبیعی تبدیل کرده است. در سطح جنوب آفریقا، ظرفیت عملیاتی موجود در سال ۲۰۱۶ برابر با ۴۶۹۱۰ مگاوات در برابر تقاضای ۵۵۰۹۳ مگاوات بود. خشکسالی ۲۰۱۶/۲۰۱۵ آنقدر شدید بود که باعث تلف شدن ۶۴۳۰۰۰ دام و کسری ۵.۱ میلیون تن ذرت (محصول اصلی در منطقه) شد که نسبت به سال قبل ۱۵ درصد کاهش تولید داشت. در نتیجه، منطقه مجبور شد وضعیت اضطراری خشکسالی را اعلام کند و درخواستی ۲.۷ میلیارد دلاری برای کمک به خشکسالی به جامعه بین‌المللی ارائه کند [۱۰].

ناهنجاری‌های بارندگی در منطقه از طریق تغییرات بارندگی دریافتی در طول فصل بارندگی ۱۷/۲۰۱۶ مشهود است. در طول فصل بارندگی ۱۷/۲۰۱۶، زیمبابوه بارندگی کافی داشت. که منجر به برداشت فراوان غلات شد، با این حال استان کیپ غربی آفریقای جنوبی دچار خشکسالی شد، که باعث شد سطح آب سد به حد حاد برسد تا جایی که دولت ملی مجبور شد ۶ میلیون دلار برای کمک‌های امدادی به این استان بودجه اختصاص دهد. آفریقای جنوبی با بارندگی کم و خشکسالی‌های خفیف تا شدید مکرر مشخص می‌شود که به طور متوسط یک بار در سه فصل کشاورزی مطابقت دارد و این شرایط مانع از تولید کشاورزی در سراسر کشورهای جنوب آفریقا، به ویژه آفریقای جنوبی می‌شود. چنین خشکسالی‌هایی بر اکثر کشاورزانی تأثیر می‌گذارد که همچنان حجم بالایی از محصولات و دام را از دست می‌دهند [۱۰].

چالش‌ها در جنوب آفریقا معمولاً در بین کشورهای عضو ماهیت مشابهی دارند و یک رویکرد یکپارچه برای مدیریت منابع در سطح منطقه‌ای ممکن است نتایج مطلوب را به همراه داشته باشد. از آنجایی که منابع وسیع و بهره برداری نشده در منطقه به طور نابرابر در حوضه‌های رودخانه‌های فرامرزی توزیع شده است، پیوند WEF می‌تواند مسیری برای ایجاد تاب آوری و کاهش آسیب پذیری‌هایی باشد که در منطقه نفوذ می‌کند. با این حال، اجرای موفقیت‌آمیز پیوند در سطح منطقه‌ای مستلزم تعهد کشورهای عضو است که با حمایت از نوآوری‌های تکنولوژیکی امکان تولید مواد غذایی بیشتری با منابع کمتر را فراهم می‌کند. اتخاذ رویکرد پیوندی گامی رو به جلو در جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار در زمینه ریشه کنی فقر، گرسنگی صفر، بهره‌مندی از آب همه، و تامین انرژی پاک خواهد بود. ماهیت مشترک و فرامرزی منابع جنوب آفریقا نشان می‌دهد که اگر تلاش‌های توسعه‌ای در سطح منطقه‌ای به جای سطح ملی متمرکز شود، دستاوردهای بیشتر و چشم‌اندازهای موفقیت بیشتری وجود دارد. باز کردن قفل توسعه در سطح منطقه در نهایت باعث پیشرفت بیشتر در سطح ملی می‌شود و امکان یکپارچگی واقعی و توسعه فراگیر را فراهم می‌کند. گنجاندن تفکر پیوندی در توسعه برنامه‌های سرمایه‌گذاری کشاورزی برای پایداری ارزشمند خواهد بود [۱۰].

## ۵ فهرست منابع و مراجع

- [1] Jiangyu Dai, Shiqiang Wu, et. al., (2018), *Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment*, Applied Energy, 210, 393-408.
- [2] Jianguo Li, Vanessa Hull, H. Charles J. Godfray, et. al., (2018), *Nexus approaches to global sustainable development*, Nature Sustainability, 1, 466-476.
- [3] Cuiping Tan, Qiang Zhi, (2016). *The Energy-Water Nexus: A literature Review of the Dependence of Energy on Water*, Energy Procedia, 88, 277 – 284.
- [4] Mark Howells, Sebastian Hermann, Manuel Welsch, et. al., (2013), *Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies*, Nature Climate Change, 3, 621-626.
- [5] Howells M, Rogner H, Strachan N, Heaps C, Huntington H, Kypreos S, et al. (2011), *OSeMOSYS: the open-source energy modeling system: an introduction to its ethos*, structure and development. Energy Policy, 39, 5850-70.
- [۶] M. Tesfaye, S. Moges , et al., *Long-term water-energy-food security and resources sustainability: a case study of Ethiopia by 2030 and 2050*, (2021), *International Journal of Energy and Water Resources*
- [۷] گزارش الگوی پیشنهادی برای مدیریت و حکمرانی توسعه سواحل مکران، (۱۳۹۷)، مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری.
- [۸] سند توسعه منطقه ساحلی مکران، سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۹
- [9] J. Manyika, S. Smit, J. Woetzel, (2020), *Climate risk and response- Physical hazards and socioeconomic impacts*, McKinsey Global Institute.
- [10] L. Nhamo, B. Ndlela, C. Nhemachena, et.al., (2018), *The Water-Energy-Food Nexus: Climate Risks and Opportunities in Southern Africa*, Water, 10:567.
- [11] R. Froese, J. Schilling, (2019), *The Nexus of Climate Change, Land Use, and Conflicts*, Current Climate Change Reports, 5:24-35.
- [12] J. Cronin, G. Anandarajah, O. Dessens, (2018), *Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps*, Climatic Change, 151:79-93.
- [13] D. Eckstein, V. Künzel, L. Schäfer, (2021), *GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2021*, Climatic Change, Germanwatch e.V.
- [14] B. Bates, Z. Kundzewicz, S. Wu, (2008), *Climate change and water*, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- [15] J. Zscheischler, S. Westra, B. Hurk, et. Al., (2018), *Future climate risk from compound events*, Nature Climatic Change, V. 8 : 469-477.