

## Research Paper

# The role of Technology and Innovation Policy in Simultaneously Addressing the Energy Intensity and Carbon Intensity Imbalance



Naser Bagheri Moghaddam<sup>1</sup>, \* Mohammadasli Ahmady<sup>2</sup>, Majid AbbasPour<sup>3</sup>, Amir Nazemi asheni<sup>1</sup>

1. PhD in Technology Management, Faculty Member, Technology and Innovation Policy Research Group, Futures Studies Group, National Science Policy Research Center, Tehran, Iran.

2. PhD Student in Futures Studies, Science and Technology Futures Studies Research Group, National Science Policy Research Center, Tehran, Iran.

3. PhD in Environmental Systems Engineering, Faculty Member, Faculty of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online



**Citation:** Bagheri Moghaddam, N., Ahmady, M., AbbasPour, M., Nazemi asheni, A. (2024). [The role of Technology and Innovation Policy in Simultaneously Addressing the Energy Intensity and Carbon Intensity Imbalance (Persian)]. *Journal Strategic Studies of Public Policy*, 14(52), 104-126. <https://doi.org/10.22034/sspp.2024.2035379.3682>



<https://doi.org/10.22034/sspp.2024.2035379.3682>



**Received:** 12 Jul 2024

**Accepted:** 23 Sep 2024

**Available Online:** 20 Dec 2024

### Keywords:

Energy imbalance, climate change, scenario, Kaya

## ABSTRACT

Today, one of the most important issues facing policymakers is solving the energy and carbon imbalance challenge. After examining the relationship between the challenge of energy and carbon imbalance, this research provides a new definition of the energy and carbon imbalance concept and shows the historical trend of this imbalance and its future scenarios. In this research, using the downscaling method, the scenarios of "Representative Concentration Pathways" and "Shared Socioeconomic Pathways" have been developed from the international level to the national level. The findings of the research, although they show the increase of energy intensity and carbon intensity in Iran during the last decade, the convergence scenarios predict a significant decrease in the carbon intensity index, which play an effective role in solving the challenge of energy imbalance and emission reduction goals. It shows the beginning of the 21st century. The results of the research indicate that solving the country's energy imbalance challenge is one of the issues intertwined with other issues in the energy field, including mitigation and adaptation policies in the field of climate change, and requires a new approach to the concept of imbalance and the pursuit of a comprehensive and coordinated approach.

### \* Corresponding Author:

**Mohammadasli Ahmady**

**Address:** Science and Technology Futures Studies Research Group, National Science Policy Research Center, Tehran, Iran.

**E-mail:** mohammadali.ahmady@gmail.com

## مقاله پژوهشی

## نقش سیاست فناوری و نوآوری در مواجهه هم‌زمان با ناترازی شدت انرژی و شدت کربن

ناصر باقری مقدم<sup>۱</sup>،\* محمدعلی احمدی<sup>۲</sup>،<sup>ID</sup> مجید عباس‌پور<sup>۳</sup>، امیر ناظمی‌اشنی<sup>۱</sup>

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.

## چکیده

تاریخ دریافت: ۲۲ تیر ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲ مهر ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۳۰ آذر ۱۴۰۳

امروزه یکی از مهم‌ترین موضوعات پیش‌روی سیاست‌گذاران، حل توأمان چالش ناترازی انرژی و کربن است. این پژوهش پس از بررسی ارتباط چالش ناترازی انرژی و کربن، تعریف جدیدی از مفهوم ناترازی انرژی و کربن را ارائه و روند تاریخی این ناترازی و سناریوهایی درخصوص روند آتی آن را ارائه می‌کند. در این پژوهش، با استفاده از روش تقلیل مقیاس، سناریوهای «مسیرهای معرف غلظت» و «مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی» از سطح بین‌المللی به سطح ملی توسعه داده شده‌است. هرچند یافته‌های پژوهش افزایش شدت انرژی و شدت کربن ایران را طی یک دهه گذشته نشان می‌دهد، اما سناریوهای همگرایی، پیش‌بینی کاهش قابل توجه شاخص شدت کربن که نقش موثری در حل چالش ناترازی انرژی و اهداف کاهش انتشار دارند را در نیمه اول قرن ۲۱ نشان می‌دهند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که حل چالش ناترازی انرژی کشور یکی از مسائل درهم‌تنیده با سایر موضوعات حوزه انرژی از جمله سیاست‌های کاهش و انطباق در حوزه تغییرات اقلیم بوده و نیازمند نگرش جدید به مفهوم ناترازی و پیگیری رویکردی جامع و هماهنگ می‌باشد.

## کلیدواژه‌ها:

ناترازی انرژی، تغییر اقلیم، سناریو، کایا

## \* نویسنده مسئول:

محمدعلی احمدی

نشانی: گروه پژوهشی مطالعات آینده علم و فناوری، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، تهران، ایران.

رایانامه: mohammadali.ahmady@gmail.com

## مقدمه

از سویی دیگر، محیط‌زیست نیز یکی از مهمترین جنبه‌های اثر گذار بر بخش‌های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی کشورها است و موضوع «تغییر اقلیم ناشی از گازهای گلخانه‌ای» و اهداف کاهش انتشار، از مهمترین موضوعات در دستور کار کشورها می‌باشد (پرلی، ۲۰۰۷). تغییر رویکرد کشورها به سمت تولید کمتر گازهای گلخانه‌ای حتی در مناطقی از جهان که سرانه پایینی در انتشار دارند در سال‌های اخیر شتاب چشم‌گیری داشته است. در این راستا نیز انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند بخش قابل توجهی از تقاضای جهانی انرژی را تامین و به بخش عمده‌ای از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای برای محدود کردن میانگین افزایش دمای سطح زمین به زیر ۲ درجه سانتی‌گراد کمک نمایند (جیلن، ۲۰۱۹).

در این مقاله ما به دنبال ارائه راه حلی مشترک برای چالش‌های اقتصادی، ناترازی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستیم و در این خصوص از مدل‌های تجزیه و به‌طور خاص مدل کایا استفاده خواهیم کرد. این مدل به ما امکان را می‌دهد تا تغییرات در انتشار گازهای گلخانه‌ای را به اجزای مختلفی مانند تغییرات در جمعیت، تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی و شدت کربن تجزیه کنیم. در ادامه ما اثبات خواهیم کرد که سیاست‌های فناوری و نوآوری می‌تواند نقش مهمی در مولفه‌های شدت انرژی و شدت کربن ایفا نموده و در نهایت مقابله با این چالش‌ها ایفا کنند. به‌طور خاص، توسعه و پذیرش فناوری‌های نوین انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود بهره‌وری انرژی، و نوآوری در ذخیره‌سازی و مدیریت هوشمند انرژی می‌تواند به کاهش ناترازی انرژی و همچنین دستیابی به اهداف کاهش انتشار کمک کند. از این رو بدون اتخاذ چنین سیاست‌هایی، تلاش‌ها برای بهبود شرایط اقتصادی، اجتماعی و

در دهه‌های اخیر، جهان با چالش‌های پیچیده‌ای نظیر بحران‌های اقتصادی، حاکمیتی و اقلیمی مواجه بوده است. چالش‌هایی از جمله بحران‌های مالی و اقتصادی، ناترازی‌های حوزه انرژی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، نه تنها به صورت جداگانه بلکه در تعامل با یکدیگر، چشم‌انداز آینده را پیچیده‌تر و ناپایدارتر کرده‌اند و ضرورت اتخاذ رویکردهای چندجانبه، نوین و هماهنگ برای مدیریت و کاهش تاثیرات منفی آنها به چشم می‌خورد (هارپر، ۲۰۱۲).

سیاست فناوری و نوآوری به مجموعه تصمیمات و اقدامات دولت‌ها و نهادهای بین‌المللی برای حمایت از توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های نوین و نوآوری‌ها اشاره می‌کند. این سیاست‌ها شامل حمایت‌های مالی، تنظیمات قانونی، آموزش و پژوهش، و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای پذیرش و توسعه فناوری‌های جدید است. سیاست فناوری عمدتاً بر توسعه و استفاده از فناوری‌ها با هدف افزایش قابلیت‌ها و ظرفیت‌های فناورانه یک کشور یا سازمان متمرکز دارد (دوسی، ۱۹۸۲)، در حالی که سیاست نوآوری فراتر از فناوری به تمام جنبه‌های نوآوری از جمله محصولات، فرآیندها، خدمات و مدل‌های کسب و کار می‌پردازد و به دنبال ایجاد محیطی است که در آن نوآوری به راحتی شکل بگیرد و رشد کند (لاندوال، ۱۹۹۲). بی شک، یکی از پیشران‌ها و عوامل اصلی توسعه اقتصادی هر کشور، توسعه نوآوری‌های فناورانه است که در آن اشاعه نوآوری به‌عنوان یک نیروی مستقل محرک تغییر اجتماعی محسوب می‌شود که تاثیرات ویژه اقتصادی ایجاد می‌نماید. سیاست‌های فناوری و نوآوری، به‌عنوان ابزارهای قدرتمند، می‌توانند در تسهیل این مواجهه نقش حیاتی ایفا کنند (فاگربرگ، ۲۰۱۸).

زیست‌محیطی با موانع جدی مواجه خواهد شد.

## پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی به بررسی چالش ناترازی انرژی در ابعاد مختلف فرهنگی، اجتماعی، فناوری و دیپلماسی پرداخته‌اند. کریمی و همکاران در پژوهشی در حوزه دیپلماسی گاز، با رد سیاست صادرات‌محوری در حوزه گاز و عدم امکان آن در تأمین منافع ملی ایران، باز تعریف این سیاست را نه یک انتخاب که ضرورتی انکارناپذیر عنوان کرده‌اند (کریمی و همکاران، ۱۴۰۰). حافظی و رحیمی راد، در جهت شناسایی عوامل مؤثر بر مشارکت اجتماعی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و سیاست‌های توسعه‌دهنده، سیاست‌هایی را در جهت تقویت مشارکت اجتماعی در کاهش اختلاف بین عرضه و تقاضای انرژی، به‌ویژه در بخش برق خانگی ارائه داده‌اند (حافظی و رحیمی راد، ۱۴۰۳). عظیم زاده آرانی و طهماسبی بلوک‌آباد نیز در جهت شناسایی شئون حکمرانی در بخش گاز ایران و بررسی نقش ساختار حکمرانی بخش گاز در حل چالش ناترازی، ضرورت توجه به لایه‌ی تنظیم‌گری از طریق ایجاد نهاد تنظیم‌گر بخش گاز را مورد تأکید قرار داده‌اند. (عظیم‌زاده آرانی، طهماسبی بلوک‌آباد، ۱۴۰۳)

به‌طور خاص، پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه سیاست‌های فناوری و نوآوری نشان می‌دهند که این سیاست‌ها نقش حیاتی در مواجهه با چالش‌های اقتصادی، مدیریت انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند. از دهه ۱۹۵۰ که به اهمیت حمایت دولت‌ها از پژوهش‌های علمی پایه تأکید شد (نلسون، ۱۹۵۹) تا به امروز، اندیشمندان نقش فعال دولت‌ها را در فرآیند نوآوری و توسعه فناوری برجسته کرده‌اند

و به اهمیت تحقیقات این حوزه و بررسی و تبیین اهمیت همکاری بین بخش‌های دولتی و خصوصی در پیشبرد نوآوری پرداخته‌اند. این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که سیاست‌های حمایتی دولت‌ها، از طریق تأمین مالی، ایجاد زیرساخت‌های لازم و تسهیل انتقال فناوری، می‌توانند منجر به رشد اقتصادی پایدار، کاهش نابرابری‌ها و حفظ محیط زیست شوند.

با توجه به تنوع گسترده حوزه‌های پژوهش و فناوری و کمبود منابع، دولت‌ها به ناچار بایستی برای تخصیص منابع محدود به به حوزه‌های نامحدود برنامه ریزی نمایند. تدبیری که به موجب آن بتوان با ارائه توجیهی قابل قبول و قانع‌کننده، برخی از حوزه‌های علم و فناوری را بر حوزه‌های دیگر رجحان داد. اولویت‌گذاری در واقع ابزار یک سیاست‌گذار برای تحقق اهداف و اجرای برنامه‌های تعیین شده در حوزه علم و فناوری است. به عبارتی، با تعیین اولویت‌های علم و فناوری، سیاست‌گذار با تخصیص بخشی از منابع انسانی، مالی و نهادی و برنامه ریزی و مدیریت و نظارت بر آن‌ها، در راستای اهداف و برنامه‌های تعیین شده گام بر می‌دارد (فاطمی و آراستی، ۲۰۱۹).

روندهای کلی و چارچوب مفهومی و نظری پارادایم‌های علم و فناوری را می‌توان در چهار بعد زمینه‌ای، مشروعیت و نهادی و روش‌شناسی توصیف کرد. بعد زمینه‌ای به شناسایی و تحلیل زمینه‌ها، شرایط و عوامل محیطی و شناخت ابعاد و چشم‌اندازهای موضوعی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیطی که بر تدوین اولویت‌های علمی، فناوری و نوآوری تأثیرگذار می‌باشد، می‌پردازد. بعد مشروعی به قانونی بودن، مشروعیت و پذیرش عمومی اولویت‌های تدوین شده می‌پردازد. در این بُعد، نیاز به تضمین این است که اولویت‌ها با ارزش‌ها، نیازها و انتظارات

متدهایی که برای شناسایی، ارزیابی، و تصمیم‌گیری درباره اولویت‌ها استفاده می‌شوند، می‌پردازد و شامل تکنیک‌های تحلیلی، مدل‌سازی، سنجش، و تحلیل پویایی است که برای تضمین کارآمدی و اثربخشی در تعیین اولویت‌ها انتخاب می‌شوند.

در نتیجه، سیاست‌گذاری علم و فناوری که با اهداف اقتصادی در دستور کار سیاست‌گذاران قرار گرفته بود؛ حل چالش‌هایی همچون چالش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی را نیز امروزه در دستور کار قرار داده‌است. با وجود چالش‌نگرش‌های مختلف در موضوع تغییر اقلیم، مدل‌های متعددی

جامعه، جامعه علمی و فرهنگی همخوانی داشته باشند و استدلال‌هایی را که توسط سیاست‌گذاران و بازیگران برای «عقلانی‌سازی» اقدامات و مجموعه اولویت‌های ناشی از آن استفاده می‌شود، پوشش می‌دهد. بعد نهادی (سازمانی) به بررسی ساختارها، نهادها (از جمله مؤسسات دولتی، تحقیقاتی، صنعتی، غیرانتفاعی و سازمان‌های بین‌المللی)، قوانین و سیاست‌هایی است که تعیین‌کننده اولویت‌ها و فعالیت‌های علمی، فناوری و نوآوری هستند و نقش اساسی در پیاده‌سازی و پشتیبانی از اولویت‌ها دارند، می‌پردازد. بعد روش‌شناختی، به روش‌ها، ابزارها، و

#### جدول ۱- مقایسه تطبیقی ابعاد زمینه، مشروعیت و نهادی و بعد روش‌شناختی پارادایم‌های اولویت‌گذاری (نویسنده)

ابعاد پارادایم‌های اولویت‌گذاری علم و فناوری				پارادایم‌های اولویت‌گذاری علم و فناوری
بُعد روش‌شناختی	بُعد نهادی	بُعد مشروعیت	بُعد زمینه‌ای	
تصمیم‌گیری دولتی تحلیل تأثیر- امکان‌پذیری فنی و مالی	تعریف بالا به پایین اولویت‌های زمینه‌ای، تاسیس واحدهای تحقیق و توسعه بزرگ دولتی نظیر پژوهشگاه‌های هسته‌ای	تولید کالاهایی با ویژگی - نیاز عمومی - کالاهای ارزشمند و شایسته	تأکید بر توسعه فناوری‌های بزرگ دامنه از جمله فناوری‌های دفاعی، انرژی، حمل و نقل و ...	رویکرد مأموریت‌گرایی سنتی
تحلیل سوات فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی	تأکید بر برنامه‌ریزی، پیش بینی فناوری و ارزیابی فناوری و برنامه‌های ملی فناوری	تسریع رقابت‌پذیری، تأکید بر شکست بازار و اقتصاد مقیاس، خصوصاً سرریز فناوری‌های عام	تأکید بر توسعه فناوری‌های همچون فاوا، بیو فناوری، مواد جدید، نانوفناوری	رویکرد سیاست‌صنعتی «فناوری‌های کلیدی»
تحلیل شبکه‌ای روش‌های مشارکتی و دلفی	افزایش تعداد بازیگران و نهادهای مشارکت‌کننده در سیاست‌گذاری، نگاه‌ها به‌عنوان بازیگرانی مهم در سیاست‌گذاری	شکست سیستم به جای شکست بازار	تأکید بر ابعاد کارکردی نظام نوآوری (همکاری کسب و کارهای نوپا، قانون گذاری و ...)	رویکرد نظام نوآوری
تحلیل چندمعیاره روش‌های آینده‌نگاری و سناریونگاری	یکپارچه‌سازی گروه‌های اجتماعی مختلف، هماهنگ سازی افقی حوزه‌های مختلف سیاست‌گذاری، افزایش تعداد بازیگران	جهت‌گیری علم و فناوری به سمت نیازها و چالش‌های اجتماعی	توسعه‌ی پایدار، جامعه‌ی دانش و اطلاعات، تغییرات جمعیتی و سنی، امکان جابه‌جایی	رویکرد مأموریت‌گرایی نوبن

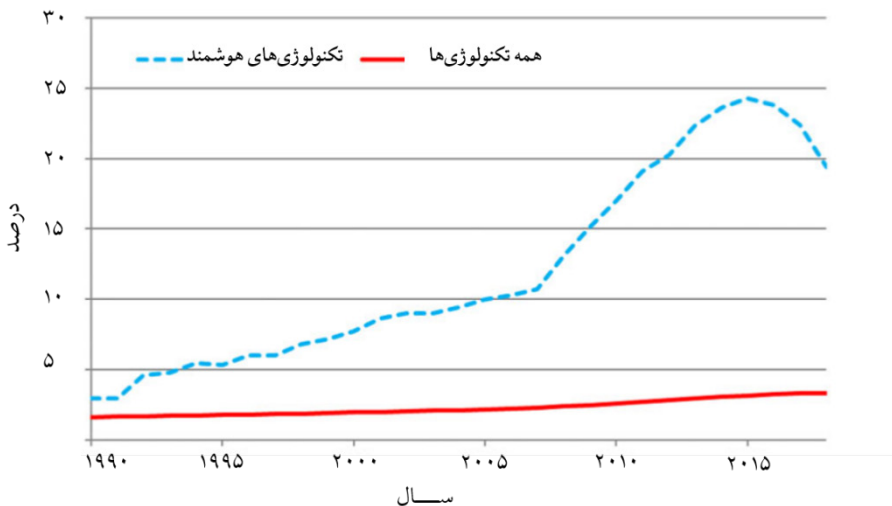
به ویژه تأثیرات اقتصادی آن، به‌طور عمده به توسعه در دیگر زیرسیستم‌ها یا حوزه‌های اجتماعی بستگی دارد. جدیدترین نظریات در این حوزه حاکی از آن است که دو موضوع «چالش آب و هوایی» و آنچه «انقلاب صنعتی چهارم» نامیده شده‌است، یعنی پیشرفت در هوش مصنوعی و گسترش اینترنت اشیاء، مهم‌ترین عوامل موثر بر اقتصاد آتی خواهند بود. (فریمن، ۲۰۲۰)

این اندیشمندان استدلال می‌کنند که یک انقلاب تکنولوژیکی با انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان هسته آن در جریان است که با سرعت متفاوت در بخش‌ها و زمینه‌های مختلف در حال پیشرفت است. این خطوط گسترده که حاکی از یک رژیم تکنولوژیکی جدید و پایدارتر است، اگرچه هنوز در مراحل اولیه خود است، اما به‌وضوح قابل تشخیص هست. اگر این انتقال موفقیت‌آمیز باشد، از اثرات مخرب تغییر آب و

در جهان در حوزه سیاست‌گذاری علم و فناوری و به‌طور خاص تنظیم اولویت‌های علم و فناوری انرژی برای حل چالش‌های ناترازی کربن و انرژی وجود دارد، که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش مکنزی (انکوئیست، ۲۰۱۰)، مدل لیپ، روش‌های آینده نگاری، روش‌های ارزیابی نیازهای فناورانه، روش ادکوئیست، روش امکان‌پذیری اثربخشی، و مدل‌ها و روش‌های نوظهور بر مبنای سناریوهای تغییر اقلیم (ابصار، ۲۰۱۵) اشاره نمود.

### چالش اقتصادی

بسیاری از اندیشمندان به بررسی چگونگی تنوع در عملکرد اقتصادی کشورها و در طول زمان پرداخته‌اند. یکی از مهم‌ترین این دیدگاه‌ها دیدگاه فریمن است که در آن اشاعه نوآوری به‌عنوان یک نیروی مستقل محرک تغییر اجتماعی محسوب می‌شود که



شکل ۱- سهم فن آوری‌های سبز در ثبت اختراعات تولید هوشمند و در همه حق ثبت اختراعات (فاگروبرگ، ۲۰۲۰)

این هدف‌گذاری، بسیار زود از سوی جامعه علمی به بلند پروازانه بودن و نیاز به تلاش‌های جدی برای دستیابی به آن اعتراف شد (راگلج، ۲۰۱۷).

جمهوری اسلامی ایران به‌عنوان ششمین کشور تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۰ (کریپا، ۲۰۲۰)، طی ارائه پیشنهادی، به صورت داوطلبانه پیشنهاد داد تا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را به ترتیب به میزان ۴ درصد و ۱۲ درصد به صورت غیرمشروط و مشروط به رفع تحریم‌های اقتصادی کاهش دهد (پتانو، ۲۰۱۹). علی‌رغم امضای اولیه پیمان پاریس و ارائه برنامه ملی کاهش انتشار، موافقتنامه پاریس با ایراداتی که از سوی شورای نگهبان مواجه شد؛ در صحن مجلس باقی ماند و تا کنون جمهوری اسلامی ایران به صورت رسمی به این توافق نامه نپیوسته است. هرچند تقریباً کلیه کشورها (به جز ایران، لیبی و یمن)، تعهدات داوطلبانه‌ای پیشنهادی خود را پذیرفته‌اند؛ به صورت شفاف سناریوی محتمل انتشار گازهای گلخانه‌ای خود در سال‌های ۲۰۲۰ الی ۲۰۳۰ را به تصویر کشیده و میزان تعهدات خود را نیز متناسب با آن مشخص نموده و برنامه‌های عملیاتی در راستای دستیابی به اهداف کاهش انتشار را در دستور کار قرار داده‌اند.

### چالش ناترازی انرژی

ناترازی انرژی عموماً به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن تقاضای انرژی از عرضه آن پیشی می‌گیرد (یا بالعکس). این امر به دلایل مختلف سیاسی، اقلیمی، محدودیت‌های تولیدی، و تغییر در الگوی مصرف انرژی رخ می‌دهد. در سال‌های اخیر، اروپا و سایر کشورها از جمله ایران با چالش‌های متعددی در زمینه ناترازی انرژی مواجه شده‌اند. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی و فن‌آوری‌های

هوا که اکنون پیش‌بینی می‌شود، می‌توان جلوگیری کرد که این امر دستاورد بزرگی برای بشریت خواهد بود. با این حال، سرعت نابرابر تغییر در بخش‌ها و بخش‌های مختلف جهان، تردیدهایی را در مورد موفقیت این تلاش‌ها ایجاد کرده است. (فریمن، ۲۰۲۰)

### چالش تغییر اقلیم

امروزه نگرانی بسیار شدیدی در خصوص دخالت انسان و تاثیرات آن بر محیط زیست وجود دارد. اگرچه در گذشته مضرترین کشورها برای محیط زیست آمریکا و اروپا به دلیل توسعه و سطح صنعتی شدنشان محسوب می‌شدند، اما امروزه کشورهایی از سراسر آسیا، به ویژه چین و هند، تأثیرگذارترین کشورها بر محیط زیست هستند (رووینارو، ۲۰۲۲). در همین سال‌های اخیر، به‌منظور قطع این مسائل و کمک به جلوگیری از وخامت بیشتر جهان، سازمان ملل دستور کار ۲۰۳۰ را اصلاح کرد و سازو کاری را تعیین نمود تا در آن کشورها در برابر اثرات تغییرات آب و هوایی، کاهش گرمایش جهانی و آلودگی بیشتر جهان اقداماتی را انجام دهند (توافقنامه پاریس، ۲۰۱۵).

جامعه بین‌المللی در یکی از آخرین تلاش‌ها از طریق سازمان ملل متحد، در «بیست و یکمین کنفرانس اعضاء» و در «توافقنامه پاریس» در سال ۲۰۱۵، بر تمرکز سیاست‌های بین‌المللی آب و هوا در نگهداشتن افزایش دمای کره زمین به زیر ۲ درجه سانتی‌گراد و پیگیری تلاش‌های بیشتر برای ننگه داشتن افزایش دما تا کمتر از ۱٫۵ درجه سانتی‌گراد تأکید کردند (توافقنامه پاریس، ۲۰۱۵). هدفی که در ذیل بند ۱۳ اهداف توسعه پایدار سازمان ملل نیز به گونه‌ای مورد توجه قرار گرفت (اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد، ۲۰۱۶). هرچند

### چارچوب نظری

در سال‌های اخیر، پارادایم اولویت‌گذاری «ماموریت‌گرایی نوین» به‌عنوان چهارمین و جدیدترین پارادایم در سیاست‌گذاری فناوری با یک جهت‌گیری نسبت به فن‌آوری‌ها، برای مقابله با تحولات اجتماعی جدید مانند تغییرات جمعیت‌شناختی، تغییر اقلیم، امنیت و ... مورد توجه سیاست‌گذاران علم و فناوری قرار گرفته است (گسلر، ۲۰۰۸). در این رویکرد، سیاست فناوری و نوآوری به‌عنوان راهکاری برای برون رفت توامان از مشکلات حاکمیتی، زیست‌محیطی و اقتصادی در دستور کار کشورها قرار گرفته‌است (فاگربرگ، ۲۰۱۷). از این رو بسیاری از اندیشمندان اعتقاد دارند که تلاش‌های جدید در کشورهای توسعه یافته در حرکت به سمت فناوری‌های سبز و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، صرفاً نشانه‌ای از تغییر به سمت حفاظت محیط زیست نبوده، بلکه راهکاری برای درمان مشکلات و معضلات اقتصادی و حاکمیتی (همچون ناترازی انرژی) نیز می‌باشد (فاگربرگ، ۲۰۱۷).

برای مدیریت بهتر منابع انرژی در جهت نیل به اهداف اقتصادی و کاهش تأثیرات منفی بر محیط‌زیست، استفاده از مدل‌های تحلیلی و شبیه‌سازی برای بررسی سناریوهای مختلف و ارزیابی تأثیر سیاست‌ها ضروری است. مدل‌های مختلفی برای بررسی ابعاد اقتصادی، ناترازی انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای توسعه یافته‌اند که هر یک با رویکردها و ویژگی‌های خاص خود، به تحلیل مفصل عوامل مؤثر در این زمینه می‌پردازند. از مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به دیاگرام‌های سانکی که به نمایش جریانات انرژی در سیستم‌های مختلف می‌پردازد، مدل‌های شبیه‌سازی مانند لیپ، تایمز و مارکال که برای تحلیل سناریوهای سیاست‌گذاری و بهبود بهره‌وری انرژی به کار می‌روند، مدل‌های مدیریت تقاضا

انرژی تجدیدپذیر، عناصر اصلی در گذار از این بحران محسوب شده و هم افزایی آنها نیز به همین ترتیب مهم است (جیلن، ۲۰۱۹).

در دهه‌های اخیر، بسیاری از پژوهش‌ها به بررسی نقش سیاست‌های فناوری و نوآوری در مدیریت ناترازی انرژی پرداخته‌اند. مطالعات اولیه عمدتاً بر روی اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر و تأثیرات آنها بر کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی متمرکز بوده‌اند. اندیشمندان مختلفی به بررسی نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تحول جهانی انرژی پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که این منابع می‌توانند به‌طور قابل توجهی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر باشند (جیلن، ۲۰۱۹). همچنین عدم یکپارچگی در ارزیابی منابع و سیاست‌گذاری در این خصوص، منجر به استراتژی‌های ناسازگار و استفاده ناکارآمد از منابع می‌شود. نگاه کلی به استراتژی‌های آب و هوا، کاربری زمین، انرژی و آب می‌تواند به رفع برخی از این کاستی‌ها کمک کند (هولز و همکاران، ۲۰۱۳).

بسیاری از پژوهشگران و متخصصان، ناترازی انرژی را به‌عنوان یک مشکل حاکمیتی تلقی می‌کنند که نیازمند توجه جدی و سیاست‌گذاری‌های مؤثر است. آن‌ها معتقدند حاکمیت ضعیف و نبود نظارت کافی منجر به ناکارآمدی در سیستم‌های انرژی و تشدید ناترازی انرژی می‌شود و ناترازی انرژی به دلیل نبود سیاست‌های قوی و هماهنگ، به یک مشکل حاکمیتی تبدیل شده است (گونینگهام، ۲۰۱۲). از این رو معتقدند حل مشکل ناترازی انرژی نیازمند اصلاحات ساختاری در سیاست‌های حاکمیتی و تقویت نهادهای مرتبط با انرژی است.

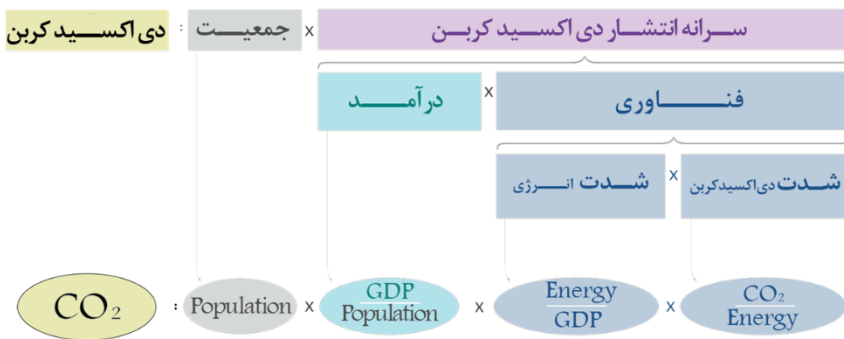
در اوایل دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد و توسعه یافت تأثیر جمعیت انسانی بر محیط زیست را می توان محصول اندازه جمعیت، ثروت و آسیب های زیست محیطی ناشی از فناوری های مورد استفاده برای تأمین هر واحد مصرف تعریف کرد. در نمایی از این فرمول که با دی اکسید کربن تنظیم شده، میزان دی اکسید کربن تولیدی محصول اندازه جمعیت، درآمد سرانه، شدت انرژی و شدت کربن است (ارلیچ، ۱۹۷۱).

فرآیند استخراج چارچوب نظری مقاله شامل «شناسایی مفاهیم کلیدی و بررسی ادبیات پیشین»، «تعریف مفاهیم و متغیرها»، «ایجاد چارچوب نظری»، «انتخاب و بومی سازی مدل ها و سناریوها»، «کاربرد چارچوب نظری در تحلیل داده ها» و «استخراج یافته ها» است. چارچوب نظری مقاله بر اساس ترکیبی از مفاهیم استخراج شده از مرور ادبیات و تعاریف ارائه شده توسط نویسندگان شکل می گیرد. این چارچوب، به طور خاص، بر ارتباط

که برای بهبود بهره وری انرژی از طریق مدیریت بهتر تقاضا و کاهش تلفات انرژی به کار می رود و مدل های تحلیل تکنیکی که به بررسی و تجزیه و تحلیل فنی مصرف انرژی و بهره وری در صنایع و سیستم های مختلف انرژی می پردازند اشاره نمود.

یکی از مهم ترین و البته قدیمی ترین مدل ها برای بررسی تأثیرات عوامل مختلفی مانند جمعیت، تولید ناخالص داخلی، بهره وری انرژی، و انتشار گازهای گلخانه ای، مدل کایا است. این مدل یک ابزار تحلیلی است که برای بررسی عوامل مختلفی که بر انتشار گازهای گلخانه ای تأثیر می گذارند، استفاده می شود (روینارو، ۲۰۲۲). این مدل در ابتدا توسط یوکی کایا، اقتصاددان ژاپنی، در سال ۱۹۸۹ توسعه داده شد و به عنوان یک ابزار ساده و قدرتمند برای تحلیل و پیش بینی تغییرات انتشار گازهای گلخانه ای مورد استفاده قرار می گیرد (کایا، ۱۹۸۹).

در معادله کلی که توسط ارلیچ، هولدرن و کامرن



شکل ۲- معادله کایا (روینارو، ۲۰۲۲)



شکل ۳- مدل مفهومی توسعه سناریوهای مرتبط با ایران طبق روش شناسی تقلیل مقیاس (نویسندگان)

گلخانه‌ای ایران از سناریوهای مرجع «مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی» و «مسیرهای معرف غلظت» توسعه داده شده است. داده‌های کمی مورد استفاده در این پژوهش در بخش اول و دوم از پایگاه Our World in Data استخراج شده‌اند که شامل اطلاعات گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف از جمله اقتصاد، زیست‌محیط، جمعیت و انرژی است که از منابع معتبر بین‌المللی جمع‌آوری می‌شود.

منطق تحلیل سناریو شامل شناسایی و بررسی عوامل کلیدی و متغیرهای نامطمئن است که می‌توانند آینده را شکل دهند. این تحلیل از طریق ایجاد چندین سناریوی مختلف بر اساس ترکیب‌های مختلف این عوامل و متغیرها انجام می‌شود. هر سناریو نمایانگر یک مسیر محتمل برای آینده است که به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا بهتر بتوانند تصمیمات استراتژیک اتخاذ کنند و برای آینده‌های مختلف آماده باشند. این روش نه تنها به شناسایی فرصت‌ها و تهدیدها کمک می‌کند، بلکه به افزایش انعطاف‌پذیری و توانایی انطباق با

بین‌ناظر انرژی و کربن، و همچنین تأثیر عوامل مختلف اقتصادی و زیست‌محیطی بر این ناظر انرژی متمرکز است. چارچوب نظری در این پژوهش به پژوهشگران کمک کرده تا ارتباط بین ناظر انرژی و کربن و دیگر عوامل اقتصادی و زیست‌محیطی را درک کنند. همچنین، این چارچوب به تحلیل دقیق داده‌های تاریخی و پیش‌بینی روندهای آینده منجر شده است.

## روش شناسی

این پژوهش شامل دو بخش می‌باشد که در هر بخش از روش شناسی متناسب با آن بهره‌برده شده است. در بخش اول، روند تاریخی مولفه‌های اقتصادی، انرژی و زیست‌محیطی ایران مورد بررسی قرار گرفته است. از این رو به بررسی روند شناسی مولفه‌های جمعیت، درآمد سرانه، شدت انرژی و شدت کربن با استفاده از داده‌های کمی پایگاه‌های داده بین‌المللی بهره‌گرفته شده است. در بخش دوم سناریوهای جمعیت، توسعه اقتصادی، و شدت کربن و انتشار گازهای

تغییرات آینده نیز می‌انجامد.

در بخش اول، روند تاریخی عوامل فوق در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مورد بررسی شامل دوره زمانی از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۲۲ هستند. این دوره زمانی به منظور بررسی روندهای طولانی مدت و تغییرات ساختاری انتخاب شده است. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از تحلیل توصیفی و تحلیل روند از طریق ترسیم نمودارهای زمانی برای مشاهده تغییرات هر مولفه در طول زمان مورد بررسی قرار گرفته است.

در این پژوهش از روش تقلیل مقیاس ۱ استفاده شده است که یکی از روش‌های متداول در آینده‌پژوهی است. این روش به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا سناریوها و مدل‌های کلان‌مقیاس (مانند مدل‌های جهانی) را به سطوح ملی یا محلی تطبیق دهند. همچنین، استفاده از تحلیل سناریو برای پیش‌بینی روندهای آتی و بررسی پیامدهای مختلف سیاست‌ها نیز یکی از روش‌های کلیدی آینده‌پژوهی است که در این پژوهش به کار رفته است.

### سناریوهای اقتصادی، فناوری و انتشار ایران

با توجه به وجود سناریوهای مقبول بین‌المللی، در این مقاله توسعه سناریوها در مقیاس‌های ملی با رویکرد «کاهش مقیاس» در دستور کار قرار گرفته است (ورون، ۲۰۰۷ و گاتشو، ۲۰۲۱) که به‌طور ویژه برای ایجاد وضوح بالاتر در مورد عناصر کمی سناریو (مانند تولید ناخالص داخلی، جمعیت) مرتبط هستند. از این رو از روش تقلیل مقیاس خطی در محاسبه شاخص جمعیت و رشد اقتصادی و یک نسخه مختصر اصلاح شده از تقلیل مقیاس همگرایی در محاسبه شاخص انتشار استفاده شده است که می‌تواند انتشار منفی را نیز مدیریت کند و از داده‌های تولید ناخالص داخلی و معادله کایا برای تقلیل مقیاس انتشار گازهای گلخانه‌ای موجود در «سناریو مسیرهای معرف غلظت» و سناریوهای «مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی» استفاده شده است.

### بررسی روند تاریخی مولفه‌های اقتصادی، فناوری و زیست‌محیطی

همانطور که در بخش قبل بیان شد؛ مجموع انتشار دی‌اکسید کربن توسط چهار عامل بزرگ و اساسی در نظر گرفته می‌شود که در مجموع منجر به معادله کایا می‌شود. با در نظر گرفتن معادله کایا، این امکان فراهم می‌شود تا تأثیر انتشار دی‌اکسید کربن از منابع انسانی، با در نظر گرفتن جمعیت، درآمد، شدت انرژی و شدت کربن درک و اندازه‌گیری شود. مولفه‌های موثر در این فرمول عبارتند از:

- جمعیت، زیرا هر ساکن زمین به نوعی آلوده‌کننده است.
- سرانه درآمد، همانطور که بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند؛ افراد ثروتمندتر تمایل به انتشار دی‌اکسید کربن بیشتری دارند.
- شدت انرژی، که نشان دهنده انرژی مصرف شده در واحد تولید ناخالص داخلی است.
- شدت کربن، که نشان دهنده مقدار دی‌اکسید کربن منتشر شده در واحد انرژی است.

سال همگرایی برای شدت انتشار در یک منطقه باید بر اساس خط داستانی سناریوی «مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی» انتخاب شود. سال‌های همگرایی بر اساس ادبیات در حدود سال ۲۱۰۰ انتخاب شده است. در صورتی که همگرایی در بازه زمانی سناریو حاصل شود، همه کشورهای یک منطقه به شدت

#### 1. Downscaling

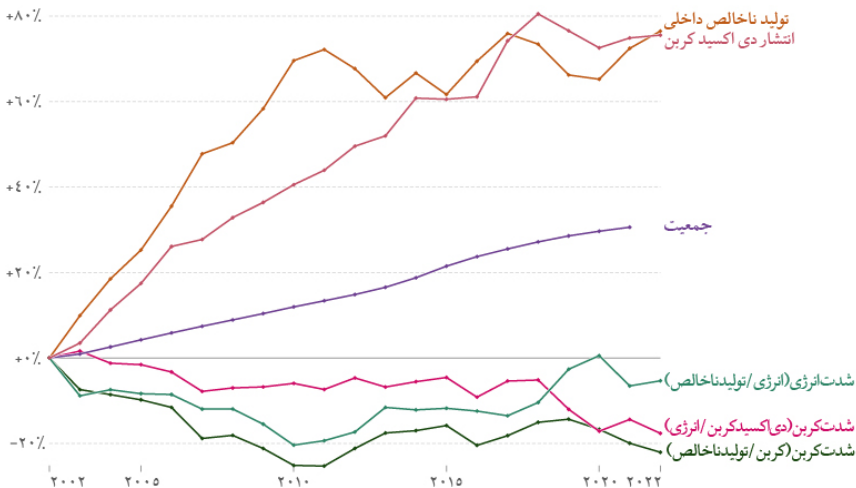
کایا در بررسی و تحلیل روند تاریخی و آتی مولفه‌های چهارگانه جمعیت، سرانه درآمد، شدت انرژی و شدت کربن، رویکرد جدیدی به مساله ناترازی طرح شده است. در نگاه دقیق‌تر می‌توان ناترازی را در عدم توازن و تناسب مولفه‌های اقتصادی، کربن و انرژی جستجو نمود. کشورها امروزه در کنار اهداف اقتصادی و افزایش نسبت تولید ناخالص داخلی به جمعیت (سرانه تولید ناخالص داخلی)، به دنبال کاهش نسبت میزان کربن انتشار یافته به انرژی مصرفی (شدت کربن) و کاهش نسبت میزان انرژی مصرفی به تولید ناخالص داخلی (شدت انرژی) خود هستند

از این رو اگرچه در گذشته ناترازی انرژی بیشتر به مفهوم ناترازی تولید و مصرف انرژی اشاره داشته است، اما همگام با جهت‌گیری عمومی کشورها به سمت حفظ تناسب توأم مولفه‌های اقتصادی، جمعیت، انرژی و کربن و در یک باز تعریف و با

انتشار منطقه‌ای که توسط سناریوی انتشار تجویز شده است همگرا می‌شوند. روش ما بر اساس رویکرد اصلی توسط ورن و همکاران است. (ورن، ۲۰۰۷). مسیر شدت انتشار یک کشور با استفاده از یک تابع نمایی ایجاد می‌شود که با شدت انتشار اولیه در سال هماهنگ‌سازی و شدت انتشار منطقه‌ای در سال همگرایی تعریف می‌شود. ایده کلی این روش این است که تغییر در شدت انتشار متناسب با تفاوت شدت انتشار هر کشور با میانگین جهانی است.

### یافته‌های پژوهش

همانطور که در بخش روش‌شناسی مطرح گردید، پژوهش شامل دو بخش بررسی روند تاریخی مولفه‌های جمعیت، توسعه اقتصادی، و شدت انرژی و شدت کربن و ارائه سناریوهای اقتصادی، فناوری و زیست‌محیطی است. از این رو یافته‌های پژوهش نیز در دو بخش ارائه می‌شود. با مبنا قرار گرفتن معادله



شکل ۴- روند تاریخی مولفه‌های جمعیت، درآمد، شدت انرژی و شدت کربن ایران

می‌شود. نمودار شکل ۵ این نتایج متفاوت را برای جمعیت ایران در پنج سناریو نشان می‌دهد. در چهار سناریو، اوج جمعیت قبل از پایان قرن است و سپس کاهش می‌یابد. جمعیت در سناریوی ۲ و سناریوی ۴ در اواخر قرن (به ترتیب ۲۰۷۰ و ۲۰۷۵)، در حدود ۳۵ درصد بالاتر از سطح آن در ۲۰۲۰، به اوج خود می‌رسد. در سناریوی ۱ و ۵ جمعیت خیلی زودتر و در اواسط قرن، با افزایش حدود ۲۵ درصدی از سال ۲۰۱۰، به اوج می‌رسد و سپس کاهش نسبتاً شدیدی دارد. بر اساس سناریوی ۱، جمعیت در سال ۲۱۰۰ به مقدار آن در سال ۲۰۱۰ بازمی‌گردد و در قرن بیست‌ودوم به کاهش ادامه می‌دهد. در سناریوی ۵، با کاهش کندتر (۸ درصد)، جمعیت در سال ۲۱۰۰ همچنان بیشتر از سال ۲۰۱۰ خواهد بود. در سناریوی ۳، جمعیت نزدیک به ۱۳ میلیارد نفر در سطح جهان و ۱۵۰ میلیون در ایران می‌رسد که از سال ۲۰۱۰ حدود ۸۴ درصد افزایش یافته است و هیچ نشانه‌ای از نقطه اوج مشخص وجود ندارد. از سوی دیگر، دامنه تفاوت‌ها در این پنج سناریو نیز به وضوح در طول زمان گسترش می‌یابد. در سال ۲۰۵۰، محدوده بین خطوط پایین و بالا حدود ۱۵ میلیون است که در سال ۲۱۰۰ به ۶۰ میلیون می‌رسد.

سناریوهای ۲ و ۴ و حتی بیشتر از آن سناریوی ۱ یا ۵، گسست شدیدی از روندهای بلندمدت جمعیت جهان طی دو قرن گذشته است که رشد سریعی داشته است. اگرچه کشورها و اغلب جوامع محلی کاهش جمعیت داشته‌اند، اما در سطح جهان هرگز کاهش در جمعیت و مولفه‌های اصلی اجتماعی و اقتصادی رخ نداده است. در بلندمدت، جهان ممکن است در برخی از سطوح جمعیت پایدار با نسبت‌های همگروهی (تقریباً) ثابت سنی تثبیت شود. با این

نگاهی جامع‌تر و دقیق‌تر براساس معادله کایا، تناسب مولفه‌های چهارگانه جمعیت، سرانه درآمد، شدت انرژی و شدت کربن و به‌طور خاص مولفه‌های «سرانه تولید ناخالص داخلی»، «شدت کربن» و «شدت انرژی» را می‌توان شاخص‌های مناسب‌تری برای ناترازی اقتصادی، ناترازی کربن و ناترازی انرژی معرفی نمود.

### بررسی روند تاریخی مولفه‌های جمعیت، توسعه اقتصادی، و شدت انرژی و شدت کربن

در دو دهه گذشته، روند انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور و افزایش تولید ناخالص تقریباً روندی صعودی داشته است (شکل ۴). جمعیت نیز تقریباً از الگویی مشابه و البته مقادیر کمتر افزایش تبعیت نموده است. اما در خصوص شدت انرژی و شدت کربن (هم میزان انتشار کربن بر مقدار انرژی مصرفی و هم میزان انتشار کربن بر تولید ناخالص داخلی)، اگرچه در ابتدای قرن ۲۱ روند کاهشی را مشاهده می‌کنیم، اما در ادامه این روند کاهشی حفظ نشده و در برخی مقاطع روند افزایشی مشاهده شده است.

### سناریوهای جمعیت، توسعه اقتصادی، و انتشار کربن

در این بخش ابتدا شرح مختصری از سناریوهای پایه ارائه شده و سپس به توسعه سناریوهای «مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی» و «مسیرهای معرف غلظت» در سطح کلی از منظر سه مؤلفه جمعیت، رشد اقتصادی و انتشار خواهیم نمود.

#### جمعیت

مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی پیامدهای بسیار متفاوتی برای جمعیت ایران در سال ۲۰۵۰ دارد و این تفاوت تا سال ۲۱۰۰ بسیار بیشتر

جدول ۲: شرح سناریوهای مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی (کبده و همکاران، ۲۰۱۸)

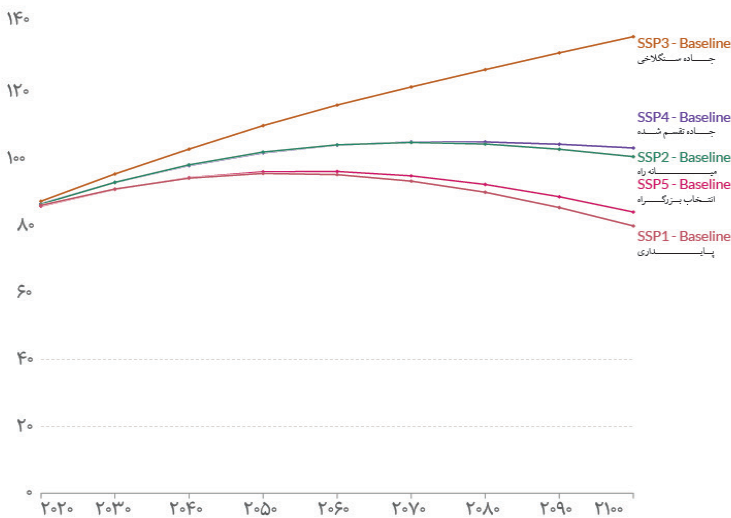
سناریو	شرح سناریو
پایداری در پیشرفت‌ها	<p>جهان، هرچند به تدریج اما همه‌جانبه، به سمت مسیری پایدار برای توسعه حرکت می‌کند و بر توسعه فراگیر در ضمن احترام به محیط زیست تأکید می‌شود. هزینه‌های اجتماعی و فرهنگی و اقتصادی تخریب محیط زیست و نابرابری‌هایی که باعث آن می‌شود مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد و به دقت محاسبه می‌شود. هم‌گرایی جهانی از طریق هم‌کاری مؤثر و مداوم سازمان‌ها و نهادهای محلی و ملی و بین‌المللی، همچنین بخش خصوصی و جامعه مدنی، تسهیل می‌شود و به تدریج بهبود می‌یابد. سرمایه‌گذاری‌های آموزشی و بهداشتی گذار جمعیتی را تسریع می‌کند و این تغییر منجر به جمعیت نسبتاً کمی می‌شود. رشد اقتصادی رو به سمت رفاه انسان‌ها دارد و از کشورهای پردرآمد کنونی شروع می‌شود و به سایر کشورها تسری می‌یابد، به گونه‌ای که رفاه انسانی بیشتر، حتی به قیمت رشد اقتصادی کندتر، در بلندمدت اولویت خواهد یافت.</p>
میان‌راه	<p>جهان مسیری را طی می‌کند که در آن روندهای اجتماعی و اقتصادی و فناوری محور از الگوهای تاریخی تغییر مسیر چندانی نمی‌دهد. توسعه و رشد درآمد نامتوازن پیش می‌رود، به گونه‌ای که برخی از کشورها پیشرفت نسبتاً خوبی دارند و عملکرد در برخی دیگر از انتظارات پایین‌تر است. اکثر اقتصادها از نظر سیاسی ثبات دارند. بازارهای جهانی عملکرد ناقصی دارند. نهادهای ملی و بین‌المللی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار، از جمله بهبود شرایط زندگی و دسترسی به آموزش و آب سالم و مراقبت‌های بهداشتی، پیشرفت می‌کنند اما پیشرفت کندی دارند. در این سناریو، اگرچه سرعت توسعه فناوری بالاست، اما این تغییر بیشتر ناشی از تغییرات در فناوری‌های موجود بوده و پیشرفت‌های اساسی در نوع فناوری رخ نمی‌دهد. سیستم‌های زیست‌محیطی دستخوش تخریب می‌شود، اگرچه پیشرفت‌هایی وجود دارد و در کل شدت استفاده از منابع و انرژی کاهش می‌یابد. با اینکه وابستگی به سوخت‌های فسیلی به آرامی کاهش می‌یابد، اما هیچ اکراهی در استفاده از منابع فسیلی نامتعارف وجود ندارد.</p>
رقابت منطقه‌ای، حادمان‌سنجی	<p>ملی‌گرایی در حال ظهور و نگرانی در مورد رقابت‌پذیری و امنیت و درگیری‌های منطقه‌ای حاکمان کشورها را وادار می‌کند تا با شدت بیشتری بر مسائل داخلی یا حداکثر منطقه‌ای تمرکز کنند. این روند را تعدادی از نهادهای جهانی، با هماهنگی و همکاری ضعیف برای رسیدگی به مسائل زیست‌محیطی و سایر نگرانی‌های جهانی، تقویت می‌کنند. سیاست‌ها در طول زمان تغییر می‌یابد تا بر مسائل امنیتی ملی و منطقه‌ای، از جمله موانع تجارت، به‌ویژه در منابع انرژی و بازارهای کشاورزی، بیشتر متمرکز شود. حاکمان کشورها دستیابی به اهدافشان را، در تأمین انرژی و امنیت غذایی در مناطق خود، به هزینه توسعه وسیع در اولویت قرار می‌دهند و در مناطق بیشتری به سمت حکومت‌های اقتدارگرا با اقتصادهای دارای با دخالت‌های زیاد حرکت می‌کنند.</p>
پایداری، هادمان‌سنجی	<p>توزیع بسیار نابرابر سرمایه میان افراد، همراه با افزایش نابرابری در فرصت‌های اقتصادی و قدرت سیاسی، منجر به افزایش نابرابری‌ها و طبقه‌بندی در داخل کشورها و بین آن‌ها می‌شود. با گذشت زمان، شکاف میان جامعه‌ای متصل به جامعه جهانی با اکثریت جمعیت تحصیل کرده، که به بخش‌هایی از دانش و سرمایه در اقتصاد جهانی کمک می‌کند، و پراکندگی جوامع کم‌درآمد و با تحصیلات ضعیف با سرانه کارگری بالا، که بیش از سرانه معمول کار می‌کنند، افزایش می‌یابد. قدرت در گروه نسبتاً کوچک نخبگان سیاسی و تجاری حتی در جوامع دموکراتیک متمرکز می‌شود، در حالی که گروه‌های آسیب‌پذیر نمایندگی کمی در نهادهای ملی و جهانی دارند. رشد اقتصادی در کشورهای صنعتی و با درآمد متوسط در طراز میانگین است، در حالی که در کشورهای کم‌درآمد میزان رشد کمتر است و در بسیاری از موارد برای دسترسی کافی به آب و مراقبت‌های بهداشتی برای فقرا تلاش می‌کنند.</p>

سناریو	شرح سناریو
سناریو توسعه پایدار	با توجه به موفقیت اقتصادی اقتصادهای صنعتی و در حال ظهور، این جهان اعتقاد فزاینده‌ای به بازارهای رقابتی، نوآوری و جوامع مشارکتی برای تولید سریع فناوری و توسعه سرمایه انسانی به‌عنوان راهی برای توسعه پایدار قائل است. بازارهای جهانی به‌طور فزاینده‌ای ادغام شده‌اند و مداخلات بر حفظ رقابت و رفع موانع نهادی برای مشارکت گروه‌های محروم جمعیت متمرکز شده است. همچنین سرمایه‌گذاری‌های شدیدی در زمینه بهداشت، آموزش و پرورش و موسسات برای افزایش سرمایه انسانی و اجتماعی انجام می‌شود. در عین حال، فشار برای توسعه اقتصادی و اجتماعی همراه با بهره‌برداری از منابع فراوان سوخت فسیلی و اتخاذ شیوه‌های زندگی با منابع و انرژی زیاد در سراسر جهان است. همه این عوامل منجر به رشد سریع اقتصاد جهانی می‌شود. به توانایی مدیریت موثر سیستم‌های اجتماعی و زیست‌محیطی، از جمله در صورت لزوم با مهندسی زمین، ایمان وجود دارد.

### تولید ناخالص داخلی

شکل ۶ و ۷ تغییرات تولید ناخالص داخلی ایران تحت پنج سناریوی مختلف را نشان می‌دهد. سطح تولید ناخالص اقتصاد که در سال ۲۰۲۰ حدود ۱,۱ هزار میلیارد دلار بوده است، در سال ۲۱۰۰، از

حال، در گذار به چنین وضعیت ثابتی، کشورها احتمالاً تغییرات شدیدی در این نسبت‌ها پیش رو خواهند داشت، مثلاً افزایش سریع سهم سالمندان در تناسب با نیروی کار، و تأثیرات اقتصادی این تغییرات احتمالاً یکی از مهم‌ترین چالش‌ها خواهد بود.

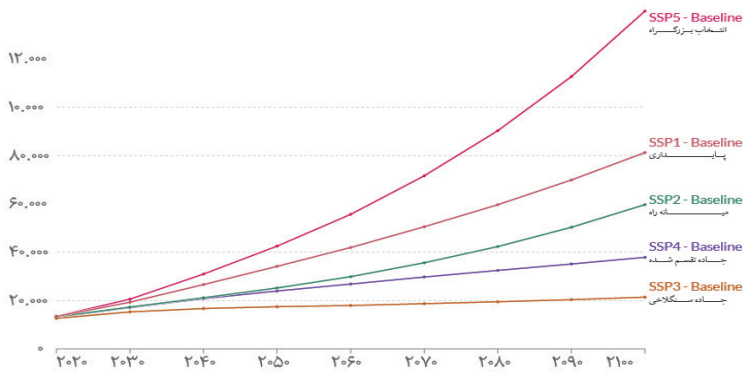


شکل ۵- جمعیت ایران (میلیون نفر) در سناریوهای مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی تا پایان قرن ۲۱

می‌کند. همانند روند رشد جمعیت، در رشد اقتصاد نیز خوشه‌بندی‌هایی در سطح جهانی وجود دارد و از میان سناریوهای مختلف، سناریوهای ۳ و ۴ به یکدیگر نزدیکتر و سناریوی ۱ و ۲ نیز نسبتاً مشابه یکدیگر هستند.

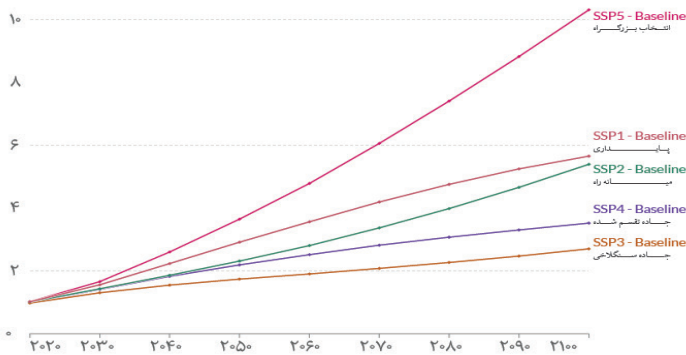
کمترین میزان یعنی ۳ هزار میلیارد دلار در سناریوی ۳، تا بالاترین حد یعنی بیش از ۱۱,۵ هزار میلیارد دلار در سناریوی ۵ متغیر است. میانگین نرخ رشد در طول ۹ دهه، از پایین‌تر با ۱/۶ درصد در سال، تا تقریباً دو برابر با ۳/۲ درصد در سال تغییر

### Global GDP per capita



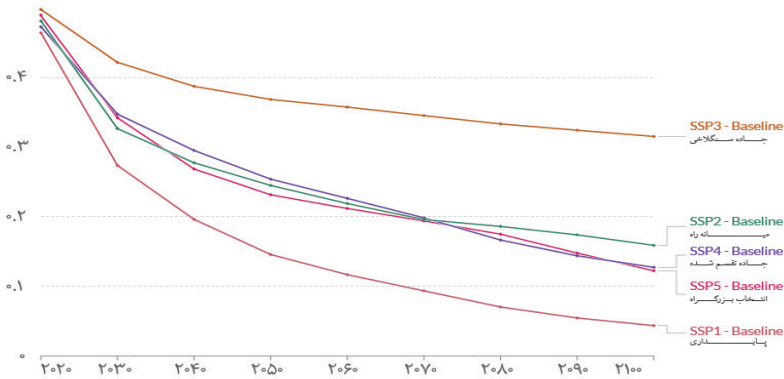
شکل ۶- سرانه تولید ناخالص داخلی ایران (دلار) در سناریوهای مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی تا پایان قرن ۲۱

### Global gross domestic product



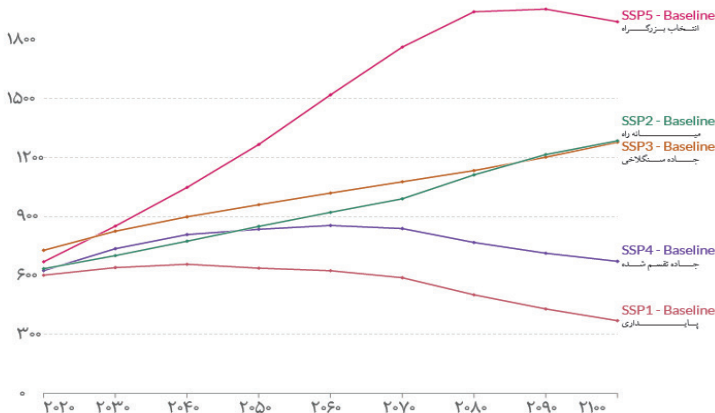
شکل ۷- تولید ناخالص داخلی ایران (هزار میلیارد دلار) در سناریوهای مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی تا پایان قرن ۲۱

### Carbon intensity of the economy



شکل ۸- شاخص شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای ایران (کیلوگرم بر دلار) در سناریوهای مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی تا پایان قرن ۲۱

### Global carbon dioxide emissions



شکل ۹- انتشار گازهای گلخانه‌ای ایران (میلیون تن) در سناریوهای مسیرهای مشترک اقتصادی اجتماعی تا پایان قرن ۲۱

## گازهای گلخانه‌ای

انتشار سالبانه در حدود ۷۰۰ میلیون تن گازهای گلخانه‌ای، زنگ خطری را در سطح ملی برای سیاست‌گذاران، از جمله سیاست‌گذاران علم فناوری به صدا در آورده‌است که بیانگر نرخ بالای انتشار، علیرغم عدم توسعه یافتگی بالای کشور می‌باشد. شکل ۸ و ۹ شاخص شدت انتشار (کربن بر تولید ناخالص) و تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای ایران تحت پنج سناریوی مختلف تا پایان قرن ۲۱ را نشان می‌دهد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای که در سال ۲۰۲۰ حدود ۷۰۰ میلیون تن بوده است، در سال ۲۰۱۰، از کمترین میزان یعنی ۴۰۰ میلیون تن در سناریوی ۱، تا بالاترین حد یعنی بیش از ۱۸۰۰ میلیون تن در سناریوی ۵ متغیر است. در دو سناریوی ۱ و ۴، در اواسط قرن و در سناریوی ۵ در اواخر قرن میزان انتشار پیک خود را خواهد داشت و در ادامه کاهش خواهد یافت. در خصوص شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای، شدت انتشار جهانی و ایران از مقدار تقریبی ۰٫۵ کیلوگرم بر دلار با روند کاهشی مطلق و همگرا به میزانی در حدود ۰٫۴ و ۰٫۳۲ در سناریوهای ۱ تا ۳ خواهد رسید.

جمهوری اسلامی ایران به‌عنوان ششمین کشور تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۰ (کرپا، ۲۰۲۰) لازم است به‌عنوان یکی از مؤثرترین کشورها سیاست‌هایی را در جهت کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای اعمال نماید. مسیری که نقطه عطف آن در کنفرانس پاریس در سال ۲۰۱۵ رقم خورد و جمهوری اسلامی ایران طی ارائه پیشنهادی، به صورت داوطلبانه متعهد شد تا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را به ترتیب به میزان ۴ درصد و ۱۲ درصد به صورت غیرمشروط و مشروط به رفع تحریمهای اقتصادی کاهش دهد (یتانو، ۲۰۱۹).

## تحلیل روند و سناریو

در طول دهه اول قرن بیست و یکم، شدت انرژی و شدت کربن کاهش یافته که نشانگر پیگیری سیاست‌های فناوری متمرکز بر بهبود بهره‌وری انرژی و ترویج استفاده از منابع انرژی پاک‌تر بوده‌اند. اما در دهه‌ی دوم، شدت انرژی و شدت کربن افزایش یافته که می‌تواند ناشی از کاهش حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش وابستگی به سوخت‌های فسیلی باشد. رشد اقتصادی سریع و افزایش تقاضا برای انرژی در صنایع از جمله حمل‌ونقل بدون افزایش همزمان بهره‌وری انرژی، کاهش مقررات زیست‌محیطی و مشوق‌های کمتر برای کاهش انتشار کربن می‌تواند باعث افزایش شدت انرژی و شدت کربن شود.

از سوی دیگر با توجه به سناریوهای توسعه داده شده، به نظر می‌رسد سناریوی ایده‌آل جمهوری اسلامی ایران در پیگیری اهداف رشد اقتصادی، سناریوی شماره ۵ و در پیگیری اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای سناریوی ۱ می‌باشد. سناریویی که اگر چه با رشد پایین در جمعیت همراه است، اما می‌توان انتظار بیشتری از رشد اقتصادی بالا همزمان با کاهش شدت کربن و انتشار گازهای گلخانه‌ای را مورد انتظار قرار داد. در این سناریوها، حل چالش ناترازی انرژی از طریق سیاست‌های فناوری و نوآوری مختلفی می‌بایستی در دستور کار قرار گیرد.

اگرچه هر دو سناریو به فناوری‌های پیشرفته نیاز دارند، اما جهت‌گیری‌های آن‌ها در راستای اهداف محیط زیستی و اقتصادی متفاوت است. در سناریو ۱ «مسیر پایداری»، چالش تناسب کربن و انرژی مصرفی از طریق تمرکز بر توسعه پایدار و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی حل می‌شود.

شدت کربن، رویکرد جدیدی به مساله ناترازی طرح شد. از این رو تناسب مولفه‌های چهارگانه جمعیت، سرانه درآمد، شدت انرژی و شدت کربن و به‌طور خاص مولفه‌های «سرانه تولید ناخالص داخلی»، «شدت کربن» و «شدت انرژی»، به‌عنوان شاخص‌هایی برای ناترازی اقتصادی، ناترازی کربن و ناترازی انرژی پیشنهاد شدند.

پیگیری اهداف کاهش شدت انرژی و کربن باید مبتنی بر تجربه تاریخی روندهای دو دهه گذشته و سیاست‌های فناوری و نوآوری باشد تا بتوان از موفقیت‌ها و اشتباهات گذشته درس گرفت و راهکارهای مؤثرتر و پایدارتر ایجاد کرد. تحلیل دقیق دوره‌های کاهش و افزایش شدت انرژی و کربن نشان می‌دهد که سیاست‌های مشوق بهره‌وری انرژی، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، و تنظیمات زیست‌محیطی قوی منجر به کاهش موفقیت‌آمیز انتشار گازهای گلخانه‌ای شده‌اند. از سوی دیگر، پیگیری اهداف کاهش شدت انرژی و کربن باید در سناریوهای مختلف و به‌طور خاص سناریوی ۱ و ۵ به صورت متفاوت صورت پذیرد، زیرا این دو سناریو راهبردهای مختلفی برای توسعه پایدار و اقتصادی دارند. در سناریوی ۱، تمرکز بر توسعه پایدار از طریق سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش بهره‌وری انرژی، و ترویج فناوری‌های پاک است، که نیازمند سیاست‌های حمایتی قوی و تنظیمات زیست‌محیطی سختگیرانه می‌باشد. در مقابل، سناریوی ۵ بر رشد سریع اقتصادی با اتکا به منابع فسیلی تأکید دارد، لذا کاهش شدت انرژی و کربن در این سناریو از طریق توسعه فناوری‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن، بهبود کارایی نیروگاه‌های فسیلی، و بهره‌برداری بهینه از سوخت‌های فسیلی تحقق می‌یابد.

این مسیر به سمت استفاده گسترده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی، افزایش بهره‌وری انرژی در تمامی بخش‌ها، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با ترویج فناوری‌های پاک و دوستدار محیط زیست حرکت می‌کند. سیاست‌ها در این سناریو شامل تشویق به نوآوری در فناوری‌های سبز، بهبود کارایی انرژی، و مدیریت پایدار منابع طبیعی است، که منجر به کاهش قابل توجه انتشار کربن و بهبود کیفیت محیط زیست می‌شود.

در مقابل، سناریوی ۵ «مسیر توسعه وابسته به سوخت‌های فسیلی» به حل چالش تناسب کربن و انرژی مصرفی با اتکا به توسعه فناوری‌های پیشرفته برای بهره‌برداری بهینه از منابع فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از این منابع می‌پردازد. این سناریو رشد اقتصادی سریع با استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی را در اولویت قرار می‌دهد، اما با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن و بهبود کارایی نیروگاه‌های فسیلی تلاش می‌کند تا تأثیرات منفی زیست‌محیطی را کاهش دهد. همچنین به دنبال بهره‌وری بیشتر از منابع فسیلی با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته استخراج و پالایش است، که به حفظ تعادل بین نیازهای انرژی و کنترل انتشار کربن کمک می‌کند.

## نتیجه‌گیری

در گذشته ناترازی انرژی بیشتر به مفهوم ناترازی تولید و مصرف انرژی اشاره داشته است. اما همگام با جهت‌گیری عمومی کشورها به سمت حفظ تناسب مولفه‌های اقتصادی، جمعیت، انرژی و کربن، در این پژوهش با بهره‌گیری از معادله کایا در بررسی و تحلیل روند تاریخی و سناریوهای مولفه‌های چهارگانه جمعیت، سرانه درآمد، شدت انرژی و

## پیشنهاد‌های سیاستی

حل چالش ناترازی انرژی کشور یکی از مسائل درهم‌تنیده با سایر موضوعات حوزه انرژی از جمله سیاست‌های کاهش و انطباق در حوزه تغییرات اقلیم بوده و نیازمند یک رویکرد جامع و هماهنگ با سیاست‌های این حوزه می‌باشد. همچنین کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق کاهش شدت انرژی و کاهش شدت کربن، پیگیری راهبردهای فناورانه و نوآورانه از سوی سیاست‌گذاران علم و فناوری را مطالبه می‌کند. از این رو سیاست فناوری و نوآوری می‌تواند نقش مؤثری در مواجهه هم‌زمان با چالش ناترازی انرژی و کربن ایفا نماید. به‌طور خاص در جهت حل توأم کاهش ناترازی و کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق کاهش شدت انرژی و کاهش شدت کربن، پیشنهادهایی برای متولیان اجرا، ارزیابی و سیاست‌گذار ارائه می‌شود.

*تشویق و حمایت از سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و بهینه‌سازی مصرف انرژی:* به‌منظور کاهش شدت انرژی و کربن، باید سیاست‌های تشویقی برای جذب سرمایه‌گذاری‌های خصوصی و دولتی در زمینه توسعه و بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند انرژی خورشیدی و بادی) و بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع و ساختمان‌ها تدوین شود.

*ارتقاء فناوری‌های پاک و نوآوری در حوزه انرژی:* سیاست‌گذاران باید از توسعه فناوری‌های نوین نظیر جذب و ذخیره‌سازی کربن (CCS)، افزایش بهره‌وری انرژی، و به‌کارگیری فناوری‌های پاک حمایت کنند. این سیاست‌ها می‌توانند شامل ارائه مشوق‌های مالیاتی، اعطای یارانه‌ها، و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای پژوهش و توسعه (R&D) باشند.

ایجاد و تقویت چارچوب‌های تنظیمات زیست‌محیطی سختگیرانه: وضع قوانین و مقررات سختگیرانه‌تر در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای و پایش دقیق عملکرد صنایع و نیروگاه‌ها می‌تواند به کاهش ناترازی کربن کمک کند. همچنین، باید مجازات‌های مؤثری برای عدم رعایت استانداردهای زیست‌محیطی در نظر گرفته شود.

*پشتیبانی از برنامه‌های آموزشی و فرهنگی در جهت افزایش آگاهی عمومی:* یکی از عوامل مهم در کاهش شدت انرژی و کربن، افزایش آگاهی و تغییر رفتار مصرف‌کنندگان است. برنامه‌های آموزشی و فرهنگی می‌توانند جامعه را نسبت به اهمیت مصرف بهینه انرژی و حفاظت از محیط زیست حساس‌تر کنند.

*پیگیری راهبردهای توسعه پایدار با رویکرد جامع و هماهنگ:* ناترازی انرژی و کربن نیازمند یک رویکرد جامع است که نه تنها بر بهبود کارایی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تمرکز دارد، بلکه به تناسب و تعادل بین مؤلفه‌های اقتصادی، جمعیتی، زیست‌محیطی نیز توجه کند. این سیاست باید به شکل یکپارچه در همه بخش‌های دولتی و خصوصی اعمال شود تا نتایج بهینه به دست آید.

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاقی در پژوهش این مقاله رعایت شده‌اند.

### حامی مالی

این پژوهش حامی مالی ندارد.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

## منابع

### منابع فارسی

- حافظی، رضا و رحیمی راد، زهره. (۱۴۰۳). مشارکت اجتماعی و نقش آن در حل چالش ناترازی انرژی. مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی، ۵۲ (۱۴).
- عظیم‌زاده آرائی، محمد و طهماسبی بلوک آباد، رضا. (۱۴۰۳). بررسی نقش ساختار حکمرانی بخش گاز در حل چالش ناترازی؛ (مطالعه موردی: کشورهای منتخب). مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی.
- کریمی، محمدصادق، حافظی، رضا و سوهانکار، امیرحسین. (۱۴۰۰). بازتعریف سیاست دیپلماسی انرژی ایران درگاز طبیعی در افق ۱۴۲۰، ضرورت یا انتخاب؟. مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی، ۴۱ (۱۱)، ۱۱۶-۱۳۵.

## References

- Absar, S.M. and Preston, B.L., 2015. Extending the shared socioeconomic pathways for sub-national impacts, adaptation, and vulnerability studies. *Global Environmental Change*, 33, pp.83-96.
- Agreement, P. (2015, December). Paris agreement. In report of the conference of the parties to the United Nations framework convention on climate change (21st session, 2015: Paris). Retrived December (Vol. 4, No. 2017, p. 2). Getzville, NY, USA: HeinOnline.
- Alcamo, J., Kok, K., Busch, G., & Priess, J. (2008). Chapter four searching for the future of land: scenarios from the local to global scale. *Developments in Integrated Environmental Assessment*, 2, 67-103.
- Azimzadeh Arani, Mohammad and Tahmasbi Blokabad, Reza. (2014). Investigating the Role of the Gas Sector Governance Structure in Solving the Challenge of Imbalance; (Case Study: Selected Countries). *Strategic Studies on Public Policy*.
- Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., ... & Vignati, E. (2020). Fossil CO2 emissions of all world countries. Luxembourg: European Commission, 1-244
- Dosi, G. (1983). Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, 11(3).
- Ehrlich, P.R. and Holdren, J.P., 1971. Impact of Population Growth: Complacency concerning this component of man's predicament is unjustified and counterproductive. *Science*, 171(3977), pp.1212-1217.
- Enkvišt, P. A., Dinkel, J., & Lin, C. (2010). Impact of the financial crisis on carbon economics: Version 2.1 of the global greenhouse gas abatement cost curve. McKinsey & Company, 374.
- Ernst, A., Biss, K. H., Shamon, H., Schumann, D., & Heinrichs, H. U. (2018). Benefits and challenges of participatory methods in qualitative energy scenario development. *Technological Forecasting and Social Change*, 127, 245-257.
- Fagerberg, J. (2018). Mission (im) possible? The role of innovation (and innovation policy) in supporting structural change & sustainability transitions (No. 20180216). Centre for Technology, Innovation and Culture, University of Oslo.
- Fatemi, M., & Arašti, M. (2019). Priority-setting in science, technology and innovation. *Journal of science and technology policy*, 12(2), 119-133.
- Gassler, H., Polt, W., & Rammer, C. (2008). Priority setting in technology policy: historical developments and recent trends. *Innovation policy in Europe. Measurement and strategy*, 203-224.
- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy strategy reviews*, 24, 38-50.
- Gütschow, J., Jeffery, M.L., Günther, A. and Meinshausen, M., 2021. Country-resolved combined emission and socio-economic pathways based on the Representative Concentration Pathway (RCP) and Shared Socio-Economic Pathway (SSP) scenarios. *Earth System Science Data*, 13(3), pp.1005-1040.
- Hafezi, Reza and Rahimi Rad, Zohreh. (2014). Social Participation and Its Role in Solving the Challenge of Energy Imbalance. *Strategic Studies on Public*

- Policy, 52 (14).
- Harper, W. (2012). The Oxford Handbook of Interdisciplinarity. Theological Librarianship, 5(2), 88-89.
- Karimi, Mohammad Sadegh, Hafezi, Reza and Sohankar, Amir Hossein. (2000). Redefining Iran's Energy Diplomacy Policy on Natural Gas in the Horizon 2020, Necessity or Choice?. Strategic Studies on Public Policy, 41 (11), 116-135.
- Kaya, Y. (1989). Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios. Intergovernmental panel on climate change/response strategies working group, May.
- Kebede, A. S., Nicholls, R. J., Allan, A., Arto, I., Cazcarro, I., Fernandes, J. A., ... & Whitehead, P. W. (2018). Applying the global RCP-SSP-SPA scenario framework at sub-national scale: A multi-scale and participatory scenario approach. Science of the Total Environment, 635, 659-672.
- Lang, D. J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., ... & Thomas, C. J. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. Sustainability science, 7, 25-43.
- Lundvall, B. A. (1992). National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning (Vol. 242). Pinter: London.
- Nations, U. (2016). The sustainable development goals 2016. E Social Sciences.
- Nelson, R. R. (1959). The simple economics of basic scientific research. Journal of political economy, 67(3), 297-306.
- 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.
- Rovinaru, M. D., Bako, D. E., Rovinaru, F. I., Rus, A. V., & Aldea, S. G. (2022). Where are we heading? Tackling the climate change in a globalized world. Sustainability, 15(1), 565.
- UNTC. (n.d.-b). [https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg\\_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=en](https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=en)
- Vuuren, D.P., Lucas, P.L. and Hilderink, H., 2007. Downscaling drivers of global environmental change: Enabling use of global SRES scenarios at the national and grid levels. Global environmental change, 17(1), pp.114-130.
- Yearley, S. (2007). Nature and the environment in science and technology studies. In The handbook of science and technology studies (pp. 921-948). MIT Press.
- Yetano Roche, M., Paetz, C. and Dienst, C., 2019. Implementation of nationally determined contributions: Islamic republic of Iran country report.