محیط‌زیست و توسعه، سال ۱٤، شماره ۲۷، بهار و تابستان ۱٤۰۲، از صفحه ۲۱ تا ۳٤

جایگاه سناریو «مسیرهای معرف غلظت» در سیر تکاملی سناریوهای تغییراقلیم

ناصر باقری‌مقدم[۱]، محمدعلی احمدی*[۲]، مجید عباس‌پور[۳]، امیر ناظمی‌اشنی[٤]

۱. دکترای مدیریت تکنولوژی، عضو هیات علمی گروه پژوهشی سیاست فناوری و نوآوری، گروه آینده پژوهی، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، تهران، ایران.
۲. دانشجوی دکتری آینده‌پژوهی، گروه پژوهشی مطالعات آینده علم و فناوری، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، تهران، ایران.
۳. دکترای مهندسی سیستم‌های محیط، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
٤. دکترای مدیریت تکنولوژی، عضو هیات علمی گروه پژوهشی مطالعات آینده علم و فناوری، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۹/۰۸ تاریخ تصویب: ۱٤۰۲/۰٤/۱۹)

چکیده

پیشرفت دهه‌های گذشته در علم و فناوری و مشاهدات مربوط به افزایش میانگین دمای کرهٔ زمین موجب تقویت نظریهٔ گازهای گلخانه‌ای و تاکید دولت‌ها در پیگیری اهداف تثبیت دمای کرهٔ زمین تا ۲ درجه سانتی‌گراد و تلاش برای حفظ آن تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد با رویکرد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شد. در این پژوهش با معرفی اجمالی نظریهٔ تغییر اقلیم، به بررسی پارامترهای تغییر اقلیم طی دهه‌های گذشته پرداخته شده است و تاریخچه اقدامات بین‌المللی در پیگیری اهداف تثبیت دمای کرهٔ زمین مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به جایگاه و اهمیت استفاده از سناریو به عنوان یکی از ابزارهای موثر در پژوهش‌های تغییر اقلیم پرداخته شده است و سناریوهای موجود در پژوهش‌های تغییر اقلیم در چهار دستهٔ «سناریوهای انتشار»، «سناریوهای اقلیم»، «سناریوهای محیط‌زیستی» و «سناریوهای آسیب‌پذیری» مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین روند توسعهٔ سناریو در پژوهش‌های تغییر اقلیم، و به طور خاص سناریوهای هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم را از نسل اول تا نسل چهارم مورد ارزیابی و مقایسه تطبیقی قرار داده شد. به‌طور خاص، تفاوت نسل چهارم این سناریوها که پارادایم جدیدی در طرح‌ریزی سناریو بوده است را در تغییر از یک فرایند سری به فرایندی موازی، مورد بررسی و اهمیت و ضرورت تهیه‌ی این سناریو در حوزه تغییراقلیم مورد ارزیابی قرار گرفت. در انتها به تشریح دقیق‌تر سناریوهای «مسیرهای معرف غلظت» از نسل چهارم سناریوهای تغییر اقلیم پرداخته شده است و پیشنهادهایی برای استفاده از این سناریو در مطالعات تغییر اقلیم و تهیه برنامه‌ها و سیاست‌های ملی ارایه شده است.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، سناریو، مسیرهای معرف غلظت، سیاست‌گذاری علم و فناوری، محیط‌زیست.

* نویسنده مسئول:
Email: mohammadali.ahmady@gmail.com
DOI: 10.22034/eiat.2024.206071

سرآغاز

پیشرفت جامعه بشری در علم و فناوری از یک سو و ثبت داده‌های علمی و مشاهدات دانشمندان مبنی بر افزایش میانگین دمای کره زمین در قرن بیستم (Schmidt & Vose, 2020) از سوی دیگر منجر به تقویت و یکه تازی نظریه تغییراقلیم گازهای گلخانه‌ای طی دهه‌های گذشته شد. گردهمایی اندیشمندان و به تبع آن دولت‌ها و ایجاد چارچوب کنوانسیون تغییر اقلیمی سازمان ملل متحد در سال ۱۹۹۲ (Agrawala, 1998) و گردهمایی سالیانه اعضای کشورهای عضو در جهت پیگیری اهداف این کنوانسیون، یکی از مهم‌ترین بسترهای سیاست‌گذاری در حوزه تغییر اقلیم و مقابله با پدیده گرمایش جهانی بوده‌است. هدف اصلی این کنوانسیون، تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های صنعتی در سطحی بود که از آسیب‌های ناشی از تغییر اقلیم بر زندگی انسان و حیات روی کره زمین بکاهد (کنوانسیون تغییر اقلیم، ۱۹۹۲).

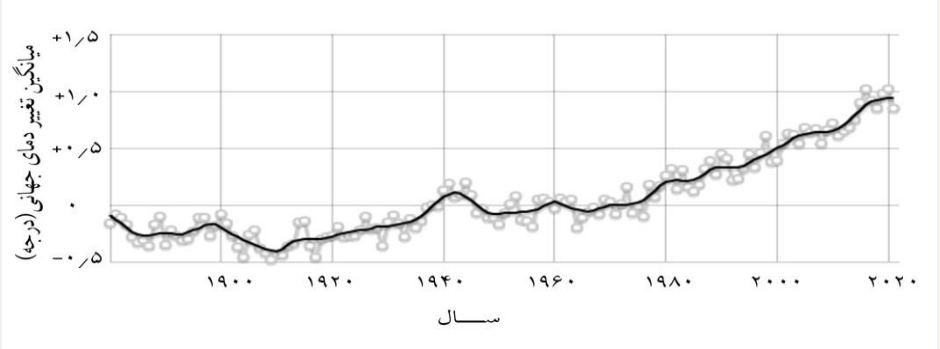
همگام با این اقدامات سیاستی، شبکه‌ای جهانی از سازمان‌ها و نهادهای مختلف ملی و بین‌المللی از جمله «هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم[۱]» تأسیس شدند و به پیگیری ابعاد علمی مسأله تغییر اقلیم و ارایه راهکارهای ملی، منطقه‌ای و بین المللی در این خصوص پرداختند. این نهادها طی سه دهه گذشته، همواره در جهت بهبود درک تاثیرات متقابل و پیچیده سیستم اقلیمی و سیاست‌ها و فعالیت‌های انسانی، استفاده از روش‌های آینده پژوهی و به طور خاص، خلق و به‌کارگیری سناریوها را در دستورکار خود قرار داده‌اند. این سناریوها توصیف‌های قابل قبولی از وضعیت آتی در حوزه‌های کلیدی از جمله حوزه‌های اجتماعی‌اقتصادی، فناوری، محیط زیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای فراهم می‌نمایند.

هرچند به طور مرسوم سناریوهای حوزه تغییراتاقلیم با استفاده از یک فرایند زنجیره‌ای گام به گام و البته وقت‌گیر انتقال اطلاعات بین حوزه‌های علمی مجزا توسعه یافته بودند (Moss et al., 2010)، اما در دهه اخیر گروهی از دانشمندان اقلیم، اقتصاددانان و مدل سازان سیستم‌های انرژی از سراسر جهان، فرایند جدید موازی و هماهنگی در جهت توسعه سناریوها طرح‌ریزی کردند که وقفه زمانی بین خلق سناریوهای انتشار، استفاده از آنها در مدل‌های اقلیمی و نهایتا استفاده از سناریوهای اقلیم در پژوهش‌های مرتبط با بررسی اثرات، انطباق‌پذیری و آسیب‌پذیری را از بین برد همبستگی بیشتری بین پژوهش‌ها ایجاد نمود.

مقاله حاضر به بررسی وضعیت تغییر اقلیم و سیر توسعه سناریوهای حوزه تغییر اقلیم و روند پیشرفت آن توسط جوامع علمی و نهادهای سیاستی طی دهه اخیر پرداخته‌است. تمرکز اصلی مقاله، مروری بر دستاوردهای جدید در خصوص سناریوهای «مسیرهای معرف غلظت[۲]» بوده و در انتها پیشنهادهایی جهت استفاده از این سناریوها در تدوین برنامه‌ها و سیاست‌های ملی ارایه شده‌است.

تغییر اقلیم

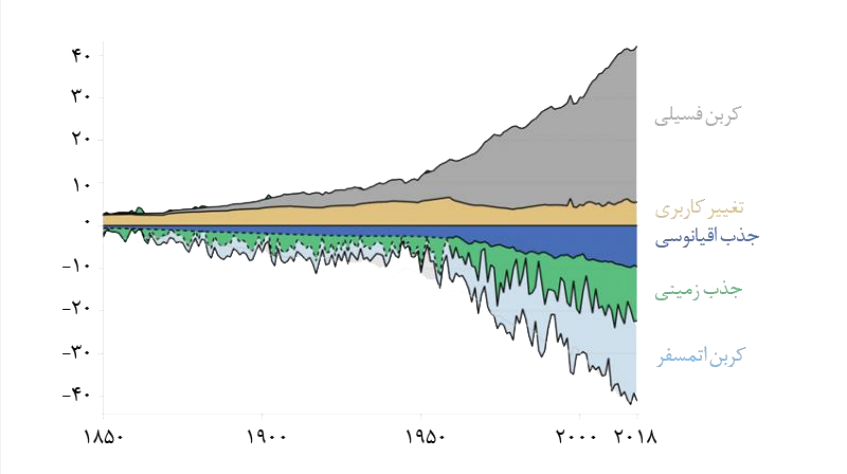
تغییر اقلیم یا گرمایش جهانی، نام پدیده‌ای است که به اعتقاد بسیاری از کارشناسان منجر به افزایش میانگین دمای زمین و سطح اقیانوس‌ها شده‌است. اگرچه این تغییرات در دوره‌های زمانی گذشته نیز وجود داشته است (شکل ۱)، اما بشر از اواسط قرن بیستم به تأثیر بی‌سابقه اقدامات خود بر سیستم اقلیمی[۳] زمین از طریق اثر گلخانه‌ای پی برد. اثر گلخانه‌ای پدیده‌ای است که در آن با تابش نور خورشید به سطح زمین، مقداری از انرژی جذب جو شده و زمین را گرم می‌کند(گزارش ارزیابی اول، ۱۹۹۰).



شکل (۱): نمودار تغییر دمای جهانی از سال ۱۸۸۰تا ۲۰۲۰ (Akay, 2021)

گازهای گلخانه‌ای

گازهای گلخانه‌ای به گازهایی در جو گفته می‌شود که در محدوده فرو سرخ، به جذب و انتشار پرتوها می‌پردازند و در نتیجه آن پدیده گلخانه‌ای در زمین رخ می‌دهد. این گازها از دو منشأ طبیعی و انسانی تولید می‌شوند. این منابع در اصطلاح چشمه‌های[۴] گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند. از طرفی مقدار گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییر و تحولات شیمیایی در جو یا توسط منابع جذب کننده این گازها که اصطلاحا چاهک[۵] نامیده می‌شوند، کاهش می‌یابد. میزان کربن‌دی‌اکسید موجود در اتمسفر با تراز حاصل از میزان انتشار از چشمه‌ها و میزان جذب توسط چاهک‌ها همچون زمین و اقیانوس تعیین می‌شود. تولید بیش ازمیزان جذب توسط جنگل‌ها، سایر پوشش‌های گیاهی و اقیانوس‌ها، غلظت جوی را افزایش می‌دهد (شکل ۲) (Sathaye & Meyers, 1995). مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای موجود در جو زمین که به‌طور طبیعی در آن وجود دارند شامل بخارآب[۶]، دی‌اکسیدکربن[۷]، اکسیدنیترو[۸]، متان[۹]، ازن[۱۰] می‌باشند. از مهم ترین گازهای گلخانه‌ای که از فعالیت‌های بشری، بر میزان بسیاری از این گازها در جو افزوده است می‌توان به کلروفلوئوروکربن‌ها[۱۱]، هیدروفلوئوروکربن‌ها[۱۲] و پرفلوئوروکربن‌ها[۱۳] اشاره نمود (Meinshausen et al., 2020).



شکل (۲): میزان انتشار دی‌اکسید کربن چشمه‌ها و جذب توسط چاهک‌ها (Friedlingstein, 2020)

اگرچه قدمت نظریه گازهای گلخانه‌ای به بیش از صد سال گذشته باز می‌گردد، اما فعالیت‌های انسانی در جهت تعیین غلظت گازهای گلخانه‌ای و بررسی دقیق رو به رشد آن، از اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی آغاز شد (Agrawala, 1998). از آنجا که اثر هر یک از این گازها بر تغییر اقلیم متفاوت است، معمولا گاز دی‌اکسیدکربن به عنوان مبنای تعیین میزان تاثیر گاز گلخانه‌ای بر گرمایش زمین، درنظرگرفته می‌شود و پتانسیل گرمایش سایر گازها نسبت به این گاز سنجیده می‌شود (جدول ۱). روند انتشار گازهای گلخانه‌ای کشورها هرساله توسط سازمان‌های ملی و بین‌المللی مختلفی ارایه می‌گردد. از جمله معتبرترین منابع داخلی ارایه آمار انتشار می‌توان به «ترازنامه انرژی وزارت نیرو»، «ترازنامه هیدروکربوری وزارت نفت» و «گزارش‌های دفتر طرح ملی تغییر اقلیمی سازمان حفاظت محیطزیست» اشاره نمود. از مهم ترین منابع بین المللی ارایه امار انتشار نیز می‌توان به «پایگاه داده گازهای آلاینده تحقیقات جهانی جوی» وابسته به «مرکز تحقیقات مشترک اتحادیه اروپا»، «آژانس بین‌المللی انرژی» اشاره نمود.

اگر چه تغییرات دمایی کنونی طی دهه‌های گذشته در حدود ۰/۹درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۱) اما بر اساس تحقیقات و ارزیابی‌های انجام شده، افزایش غلظت دی اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰ موجب افزایش دمای کشورها از جمله ایران به میزانی بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد خواهد شد که این مسئله تغییرات محسوسی را در منابع آبی، میزان تقاضای انرژی، تولیدات کشاورزی و نواحی ساحلی موجب خواهد شد. این امر منجر به اثرات زیان آور مستقیم از جمله تغییر الگوی دمایی، کاهش منابع آبی، افزایش سطح دریاها، تخریب نواحی ساحلی،

از بین رفتن محصولات کشاورزی و غذایی، تخریب جنگل، تناوب و تشدید خشکسالی و تهدید سلامت انسان‌ها خواهدشد. از اثرات غیر مستقیم تغییر اقلیم نیز می‌توان به آسیب‌های اقتصادی ناشی از اقدامات مقابله‌ای کشورهای توسعه یافته اشاره کرد (Solomon, 2007).

جدول (۱): مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای و توان گرمایشی هر گاز (Solomon et al., 2007)

نام متداول	مقادیر توان گرمایشی گاز برای افق زمانی یکصد ساله در گزارش هیات بین الدولی تغییر اقلیم		
	گزارش ارزیابی دوم	گزارش ارزیابی چهارم	گزارش ارزیابی پنجم
کربن دی‌اکسید	۱	۱	۱
متان	۲۱	۲۵	۲۸
نیتروس اکسید	۳۱۰	۲۹۸	۲۶۵
کلرو فلوئور کربن‌ها	~۳۸۰۰	~۴۷۵۰	~۴۶۶۰
هیدرو فلوئورو کربن‌ها	~۱۱۷۰۰	~۱۴۸۰۰	~۱۲۴۰۰
هیدرو کربن‌ها و سایر ترکیبات	~۹	~۸/۷	~۹

تاریخچه اقدامات بین المللی

شروع آسیب‌های جدی به محیطزیست در دهه ۶۰ میلادی و حوادث عظیم محیطزیستی آن سال‌ها، به تدریج نوعی نگرانی را برای دولت‌ها و ملت‌ها در خصوص آلودگی آب، هوا و بهره‌برداری از منابع فسیلی ایجاد نمود. این نگرانی بین‌المللی در خصوص حفاظت از محیطزیست، چندی بعد و به کوشش سازمان ملل متحد در یک کنفرانس در سال ۱۹۷۲ در شهر استکهلم سوئد، منتهی به تصویب اعلامیه محیطزیست بشر شد. سال‌ها بعد و در سال ۱۹۸۸ میلادی، «هیئت بین دولتی تغییر اقلیم» در جهت ارزیابی تغییر اقلیم با اذعان به نقش انسان در تولیدگازهای گلخانه‌ای و پتانسیل آن برای تغییر سیستم اقلیمی توسط «برنامه تغییر اقلیم سازمان ملل متحد[۱۴]» و «سازمان جهانی هواشناسی[۱۵]» تأسیس شد و اولین گزارش خود در این خصوص را دو سال بعد منتشر کرد (Agrawala, 1998).

پیرو این گزارش، در ژوئن سال ۱۹۹۲ و در «اجلاس زمین» که در ریودوژانیرو برزیل، تشکیل شد، دولت‌ها با پذیرش «کنواسیون تغییر اقلیم سازمان ملل»، بستری برای پذیرش تعهدات از سوی کشورها را فراهم نمودند. این کنوانسیون با هدف تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های صنعتی در سطحی که از آسیب‌های ناشی از تغییر اقلیمی بر زندگی انسان و حیات روی زمین بکاهد، تشکیل و از ۲۱ مارس ۱۹۹۴ اجرایی گردید که تا کنون ۱۸۶ کشور آن را امضاء کرده‌اند.

در اولین اقدام، این کنفـرانس در سـال ۱۹۹۵ در بـرلین به عدم تناسب تعهدات کشورهای توسعهٔ افته با اهداف کنوانسیون اشاره نمود تا بعد از یک تلاش دو ساله، در اجلاسی که در سال ۱۹۹۷ به میزبانی ژاپن در کیوتو برگزار شد، پروتکل کیوتو تصویب شود. این پروتکل اگر چه محدودیت‌هایی را در انتشار گازهای گلخانه‌ای از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ برای کشورهای صنعتی اعمال کرد، اما بیشتر از سوی این کشورها از جمله آمریکا نقض شد. با این حال در سال ۲۰۱۲ در دوحه، مقرر شد تا پیمان کیوتو و مکانیزم‌های آن تا سال ۲۰۲۰ ادامه یابد که البته این نتیجه هیچ‌گاه الزام آور نشد .

در ادامه همین سیاست‌ها، جامعه بین‌المللی در راستای سیاست‌های تغییراقلیم در سال ۲۰۱۰ تصمیم به ترسیم هدفی گرفت تا براساس آن کره زمین تا پایان قرن ۲۱ بیشتر از ۲ درجه سانتی‌گراد گرم نشود. اقدامات اجرایی در خصوص این هدف گذاری از یکسو و از سویی دیگر عدم موفقیت پیمان کیوتو، مقرر شد تا برنامه‌ریزی به نحوی صورت گیرد که دولت‌ها به صورت داوطلبانه متعهدشوند تا در یک برنامه ملی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را برای یک دوره ۱۰ ساله که از سال ۲۰۲۰ میلادی آغاز می‌شد کاهش دهند (Boos et al., 2015). لذا ۱۹۵ کشور جهان در «بیست و یکمین کنفرانس اعضاء» و در «توافقنامه پاریس»، بر تمرکز سیاست‌های بین‌المللی اقلیم در نگه‌داشتن افزایش دمای کره زمین به زیر ۲ درجه سانتی‌گراد و پیگیری تلاش‌های بیشتر برای نگه‌داشتن افزایش دما تا کمتر از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد تاکید کردند (موافقت نامه پاریس، ۲۰۱۵). هدفی که در ذیل بند

۱۳ اهداف توسعه پایدار سازمان ملل نیز به گونه‌ای مورد توجه قرار گرفت (برنامه توسعه ۲۰۳۰ سازمان ملل، ۲۰۱۶).
این هدف‌گذاری بسیار زود از سوی جامعه علمی به بلند پروازانه بودن و نیاز به تلاش‌های جدی برای دستیابی به آن اعتراف شد (Rogelj et al., 2017). بر اساس توافق نامه پاریس، کشورها هر پنج سال می‌بایستی مشارکت‌های تعیین شده ملی خود را ارتقا دهند و اهداف و برنامه‌های اقلیمی خود را مشخص کنند. برای سهولت این کار، کشورها از جمله کشورهای در حال توسعه، ممکن است از تجربیات برنامه ارزیابی نیازهای فناوری خود استفاده کنند.

سناریو در تغییر اقلیم

بهره‌برداری درست از تحولات سریع علم و فناوری و مدیریت تحولات علمی و فناورانه، امروز بیش از هرزمان دیگر مستلزم تنظیم سیاست‌های علم و فناوری متناسب با فرصت‌ها و تهدیدهای آتی تحولات علم و فناوری است. این امر، نیازمند استفاده از علوم و فنونی است که بینش و درک ما را از این فرصت‌ها و تهدیدها و عدم قطعیت‌های آتی به صورت سازمان یافته تبیین نمایند. آینده پژوهی یکی از این مهارت‌هاست که از طریق ایجاد ارتباط، هماهنگی و هم‌اندیشی بین سازمان‌ها و نهادهای جامعه، دانشمندان و سیاست‌گذاران ملی و منطقه‌ای را در طرح‌ریزی این برنامه‌ها هدایت می‌کند. آینده‌پژوهی را می‌توان دانشی قلمداد نمود که هدف آن به طور خاص، بررسی، کشف و یا برساخت واقعیات براساس پیش‌بینی آتی است. در واقع آینده پژوهی مشتمل بر مجموعه تلاش‌هایی است که با استفاده از تجزیه و تحلیل منابع، الگوها و عوامل تغییر یا ثبات، به تجسم آینده‌های بالقوه و برنامه ریزی برای تحقق آن‌ها می‌پردازد (David, 2012)
هرچند روش‌های متعددی در ذیل آینده‌پژوهی مورد استفاده قرار گرفته است، اما به طور حتم سناریوپردازی یکی از نظام‌مندترین شیوه‌های تفکر درباره آینده می‌باشد که روش شناسی‌های متعددی در آن وجود دارد و می‌توان از آن در مسایل کوچک تا بزرگ از آن استفاده نمود. این روش بعد از جنگ جهانی دوم به عنوان یک روش برنامه‌ریزی نظامی در نیروی‌های درگیر و عمدتا آمریکا برای بررسی اقدامات احتمالی دشمنان و راهبردهای بدیل مورد استفاده قرار گرفت. گسترش استفاده از سناریوها به برنامه‌ریزی نظامی جنگ سرد و نظریه بازی در اوائل دهه شصت میلادی که منجر به برنامه‌ریزی استراتژیک در کسب‌وکار و دیگر سازمان‌هایی که در آن تصمیم‌گیران تمایل به تجزیه‌وتحلیل سیستماتیک پیامدهای ناشی از سرمایه‌گذاری و سایر تصمیم‌گیری‌های استراتژیک با نتایج بلندمدت داشتند؛ باز می‌گردد. هدف از استفاده سناریوها پیش‌بینی آینده نیست، بلکه درک بهتر عدم قطعیت‌ها ما را به تصمیم‌هایی که تحت طیف گسترده‌ای از آینده‌های ممکن پابرجا می‌مانند رهنمون می‌سازد (Georghiou & Cassingena, 2011).
در جهت بهبود درک تاثیرات متقابل و پیچیده سیستم اقلیمی، فعالیت‌ها و شرایط انسانی، جامعه علمی‌خلق و به‌کارگیری سناریوها را در دستورکار خود قرار داده است. این سناریوها، توصیف‌های قابل قبولی از وضعیت آتی در چند حوزه کلیدی از جمله حوزه‌های اجتماعی- اقتصادی، شرایط فناورانه و محیط‌زیستی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق و اقلیم فراهم می‌نماید. به کارگیری سناریوها در تحقیقات تغییرات‌اقلیم، ارزیابی عدم قطعیت در مواردی همچون سهم انسان از پدیده تغییرات اقلیم، پاسخ سیستم زمین به فعالیت‌های انسانی، تاثیرات طیف اقلیمی در آینده و پیامدهای اتخاذ رویکردهای مختلف کاهش اثرات[۱۶] (اقدامات لازم برای کاهش انتشار خالص) و انطباق[۱۷] (اقداماتی که واکنش در قبال شرایط اقلیمی جدید را تسهیل می‌کند) را آسان می‌نماید. در پژوهش‌های تغییرات اقلیم، سناریوها مسیرهای قابل قبولی از شرایط اقلیمی و دیگر جنبه‌های آینده را توصیف می‌کنند. در تولید این سناریوها از فنون مختلفی همچون شبیه‌سازی و مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود.

انواع سناریوها در پژوهش‌های تغییر اقلیم

سناریوهای موجود در پژوهش‌های تغییر اقلیم، را هم می‌توان ورودی و هم خروجی مدل‌های مختلف از جمله مدل‌های اقلیمی، مدل‌های محیط زیستی و مدل‌های سیاست‌گذاری مصوب نمود. از آنجا که این مدل‌ها در تولید اطلاعات به زنجیره‌ای از داده‌ها از جمله اطلاعات اقلیمی، جمعیت‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی، پارامترهای دما و غلظت، کاربری زمین و ... نیاز دارند، لذا طیف گسترده‌ای سناریوهای در حوزه تغییر اقلیم وجود دارد. در دسته‌بندی کلی سناریوهای تغییراقلیم،

می‌توان به سناریوهای انتشار، سناریوهای اقلیم، سناریوهای محیط زیستی و سناریوهای آسیب‌پذیری اشاره نمود.

سناریوهای انتشار[۱۸]: سناریوهای انتشار به توصیف آینده‌های بالقوه انتشار موادی همچون گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق به جو که بر تعادل تابشی[۱۹] زمین تاثیر می‌گذارند اشاره دارد. این سناریوها با استفاده از مدل‌های ارزیابی یکپارچه و بر اساس مفروضات پیشران‌هایی مانند روندهای اقتصادی، رشد جمعیت، توسعه فناوری و عوامل دیگر تولید شده‌اند و با استفاده از اطلاعات دیگری مانند کاربری اراضی و پوشش سطحی، مقادیر ورودی مدل‌های اقلیمی را فراهم می‌کنند. علاوه بر استفاده از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان ورودی مدل‌های اقلیمی، از این سناریوها در کاوش انرژی‌ها و فناوری‌های جایگزین در آینده نیز استفاده می‌شود. این سناریوها نوعی پیش‌بینی و پیشگویی نیست. بلکه بازتاب قضاوت کارشناسان درخصوص انتشارات محتمل در آینده است که بر اساس تحقیق در روند مسایل اجتماعی- اقتصادی، محیط‌زیستی، و فناوری ارایه شده در مدل‌های ارزیابی یکپارچه است. سناریوهای انتشار در تغییرات اقلیم، نوسانات کوتاه مدت همچون چرخه کسب و کار و یا نوسانات قیمت بازار نفت را دنبال نمی‌کنند. بلکه تمرکز آن‌ها بر دوره‌های طولانی (دهه تا قرن) در روند الگوهای انرژی و کاربری زمین می‌باشد. عدم قطعیت سناریوهای انتشار نیز از عدم قطعیت ذاتی آینده شرایط اقتصادی اجتماعی، فناورانه و عدم قطعیت در سیاست‌گذاری محیط‌زیست و فرآیندها و روابط مدل‌های ارزیابی یکپارچه نشأت می‌گیرد.

سناریوهای اقلیمی[۲۰]: سناریوهای اقلیم بازنمایی‌های قابل قبولی از شرایط اقلیمی همچون دما، بارش و دیگر پدیده‌های اقلیمی آینده‌اند که می‌توان آنها را با استفاده از انواع روش‌ها از جمله تکنیک‌های افزایشی (که در آن مولفه‌ای خاص از آب و هوا به مقدار قابل قبولی افزایش می‌یابد)، شبیه‌سازی زمانی و مکانی (که در آن رژیم اقلیمی ثبت شده که ممکن است شبیه اقلیمی آینده باشد به عنوان شرایط آینده در نظر گرفته می‌شود) یا سایر تکنیک‌ها مانند برون‌یابی یا قضاوت متخصصین و ... استفاده می‌کنند تولید کرد.

سناریوهای محیط‌زیستی[۲۱]: برای تحلیل میزان تأثیر (بالقوه) و کارایی یک سناریوی اقلیمی خاص، مستلزم طرح سناریوهاییست که جزئیات بیشتری پیرامون وضعیت اکولوژیکی منطقه را در اختیار گذارند. تمرکز این سناریوها بر تغییرات شرایط محیطی ممکن است بدون توجه به تغییرات اقلیم انجام پذیرد. چنین عواملی عبارتند از در دسترس بودن و کیفیت آب در سطوح حوزه‌های رودخانه‌ای (از جمله استفاده‌های انسانی)، افزایش سطح دریا با ترکیب عوامل زمین‌شناسی و اقلیم، ویژگی‌های پوشش و کاربری زمین، و شرایط جوی محلی و سایر شرایط موثر بر کیفیت هوا. تغییر اقلیم با این عوامل ادغام می‌شود و در بسیاری از موارد، میزان تاثیر (بالقوه) تغییر اقلیم و اثربخشی گزینه‌های سازگاری را نمی‌توان بدون بررسی این تعاملات درک کرد.

سناریوهای آسیب‌پذیری[۲۲]: سرانجام سناریوهای عوامل موثر بر آسیب‌پذیری ماند جمعیت، اقتصاد، سیاست‌گذاری، فرهنگ و ویژگی‌های نهادی برای انواع مختلف پژوهش و مدل‌سازی تاثیر نیازهستند. این اطلاعات برای ارزیابی توانایی بشر که در اثر تغییرات اقلیم تحت تاثیر قرار می‌گیرد بسیار دارای اهمیت است. همچنین برای بررسی این که کدام یک از مسیرهای رشد اقتصادی و تغییرات اجتماعی، آسیب‌پذیری و ظرفیت تطبیق با اثرات بالقوه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. اگر چه برخی از این عوامل را می‌توان در مقیاس منطقه‌ای و ملی مدل‌سازی نمود و مورد استفاده قرار داد، برای بسیاری از داده‌ها، اطلاعات دقیق‌تری مورد نیاز است.

توسعه سناریوهای تغییر اقلیم

قدیمی‌ترین سناریوهای معاصر که در مطالعات آینده توسعه داده شده‌اند در صدد جستجوی پایداری طولانی مدت منابع‌طبیعی و بررسی پیامدهای نیاز انرژی جهانی برای انتشار کربن‌دی‌اکسید و غلظت بوده‌اند. این کار توسط روش‌های عمدتا کمی و توسط مدل‌های همچون پویایی سیستم‌ها در دهه ۶۰ میلادی مورد توجه قرار گرفت[۱۶]. پس از تأسیس هیئت بین الدولی تغیرات اقلیم، این نهاد نیز سناریوهای اقلیم و انتشار را به عنوان یک جزء اصلی از کار خود در ارزیابی تحقیقات اقلیمی استفاده کرد. این کار به تحریک توسعه این بخش توسط راه‌اندازی مجموعه‌های مختلفی از سناریوهای انتشار در گزارش‌های این نهاد منجر شد. در تلاش‌های اولیه برای توسعه سناریوهای انتشار، هیئت بین‌الدولی تغییرات اقلیم از طریق فرآیند بین

دولتی که چند سال طول کشید، برای نویسندگان و مدل‌سازان جلسه‌ای را تشکیل داد و نظرات مرجع و سناریوهای مورد قبول را ارایه نمود.

سناریوهای نسل اول هیئت بین‌الدولی تغییرات اقلیم در سال۱۹۹۰ چهار مسیر تولید گازهای گلخانه‌ای که شامل یک مسیر سناریوی پایه[۲۳] و سه سناریوی سیاست‌گذاری بودند را ارایه نمود. این رویکرد در نسل دوم سناریوهای ۱۹۹۲ هیئت نیز ادامه یافت که پیامدهای عدم قطعیت در رشد اقتصادی، جمعیت و تکنولوژی را در بسیاری از سناریوها ازجمله سناریو پایه انرژی و آینده اقتصادی تبیین نمود. سومین نسل از مجموعه سناریوهای هیئت بین‌الدولی در سال ۲۰۰۰ منتشر شد که به بررسی عدم قطعیت گازهای گلخانه‌ای آینده و انشار آلاینده‌های کوتاه مدت که پیشران‌های گسترده‌ای را فراهم می‌کند پرداخت. برخلاف سناریوهای قبلی، بازنمایی کمی سناریوها در نسل سوم توسط یک خط داستان یا روایت از آینده تکمیل شد که تفسیر سناریوها را تسهیل می‌نمود.

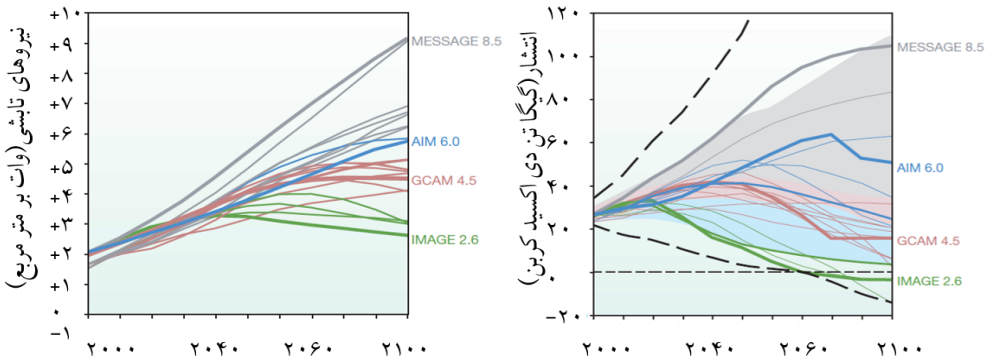
برخلاف سناریوهای قبلی که تنها با استفاده از یک یا دو مدل توسعه داده شدند، این نسل سناریوها از طریق یک فرآیند باز تولید شد که شامل بسیاری از تیم‌های مختلف مدل‌سازی بود، گسترش یافت. البته سناریوهای نسل دوم و سوم فرض می‌نمود که هیچ سیاستی برای کاهش تغییرات اقلیم وجود ندارد. در همین دوران، بسیاری از سازمان‌های دیگر سناریوهایی را توسعه داده‌اند که شامل انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات متقابل آن‌ها با دیگر مولفه‌های اقتصادی-اجتماعی و سیستم‌های محیط‌زیستی بوده و نقش قابل توجهی را در شکل دادن به روند توسعه سناریو بازی کرده‌اند.

اگر چه سناریوها و فرآیندهای قبلی هیئت بین الدولی سازنده بوده است، لکن سناریوها و فرآیندهای جدیدی برای انتخاب و استفاده از این سناریوها مورد نیاز بود. سناریوهای مبتنی بر مدل که در حوزه تغییرات‌اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، با استفاده از یک فرایند زنجیره‌ای گام به گام و البته وقت‌گیر انتقال اطلاعات بین حوزه‌های علمی مجزا توسعه یافته‌اند. از این‌رو، محققان تغییرات‌اقلیم در رشته‌های مختلف، فرایند جدید موازی و هماهنگی را درجهت توسعه سناریوها طرح‌ریزی کرده‌اند که با چهار سناریوی نیروهای تابشی آینده (تغییر در تعادل بین تابش‌های ورودی و خروجی از اتمسفر به دلیل تغییر در ترکیبات اتمسفر همچون دی‌اکسیدکربن) شروع می‌شود. با استفاده از این نقطه شروع، روند موازی تحقیقات منجر به پروردن طیف گسترده‌ای از شرایط اقلیمی محتمل در آینده خواهد شد که مشاهدات اقلیمی اخیر و اطلاعات جدید در مورد فرآیندهای سیستم اقلیمی را نیز در نظر خواهد گرفت. مطالعات اخیر توجه بیشتری به ارزیابی ملزومات و استراتژی‌های انطباق، بررسی گزینه‌های کاهش مخاطرات و ارتقا بینش نسبت به بازخورهای شدید احتمالی (که از آن جمله می‌توان به اثرات تغییرات‌اقلیم بر ذوب یخ‌های دائمی یا نابودی جنگل‌ها است که باعث تغییرات آتی در اقلیم خواهدشد) نموده است.

غیر از پاسخ به فرصت‌های جدید و نیازهای اطلاعاتی، نیاز به یک فرآیند جدید برای توسعه سناریوها وجود دارد که این موضوع در مجمع بین الدولی تغییرات اقلیم در جلسه ۲۵ در سال ۲۰۰۶ رخ داد و تصمیم گرفته شد تا هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم مجموعه دیگری از سناریوهای تولید گازهای گلخانه‌ای را سفارش ندهد و توسعه سناریوهای جدید را به جامعه تحقیقاتی واگذار کند. در عوض مجمع نقش خود را به عنوان کاتالیزور و ارزیابی کننده ادبیات گسترده و درحال افزایش سناریوها محدود کرد. جامعه علمی نیز در میان تولید انبوهی از اطلاعات، این فرایند جدید را خلق نمود تا هماهنگی بین رشته‌ای را ایجاد نماید. در نهایت یک فرآیند جدید که منجر به کوتاه شدن زمان توسعه و هماهنگی بیشتر می‌شد موجب شد تا پیشرفت‌های علمی از جمله ادراک افزایش یافته از انواع مختلف بازخورها، ادغام بهبودیافته تحقیقات بر روی انطباق، کاهش اثرات و همچنین خسارت‌های وارده و جلوگیری شده از اعمال گزینه‌های سیاستی مختلف را تسهیل می‌نمود، تسهیل شود.

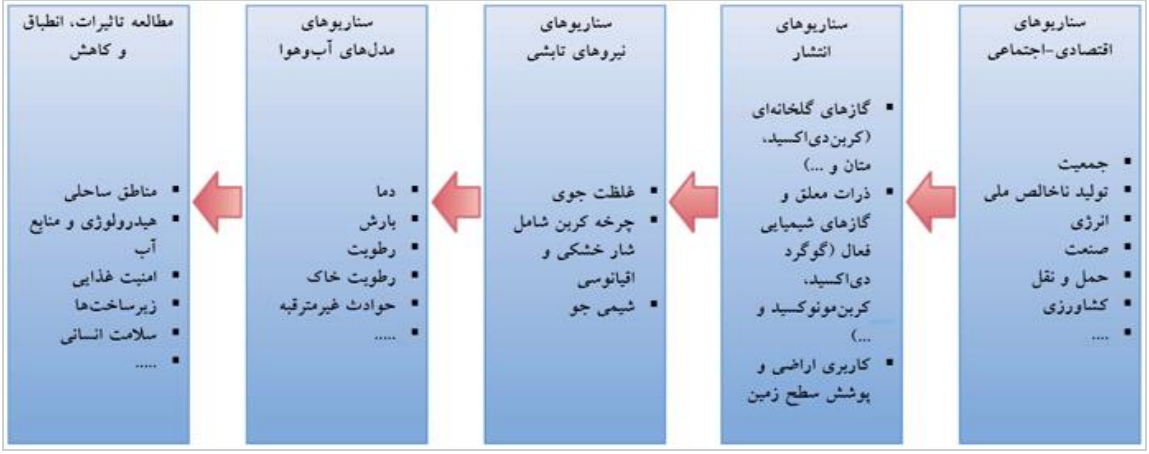
مرکزیت این فرایند موازی جدید را می‌توان این مفهوم دانست که با طیف متنوعی از سناریوهای توسعه اقتصادی-اجتماعی و فناورانه، می‌توان به چهار مسیر نیروهای تابشی دست یافت. در میان مسایل دیگر، این فرایند موازی به تسهیل دستیابی به پاسخ این پرسش که «راه‌هایی که جهان در مسیر توسعه می‌تواند به نیروهای تابشی خاصی دست یابد چیست؟» یکی از پیامدهای اولیه این رویکرد جدید، تشدید همبستگی بین پژوهش‌ها در اثرات، انطباق‌پذیری و پژوهش‌های آسیب‌پذیری با اقلیم و مدل‌های ارزیابی یکپارچه است. این امر، تجزیه و تحلیل مسایل پیچیده همچون هزینه‌ها، منافع، مخاطرات ناشی از انتخاب سیاست‌های مختلف و اقلیم و آینده اقتصادی اجتماعی را بهبود می‌بخشد. این فرایند موازی، همچنین وقفه

زمانی بین خلق سناریوهای انتشار، استفاده از آنها در مدل‌سازی اقلیم و نهایتا استفاده از سناریوهای اقلیم در پژوهش‌های مرتبط با بررسی اثرات، انطباق‌پذیری و آسیب‌پذیری را از بین خواهدبرد.



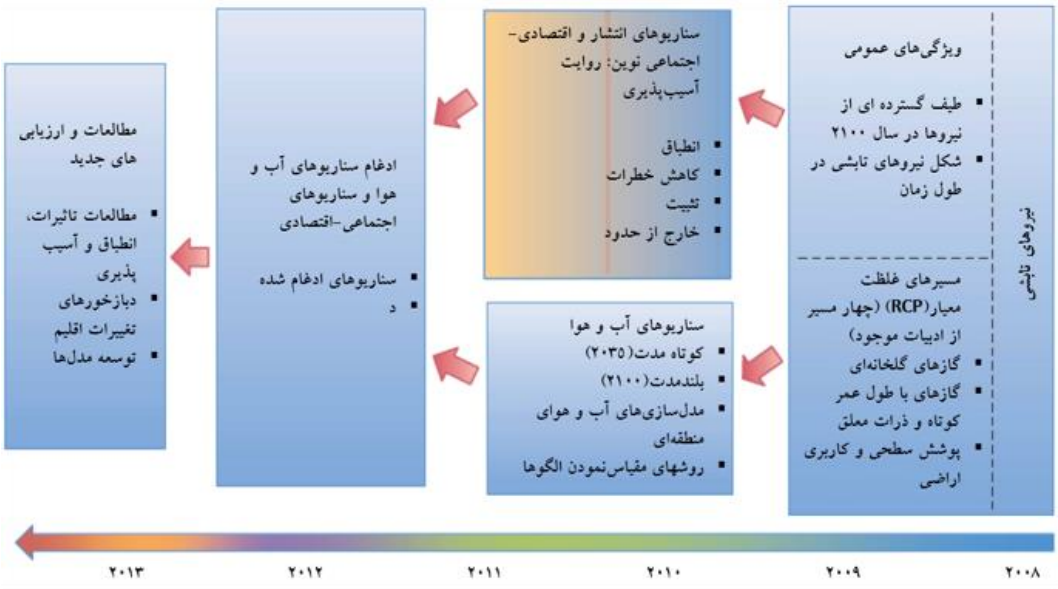
شکل (۳): سناریوهای مسیرهای معرف غلظت در میزان انتشار و نیروهای تابشی جو (Moss et al,. 2010)

رویکرد متوالی پیشین: سناریوها تا پیش از یک دهه قبل، در یک زنجیره خطی علی و معلولی که از متغیرهای سیاسی اجتماعی که انتشار گازهای گلخانه‌ای را تحت تاثیر قرار می‌داد تا فرایندهای اقلیمی و جوی و تا تاثیرات توسعه داده و به کار گرفته می‌شدند (شکل ۷). این فرایند متوالی شامل توسعه سناریوهای انتشار بر مبنای آینده‌های مختلف اجتماعی اقتصادی، تخمین غلظت و نیروهای تابشی از انتشار و در نهایت تصویرسازی اقلیمی متعاقب آن و استفاده از این سناریوها در تحقیقات بررسی تاثیر بود. این فرایند به دلیل وقفه در توسعه سناریوهای انتشار، استفاده از آن‌ها در مدل‌های اقلیم و در دسترس بودن سناریوهای اقلیمی به دست آمده در پژوهش‌های بررسی تاثیر و ارزیابی، منجر به یک عدم همگرایی می‌شد. برای مثال فعالیت بر روی نسل سوم سناریوها[۲۴] از سال ۱۹۹۷ آغاز شد و تقریبا تا حدود سه سال به طول انجامید تا کامل شد. نتایج اولین مدل‌های اقلیمی که این سناریوها را به عنوان ورودی استفاده کرد در سال ۲۰۰۱ در گزارش سوم هیئت بین الدولی تغییرات اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفت، اما تا سال ۲۰۰۷ که هیئت بین‌الدولی تغییرات اقلیم گزارش ارزیابی چهارم خود را منتشر کرد، مجموعه‌های کاملی از سناریوهای این نسل و تحقیقاتی درخصوص انطباق، تاثیرات و آسیب‌پذیری بر اساس سناریوهایاین نسل شکل نگرفت. تا این زمان، نتایج نسل جدید مدل‌های اقلیمی در گزارش مشابهی که نتایج آن حاکی از عدم همگرایی سناریوهای اقلیمی جدید و سناریوهای قدیمی مطالعات تاثیر بود، منتشر شد. این امر، ادغام نتایج در موضوعاتی چون هزینه‌ها، منافع را پیچیده می‌کرد و چالش‌هایی را هنگام مقایسه بازخورهای مدل‌های مختلف ایجاد می‌کرد.



شکل (۴): رویکرد سری در تولید سناریوهای نسل اول تا سوم (Moss et al., 2010)

رویکرد موازی: برای کوتاه کردن زمان بین توسعه سناریوهای انتشار و استفاده از نتایج سناریوهای اقلیمی در پژوهش‌های تاثیر و همچنین رسیدگی به نیازهای اطلاعاتی کلیدی کاربران به‌طور موثر و ارزیابی یکپارچه، جوامع تحقیقاتی اقلیم و تاثیرات به همکاری برای ابداع روشی جایگزین «رویکرد موازی» برای خلق و استفاده از سناریوها پرداختند (شکل ۸). به جای شروع از روایت‌های اجتماعی- اقتصادی دقیق برای تولید گازهای گلخانه‌ای و سپس سناریوهای اقلیمی، فرآیند موازی با شناسایی ویژگی‌های مهم سناریوهای نیروهای تابشی برای اقلیم که از برجسته ترین آن می‌توان به سطح نیروهای تابشی در سال ۲۱۰۰ اشاره کرد، شروع می‌شود. این خط سیر نیروهای تابشی با سناریوهای انتشار و یا سناریوهای اقتصادی- اجتماعی منحصر به فردی مرتبط نیستند و می‌توان آن را از ترکیب‌های مختلف آینده‌های سیاستگذاری، جمعیتی، فناوری، و اقتصادی به دست آورد.



شکل (۵): رویکرد موازی در تولید سناریوهای نسل چهارم (Moss et al., 2010)

سناریو مسیرهای معرف غلظت

مدل‌های اقلیمی نیازمند داده‌هایی از انتشار یا غلظت ترکیبات فعال تابشی وابسته به زمان هستند و برخی نیازمند برخی دیگر از داده‌های اضافی درخصوص کاربری زمین و پوشش سطحی طی زمان نیز هستند. جامعه پژوهشی یک سناریو انتشار خاص را به عنوان یک مسیر محتمل در جهت رسیدن به هر مسیر نیروی تابشی هدف شناسایی کرده است (جدول ۲). و به آن، برچسب مسیرهای نماینده غلظت داده شد. واژه نماینده حاکی از آن است که هر مسیر تنها یکی چندین سناریوی ممکن که به ویژگی‌های تابشی خاصی منجر می‌شود، اشاره می‌کند. اصطلاح مسیر تاکید می‌کند که نه تنها سطح غلظت بلند مدت، بلکه مسیر اتخاذ شده در طول زمان تا رسیدن به آن نتیجه هم مورد توجه است. به طور خلاصه، فرایندهای موازی جدید با انتخاب چهار مسیر نماینده غلظت که هر کدام مربوط به یک مسیر نیروی تابشی خاصی هستند، شروع می‌شود.

جدول (۲): سناریوهای مسیرهای معرف غلظت (Moss et al., 2010)

ردیف	مسیر	نرخ آلایندگی	مجری	مدل
۱	۸/۵	زیاد	توسط مؤسسه بین المللی تجزیه و تحلیل سیستم کاربردی در اتریش[۲۵]	MESSAGE
۲	۶/۰	متوسط	توسط انستیتوی ملی مطالعات محیطی در ژاپن[۲۶]	AIM
۳	۴/۵	متوسط	توسط آزمایشگاه ملی شمال غربی اقیانوس آرام در ایالات متحده[۲۷]	GCAM
۴	۲/۶	کم	توسط آژانس ارزیابی محیط زیست هلند[۲۸]	IMAGE

چهار مسیر معرف غلظت هر یک توصیف قابل قبولی از آینده را بر اساس سناریوهای اقتصادی اجتماعی نحوه رشد، توسعه و استفاده از زمین و انرژی جهان ارایه می دهند. دانشمندان از این مسیرها به عنوان ورودی برای مدل‌های اقلیمی برای ایجاد پیش بینی اثرات تغییرات اقلیمی و ارزیابی اثرات کاهش انتشارات استفاده می کنند. با استفاده از سناریوهای مشابه، دانشمندان مراکز تحقیقاتی مختلف در سراسر جهان می توانند نتایج خود را مستقیماً مقایسه کنند. این چهار مسیر به دلیل میزان «تشعشع» ناشی از آنها در پایان قرن نامگذاری شده اند. در زیر خلاصه‌ای مختصر از هر مسیر، که نحوه تغییر غلظت کربن‌دی‌اکسید در اتمسفر تحت هر مسیر را شرح می دهد، آورده شده است.

مسیر ۲/۶: سناریوی «اوج و افول» نامیده می شود که در آن کاهش شدید و حذف کربن‌دی‌اکسید به معنای اوج غلظت کربن‌دی‌اکسید در اتمسفر است و سپس در طول این قرن کاهش می یابد. تا سال ۲۱۰۰، میزان غلظت کربن‌دی‌اکسید اتمسفر به ۴۲۰ قسمت در میلیون می رسد که حدود ۲۰ درجه بالاتر از سطح فعلی است. در این سناریو دمای جهان تا سال ۲۱۰۰ به میزان ۱,۳ تا ۱,۹ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطح قبل از دوران صنعتی افزایش می یابد(Vuuren et al., 2011) .

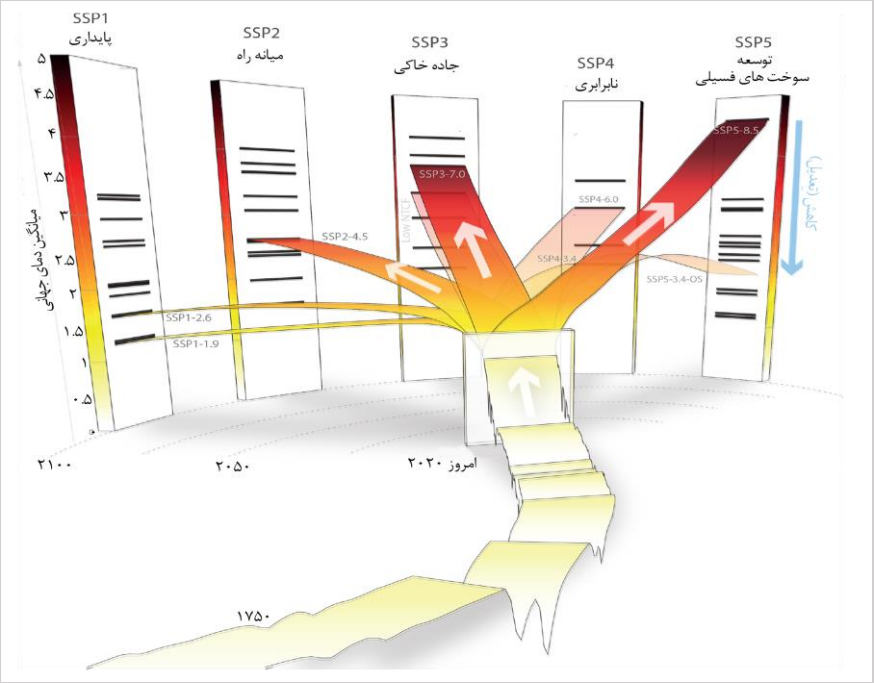
مسیر ۴/۵: سناریوی «تثبیت» نامیده می شود که در آن سیاست‌هایی وضع می شود تا غلظت کربن‌دی‌اکسید در اتمسفر در اواسط قرن کاهش یابد، اگرچه درجه حرارت قبل از سال ۲۱۰۰ تثبیت نمی شود. این سیاست‌ها شامل تغییر به فناوری‌های انرژی کم کربن و استقرارفناوری‌های جذب و ذخیره کربن است. در این سناریو، غلظت کربن‌دی‌اکسید اتمسفر تا سال ۲۱۰۰ در ۵۴۰ قسمت در میلیون قرار می گیرد که تقریبا ۱۴۰ واحد بالاتر از وضع کنونی است و دمای جهان احتمالا ۲ الی ۳ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطوح قبل از دوران صنعت افزایش می یابد(Thomson et al., 2011).

مسیر ۶/۰: سناریوی «مداخله سیاست‌های اقلیمی» که در آن انتشارات در حدود سال ۲۰۶۰ به حداکثر می رسد و سپس کاهش می‌یابد. غلظت کربن‌دی‌اکسید در مابقی قرن همچنان در حال افزایش است، اما این امر با سرعت کمتری رخ می‌دهد. بین سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۶۰ فقط تلاش‌های بسیار ناچیزی برای کاهش وجود دارد، اما بهبود شدت انرژی و بازار جهانی مجوزهای انتشار، باعث محدود شدن انتشار کربن به اتمسفر و افزایش غلظت تا سقف ۶۷۰ قسمت در میلیون تا سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این سناریو، دمای جهان تا سال ۲۱۰۰ به احتمال زیاد در حدود ۲,۶ الی۳,۷ درجه سانتی‌گراد بالاتر از قبل از دوران صنعت خواهد بود (Vuuren et al., 2011).

مسیر ۸/۵: سناریوی «انتشار نسبتا زیاد گازهای گلخانه ای» که ناشی از رشد سریع جمعیت، تقاضای بالای انرژی، غلبه سوخت‌های فسیلی و عدم وجود سیاست‌های تغییر اقلیم است. این سناریوی «طبق معمول»، بالاترین حد از چهار مسیر بوده که غلظت کربن‌دی‌اکسید اتمسفر تا سال ۲۱۰۰ در آن تا ۹۳۵ قسمت در میلیون افزایش می‌یابد. محدوده احتمالی دمای جهانی تا سال ۲۱۰۰ نیز برای این سناریو در حدود ۴/۰ الی ۶/۱ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطوح قبل از صنعتی است (Riahi et al., 2011).

سناریوهای دیگر

هنگامی که مدل‌سازان اقلیم در حال آماده‌سازی گروهی از سناریوها با استفاده از مسیرهای معرف غلظت بودند، سایر مدل‌سازان ارزیابی جامع نیز مجموعه‌ای از سناریوهای جدید اقتصادی اجتماعی را توسعه دادند. این گروه سناریوها، مکمل مهمی برای مسیرهای معرف غلظت بوده و برای شناسایی طیف‌های فناورانه مختلف آینده، سیاست‌گذاری‌های آتی و آینده‌های اقتصادی– اجتماعی مؤثر خواهند بود. این مسیرها در حال حاضر به عنوان ورودی‌های مهم برای آخرین مدل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته و در گزارش ششم ارزیابی هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم ارایه می‌شوند. این سناریوها شامل پنج روایت می‌باشد که برای بررسی چگونگی تأثیر انتخاب‌های اجتماعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه چگونگی تحقق اهداف اقلیمی توافقنامه پاریس مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل (۶): سناریوی مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی (Meinshausen et al., 2020)

نتیجه‌گیری

مدت‌هاست که از سناریوها توسط برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان برای تجزیه و تحلیل شرایطی که نتایج در آنها نامشخص است استفاده می‌شود. در تحقیقات اقلیمی، از سناریوهای انتشار برای کشف این که انسان با توجه به عدم اطمینان در عواملی مانند رشد جمعیت، توسعه اقتصادی و توسعه فناوری‌های جدید، چقدر می‌تواند در تغییرات اقلیمی در آینده کمک کند، استفاده می‌شود. پیش‌بینی‌ها و سناریوهای شرایط اجتماعی و محیطزیستی آینده همچنین برای بررسی میزان تاثیرات کمتر یا بیشتر تغییرات اقلیمی در مناطق مختلف جهان، به عنوان مثال آینده با فقر بیشتر یا کمتر، استفاده می‌شود. هدف از استفاده از سناریوها پیش‌بینی آینده نیست، بلکه کاوش پیامدهای علمی و واقعی در آینده‌های مختلف معقول است. مسیرهای نماینده غلظت یکی از آخرین سناریوهایی است که ورودی مدل‌های اقلیمی را فراهم می‌کند.

چهار مسیر معرف غلظت هر یک توصیف قابل قبولی از آینده را بر اساس سناریوهای اقتصادی اجتماعی نحوه رشد، توسعه و استفاده از زمین و انرژی جهان ارایه می‌دهند. دانشمندان از این مسیرها به عنوان ورودی برای مدل‌های اقلیمی برای ایجاد پیش بینی اثرات تغییرات اقلیمی و ارزیابی اثرات کاهش انتشارات استفاده می‌کنند. این سناریوها یک نقطه شروع برای تحقیقات گسترده و جدید محسوب می‌شوند. اگرچه آن‌ها نه پیش‌بینی می‌کنند و نه توصیه سیاستی می‌دهند، به‌کارگیری آن‌ها طیف گسترده‌ای از پیامدهای اقلیمی را به تصویر می‌کشد. واژه نماینده حاکی از آن است که هر مسیر تنها یکی چندین سناریوی ممکن که به ویژگی‌های تابشی خاصی منجر می‌شود، اشاره می‌کند. اصطلاح مسیر تاکید می‌کند که نه تنها سطح غلظت بلند مدت، بلکه مسیر اتخاذ شده در طول زمان تا رسیدن به آن نتیجه هم مورد توجه است.

جامعه‌ی علمی با تغییر رویکرد تولید سناریوها از رویکردی سری به رویکردی موازی، موجب کاهش وقفهٔ زمانی انتقال اطلاعات بین دانشمندان علوم مختلف شد و موجب همگرایی بیشتر در تحقیقات مرتبط با موضوع تغییر اقلیم شد. این اقدام سبب شد تا مقبولیت سناریوهای محیط زیستی افزایش یابد و سناریوهای تولید شده را بتوان به عنوان یک سناریو مبنی بر تحقیقات سایر دانشمندان و برنامه‌های علمی نیز مورد استفاده قرار داد.

جمهوری اسلامی ایران نیز در طی سال‌های گذشته با توجه به ضرورت استفاده از سناریوهای محیطزیستی در برنامه‌ها و سیاست‌های ملی از جمله برنامهٔ ملی کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، همواره ملزم به استفاده از سناریوهای معتبر بوده است. نیازهای فناورانه و مالی تولید این سناریوها موجب شده است تا تولید این سناریوها در نهادهایی همچون سازمان

حفاظت محیط زیست، پژوهشگاه نیرو، وزارت نفت، و ... با کندی روبه‌رو شود و با وجود تولید برخی سناریوهای ملی توسط سازمان‌های بین‌المللی، سناریوهای مطرحی طی این سال‌ها توسط این سازمان‌ها در داخل کشور تولید نگردد. سناریوهای مسیرهای معرف غلظت به همراه سناریوهای مشترک اقتصادی- اجتماعی بستری را از هم آورده‌اند که می‌توانند مبنای مشترکی برای مطالعات تغییر اقلیم در سراسر جهان از جمله ایران باشند و پژوهشگران و سیاست‌گذاران ملی با تکیه بر آن به تدوین برنامه‌های ملی کاهش انتشار اقدام نمایند.

یادداشت‌ها

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
2. Representative Concentration Pathway (RCP)
3. Climate System
4. Source
5. Sink
6. Water vapor
7. Carbon Dioxide
8. Nitrous Oxide
9. Methane
10. Ozone
11. Chlorofluorocarbons (CFCs)
12. Hydrofluorocarbons (HFCs)
13. Perfluorocarbons (PFCs)
14. United Nations Environment Programme(UNEP)
15. World Meteorological Organization(WMO)
16. Adaptation
17. Mitigation
18. Emission Scenarios
19. Radiative Equilibrium
20. Climate Scenarios
21. Environmental Scenarios
22. Vulnerability Scenarios
23. Business as Usual (BAU)
24. Special Report on Emissions Scenarios (SRES)
25. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria
26. National Institute for Environmental Studies (NIES) in Japan
27. Pacific Northwest National Laboratory’s Joint Global Change Research Institute (JGCRI) in the United States
28. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency

منابع

Agrawala, S. (1998). Context and early origins of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climatic Change, 39(4), 605-620.

Agreement, P. A. R. I. S. (2015). Adoption of the Paris agreement proposal by the president, united nations framework convention on climate change. FCCC/CP/2015/L. 9 https://unfccc. int/resource/ docs/2015/ cop21 /eng/l09. pdf Letöltve: 2016.01. 02.

Akay, Ö. (2021). Examination of the 21 European countries and Turkey in terms of water resources along with the effect of climate change by time series clustering. Environmental Earth Sciences, 80(23), 784.

Change, C. (1990). the IPCC scientific assessment. Contribution of Working Group I to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 365.

D. Boos, H. Broecker, T. Dorr, H. Von Luepke, & Sharma, S. 2015. “How are INDCs and NAMAs linked? ” Giz.

David, N. (2012). Environmental futures research: experiences, approaches, and opportunities. Gen. Tech. Rep. NRS-P-107. Newtown Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 79 p., 107, 1-79.

Friedlingstein, P., O'sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., ... & Zaehle, S. (2020). Global carbon budget 2020. Earth System Science Data Discussions, 2020, 1-3.

Georghiou, L., & Harper, J. C. (2011). From priority-setting to articulation of demand: Foresight for research and innovation policy and strategy. Futures, 43(3), 243-251.

Meinshausen, M., Nicholls, Z. R., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., ... & Wang, R. H. (2020).

The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. Geoscientific Model Development, 13(8), 3571-3605.

Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature, 463(7282), 747-756.

Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., ... & Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. Climatic change, 109, 33-57.

Rogelj, J., Fricko, O., Meinshausen, M., Krey, V., Zilliacus, J. J., & Riahi, K. (2017). Understanding the origin of Paris Agreement emission uncertainties. Nature communications, 8(1), 15748.vol. 8, pp. 1–12, 2017, doi: 10.1038/ncomms15748.

Sands, P. (1992). The United Nations framework convention on climate change. Rev. Eur. Comp. & Int'l Envtl. L., 1, 270.

Sathaye, J. A., & Meyers, S. (2013). Greenhouse gas mitigation assessment: a guidebook (Vol. 6). Springer Science & Business Media.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., ... & Miller, H. (2007). IPCC fourth assessment report (AR4). Climate change, 374.

Stephens, T., & Couzens, E. (2016). The 2030 Agenda for Sustainable Development. Asia Pac. J. Envtl. L., 19, 1.

Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., ... & Edmonds, J. A. (2011). RCP4. 5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. Climatic change, 109, 77-94.

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. Climatic change, 109, 5-31.

The Position of the "Representative Concentration Pathways" Scenario in the Evolution of Climate Change Scenarios

Naser Bagheri moghaddam[1], Mohammad Ali Ahmady[*2], Majid AbbasPour[3], Amir Nazemi[4]

1. PhD in Technology Management, Member of the Scientific Faculty of the Technology and Innovation Policy Research Group, Future Studies Department, Iran's Science Policy Research Center, Tehran, Iran.
2. PhD Student of Future Studies, Science and Technology Future Studies Research Group, National Science Policy Research Center, Tehran, Iran.
3. PhD in Environmental Systems Engineering, Member of the Academic Staff of the Faculty of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
4. PhD in Technology Management, Member of the Scientific Faculty of the Research Group of Future Studies of Science and Technology, the Country's Science Policy Research Center, Tehran, Iran.

(Received: 2023/11/29 Accepted: 2023/07/10)

Abstract

The progress of the past decades in science and technology and the observations related to the increase in the average temperature of the earth have strengthened the theory of greenhouse gases and the emphasis of governments in pursuing the goals of stabilizing the temperature of the earth up to 2 degrees Celsius and trying to maintain it up to 1.5 degrees Celsius. With the approach of reducing greenhouse gas emissions. In this research, by briefly introducing the theory of climate change, the parameters of climate change during the past decades have been examined, and the history of international actions in pursuit of the goals of stabilizing the temperature of the earth has been examined. In the following, the position and importance of using scenarios as one of the effective tools in climate change research has been discussed and the available scenarios in climate change research are divided into four categories: "Emission Scenarios", "Climate Scenarios", "Environmental Scenarios" and "vulnerability scenarios" have been investigated. Also, the scenario development process in climate change research, and specifically the scenarios of the Inter-State Climate Change Commission from the first generation to the fourth generation, were evaluated and compared. Specifically, the difference between the fourth generation of these scenarios, which has been a new paradigm in scenario planning, in changing from a serial process to a parallel process, was examined and the importance and necessity of preparing this scenario in the field of climate change was evaluated. In the end, the scenarios of "Representative Concentration Pathways" from the fourth generation of climate change scenarios have been explained in more detail, and suggestions have been made for using this scenario in climate change studies and preparing national plans and policies

Keywords: Climate change, Scenario, Representative Concentration Pathways, Science and Technology Policy, Environment.

* Corresponding author: Email: mohammadali.ahmady@gmail.com