تاریخ دریافت: ۱۳ تیر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۷ آبان ۱۴۰۰ صفحات ۳۱ الی ۶۵

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی ایران مطابق با اهداف مرتبط با سیاست‌های کلان کشور

سید علیرضا مدیرزاده

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

modirzade۷٤@ut.ac.ir

محسن ناصری*

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

mnasseri@ut.ac.ir

محمدصادق احدی

کارشناسی ارشد، شرکت انرژیهای تجدیدپذیر مهر

ahadi_msa@yahoo.com

چکیده: مطابق کنوانسیون چهارچوبی تغییر اقلیم سازمان ملل، اعضا باید به منظور مقابله با گرمایش جهانی، انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را کاهش دهند. ایران در برنامه مشارکت ملی مدنظر خود اهداف ۴ و ۱۲ درصدی را در سال ۲۰۳۰ نسبت به سناریوی ادامه‌ی روند فعلی اعلام کرده که بخش انرژی بیشترین نقش را در این برنامه دارد. از طرف دیگر اهداف اسناد بالادستی کشور در حوزه اقتصاد انرژی و محیط‌زیست نشان‌دهنده‌ی عزم جدی در حوزه سیاستگذاری به منظور کاهش شدت انرژی و ارتقای بهره‌وری است که این مسأله بطور ضمنی موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد. هدف این تحقیق مقایسه‌ی اهداف مشارکت ملی مدنظر ایران با سیاست‌های مندرج در اسناد بالادستی در جهت کاهش شدت انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در این پژوهش ضمن مرور سیاست‌ها و اسناد بالادستی کشور در حوزه اقتصاد انرژی و محیط زیست، اهداف همسو با کاهش انتشار شناسایی شده است. سپس با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB، بهینه‌سازی سیستم عرضه‌ی انرژی کشور برای مقایسه‌ی سناریوهای مختلف سیاستگذاری انرژی با ادامه وضع کنونی برای سال‌های ۱۳۹۹- ۱۴۰۹ انجام شده است. براساس نتایج، آنچه در اسناد بالادستی کشور تحت عنوان کاهش شدت مصرف انرژی و کاهش سرانه‌ی انتشار هدفگذاری شده باعث کاهش ۵۰ تا ۶۵ درصدی انتشار کشور در بخش انرژی می‌شود که در مقایسه با اهداف مشارکت ملی قابل توجه است. همچنین اصلاح قیمتگذاری انرژی خصوصاً در صنایع بر مبنای فرضیات این تحقیق می‌تواند تا ۲۰ درصد بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی مؤثر باشد.

کلیدواژه: تغییر اقلیم، گازهای گلخانه‌ای، بهینه‌سازی سیستم عرضه انرژی، سیاستگذاری انرژی و محیط‌زیست، اسناد بالادستی

* نویسنده مسئول

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

مقدمه

روند گرمایش جهانی با افزایش میانگین درجه حرارت متوسط کره زمین، وقوع رخدادهای حدّی اقلیمی مانند سیل و نیز به‌وجودآمدن خشکسالی‌های پی‌درپی در نقاط مختلف کره زمین، آینده حیات بشر در این کره‌ی خاکی را با تهدید جدی روبرو کرده است. کشور ایران هم به دلیل واقع‌شدن در ناحیه جغرافیایی جنب حارّه، بصورت ویژه با نتایج این پدیده دست‌وپنجه نرم می‌کند. از طرفی کاهش نزولات جوی و افزایش میانگین درجه حرارت متوسط کشور در سالیان گذشته باعث بروز خشکسالی در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور شده و از طرف دیگر افزایش رخدادهای حدّیِ اقلیمی مانند سیل، بیشترین خسارات را به بخش کشاورزی -که یکی از ارکان مهم اقتصاد ملی است- و نیز به زیرساخت‌های کشور وارد کرده و می‌کند. بنابراین ایران یکی از بزرگترین قربانیان تغییر اقلیم در دنیا است که این موضوع نیاز بیش‌ازپیش به برنامه‌ریزیِ جدی در سطح ملّی برای سازگاری و مقابله با اثرات تغییر اقلیم و نیز کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را مشخص می‌کند.

به اذعان محققان اقلیم‌شناس، گرمایش جهانی اثر مستقیم فعالیت‌های انسانی و تولید گازهای گلخانه‌ای (مطابق پروتکل کیوتو شامل کربن‌دی‌اکسید CO_2، متان CH_4، اکسید نیتروس N_2O، سولفورهگزافلوراید SF_6، هیدروفلوئوروکربن‌ها HFCs و پرفلوئوروکربن‌ها PFCs) است که از بخش‌های مختلفی شامل تولید و عرضه انرژی، حمل‌ونقل، صنایع به خصوص تولید سیمان، آهن و فولاد، فلزات معدنی و پتروشیمی، بخش کشاورزی و نیز از پسماندهای شهری منتشر می‌شود. در خصوص کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اقدام منفرد یک کشور به منظور خنثی‌کردن اثرات تغییر اقلیم در حدود اقتدار جغرافیایی خودش کافی نیست، چرا که بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای از کشورهایی صورت گرفته که کمترین اثرات ناشی از گرمایش جهانی را تجربه کرده‌اند، و بالعکس کشورهایی که آسیب‌های جدی از تغییر اقلیم دیده‌اند عموماً کشورهای درحال توسعه و فقیر بوده‌اند (استرن، ۲۰۰۶). از همین رو، ایران یکی از مهمترین مدعیان خسارت‌های ملّی ناشی از تغییر اقلیم در جامعه جهانی است که قائدتاً باید برای حصول توافق در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح بین‌المللی تلاش کند. (Stern, ۲۰۰۶)

کنوانسیون چهارچوبی تغییر اقلیم سازمان ملل (UNFCCC) که در سال ۱۹۹۲ اعلام و به تدریج به تصویب اکثر کشورهای دنیا رسیده‌است، مسئولیت تاریخی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو را متوجه کشورهای صنعتی کرده و حقّ کشورهای درحال توسعه برای تأمین نیاز روزافزون انرژی برای دستیابی به توسعه اقتصادی را به رسمیت شناخته‌است. از آن تاریخ همه ساله کنفرانس اعضای متعاهد به کنوانسیون در کشورهای مختلف برگزار شده که این روند ابتدا منجر به تصویب پروتوکل کیوتو در سال ۱۹۹۵ و سپس توافق پاریس در سال ۲۰۱۵ شد.

کشورهای توسعه‌یافته در پروتوکل کیوتو موظف به کاهش ۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای خود تا سال ۲۰۱۲ شدند و کشورهای درحال‌توسعه عضو نیز می‌توانستند به وسیله مکانیزم توسعه پاک CDM از سرمایه‌گذاریِ کشورهای توسعه‌یافته برای اجرای پروژه‌هایی با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور خود بهره‌مند شوند؛ مکانیزمی که در توافق پاریس تحت عناوین دیگری به رسمیت شناخته می‌شود. در توافق پاریس، همه کشورهای عضو موظف هستند که برنامه‌ای بر حسب توان و امکانات داخلی خود برای کاهش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ ارائه و در عین حال برای دستیابی به اهداف خود تلاش کنند. همچنین به‌منظور جمع‌بندی در خصوص میزان تأثیرگذاری توافق پاریس در محدود کردن اثرات تغییر اقلیم، کشورها می‌توانستند برنامه اولیه‌ای برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه کنند که جمهوری اسلامی ایران هم سند مشارکت ملّی تعیین‌شده مدّنظر INDC خود را در سال ۱۳۹۴ و قبل از توافق پاریس ارائه کرده‌است؛ اگرچه این سند قابل تغییر بوده و در حال حاضر لازم‌الاجرا نیست. مطابق سومین گزارش ملّی ایران به دبیرخانه کنوانسیون، بیش از هشتاد درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور ناشی از تولید، عرضه و مصرف حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف است (سازمان محیط‌زیست، ۲۰۱۷). (DOE, Iran's third national communications to the United Nations Framework Convention on Climate Change, ۲۰۱۷)

سند مشارکت ملّی تعیین‌شده مدنظر ایران (INDC) در سال ۱۳۹۴ و با بررسی توان و ظرفیت‌های کاهش انتشار موجود در وزارتخانه‌ها و بخش‌های مختلف تهیه شده و هدف‌گذاری ۴ درصدی غیر مشروط و ۸ درصدی مازاد مشروط بر رفع تحریم‌ها و بهره‌مندی ایران از سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی و نظام تبادل امتیاز کربن را معین کرده‌است. این اهداف طبق این سند به وسیله توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، تجدیدپذیر و هسته‌ای و نیز کاهش انتشار گازهای فلر، افزایش راندمان مصرف، جایگزینی سوخت‌های پرانتشار با گاز طبیعی، تنوع‌بخشی اقتصادی و مکانیزم‌های بازار و با تکیه بر بخش خصوصی به راحتی قابل دستیابی است (سازمان محیط‌زیست، ۲۰۱۵). اهدافی که هم کاملاً در راستای سیاست‌های توسعه جمهوری اسلامی ایران (نظیر بند ۱۵ سیاست‌های کلی برنامه ششم درباره جمع‌آوری گازهای همراه در میادین نفت) بوده و هم از نظر منطقی توجیه‌پذیر است. (DOE, Islamic Republic of Iran's Intended Nationally Determined Contributions, ۲۰۱۵)

بنظر می‌رسد اهداف داخلی کشور به منظور کاهش تلفات انرژی، افزایش بهره‌وری انرژی و حرکت به سمت سوخت‌های پاک که در سیاستگذاری‌های کلان نمود پیدا کرده است، اهداف بلندپروازانه‌تری را دنبال می‌کند. یکی از نمونه‌های این اهداف، هدفگذاری کاهش پنجاه درصدی شدت انرژی است که به معنای کاهش نیمی از مصرف انرژی به ازای یک واحد تولید در اقتصاد است. این هدف در اسناد مختلف بالادستی بیان شده و در بخش بعدی نیز تشریح خواهد شد؛ اما نکته مهم اینجاست که هرگونه تلاشی در این جهت همسو با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور است.

در بند سوم از فصل سه کنوانسیون تغییر اقلیم عنوان شده که سیاست‌ها و اقدامات مقابله با تغییر اقلیم باید از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه و در حداقل هزینه ممکن باشد. همین موضوع، ایجاب می‌کند که محققان به دنبال راهی برای حداقل‌کردن هزینه‌های تحمیل‌شده بر کشور با اجرای سیاست‌های کاهش انتشار باشند. در بخش انرژی، کمک‌گرفتن از مدل‌های سیستم انرژی که برای برنامه‌ریزی و سیاستگذاری این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرند راهکاری هوشمندانه است. اهداف اصلی مدل‌های انرژی عبارت از یافتن روندهای آتی، شناخت آینده و ارزیابی یک آینده دلخواه در بخش انرژی است. دقت مدل‌های سیستم‌های انرژی به عوامل مختلفی از جمله منطقه و کشور مورد مطالعه، افق زمانی مدل‌سازی، رویکرد مدل، منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی چرخه حیات فناوری‌ها، پتانسیل تجارت کربن، نوع حامل‌های انرژی، واردات و صادرات منابع، بازده‌ها، نرخ تنزیل و عدم قطعیت در مورد تغییر قیمت‌ها در آینده بستگی دارد (ساتای و شوکلا، ۲۰۱۲). بازار انرژی به خودیِ‌خود دارای ریسک‌های مختلفی از جمله اتمام ذخایر سوخت‌های فسیلی و افزایش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

قیمت‌ها، بالابودن هزینه اولیه تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و عدم قطعیت در مورد پیشرفت فناوری در آینده، افزایش واردات سوخت و نوسان قیمت‌های جهانی و نیز به‌هم‌خوردن تعادل عرضه و تقاضا با اِعمال مالیات کربن است که همگی از علل ایجاد عدم قطعیت در مدل‌سازی سیستم‌های انرژی هستند (ژو و فن، ۲۰۱۰). محدودیت‌های مدل‌های سیستم‌های انرژی را باید در چهار عاملِ عدم قطعیت درباره تغییرات آتی فناوری‌ها، نیاز به داده‌های بسیار ریز و دقیق، پیچیدگی در برهم‌کنش بین اکوسیستم، جامعه، اقلیم، و عدم انطباق بر سایر اقلیم‌ها جست (ساتای و شوکلا، ۲۰۱۲). (UNFCCC, ۱۹۹۲) (UNFCCC, ۱۹۹۲)

در مطالعه حاضر با نگاهی جامع بر اهداف اسناد بالادستی کشور در حوزه های انرژی، اقتصاد کلان و محیط زیست که مجموعاً دربردارنده خط مشی کلی برنامه‌های توسعه‌ای دستگاه‌های اجرایی کشور در این حوزه‌ها هستند، مسیر و اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شناخته شده است. این بررسی به منظور بررسی پتانسیل‌های اثرگذاری بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیاست‌های بالادستی کشور بوده تا شاخص‌ها، ظرفیت‌ها و قیود برنامه‌های کاهش انتشار در کشور شناسایی شود. در ادامه به کمک برنامه‌ریزی سیستم عرضه و تقاضای انرژی کشور ایران بر مبنای معادلات و قیود منطقی سیستم و نیز با توجه به داده‌های ترازنامه‌های انرژی و هیدروکربوری کشور و سایر داده‌ها و اطلاعات اقتصادی، این سیستم مدلسازی شده و با مقایسه نتایج آن با نتایج سناریوهای استاندارد بین‌المللی مدل‌های سیستم انرژی مدلِ طراحی‌شده اعتبارسنجی می‌شود. همچنین تخمین تقاضای حامل‌های انرژی تا سال ۲۰۳۰ بر مبنای داده‌های تاریخی و با اصول اقتصادسنجی صورت می‌گیرد. در نهایت اهداف بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار کشور ایران در اسناد بالادستی کشور بر مدلِ طراحی‌شده‌یِ سیستم انرژی کشور سوار شده و مدل برای برنامه‌ریزی بلندمدت بهینه می‌شود. به عنوان گام آخر، نتایج بدست‌آمده با هدف شناسایی پتانسیل‌های سرمایه‌گذاری، توسعه، کاهش انتشار و نیز تصمیم‌سازی تحلیل و ارزیابی می‌شود.

چهارچوب مقاله به این شرح است. در بخش پیشینه‌ی پژوهش مروری بر مطالعات مختلف در حوزه اقتصاد انرژی و محیط‌زیست صورت می‌گیرد تا تجربیات موجود برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم انرژی معرفی شده و خلأها شناسایی شود. در بخش معرفی اهداف اسناد بالادستی، مهمترین سیاست‌های بالادستی کشور در دو حوزه اقتصاد انرژی و محیط زیست بررسی می‌شود تا مشخص شود روند مورد انتظار کشور در زمینه کاهش شدت انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای چه خواهد بود. سپس در بخش مبانی نظری، داده‌ها و سناریوها ضمن معرفی فرمولاسیون بهینه‌سازی سیستم انرژی و داده‌های مورد نیاز برای توسعه مدل، سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مبنای اسناد بالادستی معرفی می‌شود. بخش نتایج و بحث به بررسی نتایج بدست‌آمده از مدل بهینه‌سازی در سناریوهای مختلف اختصاص دارد و در بخش آخر نیز جمع‌بندی مباحث ارائه می‌شود.

پیشینه‌ی پژوهش

مطالعات مختلفی به بررسی سیستم هرضه و تقاضای انرژی کشور پرداخته و آن را از منظر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و انرژی‌های پاک نیز بررسی کرده‌اند. فاکهی و اشراقی (۱۳۹۴) با توسعه‌ی مدل RAISE و لحاظ کردن سیستم انرژی کشور ایران، سه سناریوی مختلف مرجع، سقف انتشار کربن و مدیریت بار را به مدل داده و خروجی گرفته‌اند. در مدل مرجع، هدف کمینه‌کردن کل هزینه‌های

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

سیستم برای ارضای تقاضای برق با لحاظ‌کردن قیود مربوط به منابع تا سال ۲۰۳۵ است. نتایج این مدلسازی حاکی از آن است که کشور ایران باید در سال‌های آتی به سمت کاهش صادرات نفت خام و میعانات و افزایش پالایش میعانات گازی حرکت کند. همچنین ظرفیت پالایشگاه‌های نفت برای تولید بنزین و کاهش واردات افزایش می‌یابد. در مورد گاز طبیعی هم، شاهد افزایش تولید گاز طبیعی و صادرات آن و افزایش ظرفیت تولید برق کشور از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی خواهیم بود.

سلیمیان و همکاران (۱۴۰۰) به کمک برنامه‌ریزی بخش عرضه و تقاضای کشور ایران در نرم‌افزار MESSAGE که توسط مؤسسه‌ی IIASA ارائه شده پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی کشور ایران را تا سال ۱۴۲۰ بررسی کرده‌اند. آنها ابتدا بر مبنای مطالعات موجود سناریوی پایه را تا افق مدنظر تعریف کرده و سپس با درنظرگرفتن راهکارهای متعددی برای بهینه‌سازی انرژی در بخش‌های صنعت، حمل‌ونقل، نیروگاهی، خدمات و ساختمان دریافته‌اند که بیشترین پتانسیل برای کاهش مصرف انرژی برای بنزین در بخش حمل‌ونقل و گاز طبیعی در بخش صنعت وجود دارد. شفیعی و همکاران (۱۳۹۳) در برنامه بلندمدت توسعه بخش انرژی کشور سیستم انرژی کشور ایران را تا سال ۲۰۲۰ مدلسازی و بهینه‌سازی کرده‌اند. آنان در این مسیر از مدل پایین به بالای MESSAGE استفاده کرده‌اند. گرچه مدل ارائه‌شده دارای جزئیات دقیق فنی و اقتصادی تکنولوژی‌هاست، اما انتشار گازهای گلخانه‌ای را در نظر نگرفته‌است. نتایج این تحقیق حاکی از افزایش سهم نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در کشور و سهم ۳۰ درصدی برق تجدیدپذیر در سبد تولید انرژی کشور است.

دورنمای انرژی ایران که توسط گروه مدلسازی دفتر مطالعات طرح جامع انرژی کشور تدوین شده، با استفاده از مدل تعادل عمومی دینامیک ایرانی DGEIM سیستم انرژی کشور تا سال ۲۰۳۰ مدلسازی شده است. سناریوهای مورد مطالعه در این تحقیق بر مبنای رشد تقاضای انرژی تعریف شده‌است؛ به این معنا که سناریوی BAU ادامه‌ی روند کنونی را تشریح می‌کند، سناریوی BASE کمترین و سناریوی HIGH بیشترین مصرف مورد انتظار را بعنوان تقاضا در نظر گرفته‌است (گروه مدلسازی، ۱۳۹۲).

مرادی و همکاران (۱۳۹۲) به کمک نرم‌افزار LEAP اقدام به توسعه مدل تقاضای انرژی در سطح ملی کرده‌اند. آنها تقاضای انواع حامل‌های انرژی را در بخش‌های صنعتی، حمل‌ونقل، کشاورزی، خانگی و تجاری و عمومی، و بخش روشنایی معابر تا سال ۱۴۲۰ تخمین زده‌اند که رقمی در حدود ۲۰۱۶ میلیون بشکه معادل نفت خواهد بود. اگرچه بنظر می‌رسد روند رشد مصرف انرژی کشور سریع‌تر از پیش‌بینی‌های این مقاله است. مطالعه مشابهی توسط اشراقی و همکاران (۱۳۹۲) برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۵ صورت گرفته است، با این تفاوت که در این مقاله سناریوی توسعه نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی نیز تعریف شده که حاصل آن کاهش گازهای گلخانه‌ای به میزان ۱۵۳ میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن در طول دوره بوده است. امیرنکویی و همکاران (۲۰۱۲) با پیگیری هدف توسعه سیستم مرجع انرژی کشور ایران و پیش‌بینی مصرف انرژی این کشور تا سال ۲۰۳۵، اثرات استراتژی‌های مدیریت عرضا و تقاضا را بر میزان مصرف انرژی و انتشار کربن‌دی‌اکسید محاسبه کرده‌است. در این مقاله در مسیر توسعه سیستم مرجع انرژی از مدل پایین به بالا و حسابداریِ LEAP استفاده شده است و الگوی مصرف انرژی کشور در بخش‌های مختلف با دو روش شبکه عصبی مصنوعی و جول‌دارمستادتر شبیه‌سازی شده‌است. (Amirnekooei, Ardehali, & Sadri, ۲۰۱۲)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

در مقاله رازینی و همکاران (۱۳۹۰) برنامه‌ریزی بلندمدت بخش انرژی کشور تا سال ۱۴۲۰ در نرم‌افزار LEAP انجام شده است. سپس سه سناریوی توسعه نیروگاه‌های فسیلی، توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر و توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای بر مبنای سیاست‌های بالادستی کشور و نظر خبرگان رتبه‌بندی شده است. طبق نظر گروه متخصصین مصاحبه‌شده در این مقاله، توسعه نیروگاه‌های فسیلی به دلیل وجود زیرساخت‌ها در کشور و هزینه‌های پایین‌تر حائز بالاترین رتبه شده است و دغدغه‌های زیست‌محیطی امتیاز بالایی در میان سایر ملاک‌ها نداشته است. در سمت مقابل کاظمی و حسین‌زاده (۱۳۹۵) با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها و نیز کاظمی و همکاران (۱۳۹۱) ضمن استفاده از برنامه‌ریزی خطی برای سیستم انرژی کشور، تخصیص نفت و گاز به مصارف مختلف را برای کمینه‌سازی انتشارات گازهای گلخانه‌ای انجام داده‌اند. در واقع کاهش انتشار در این مقاله بعنوان تابع هدف و نه قید مطرح بوده و نتایج سختگیرانه‌ای برای صادرات نفت و فرآورده‌ها بدست آمده است.

شکوری گنجوری و کاظمی (۱۳۹۷) به کمک برنامه‌ریزی خطی بخش تولید برق کشور تا سال ۲۰۴۰ دریافته‌اند که اگرچه تا سال ۲۰۳۰ سهم نیروگاه‌های فسیلی افزایش خواهد یافت، اما پس از آن ترکیب بهینه‌ی تولید برق کشور به نفع انرژی‌های تجدیدپذیر (عمدتاً خورشیدی و بادی) خواهد بود. این نکته از این جهت قابل تأمل است که افق مورد مطالعه این مقاله بلندمدت بوده که انتظار می‌رود در این دوره هزینه تولید برق از منابع تجدیدپذیر نیز کاهش یابد و نتایج این تحقیق بدون لحاظ چنین کاهشی و بدون درنظر گرفتن قیود زیست‌محیطی بدست آمده است.

برخی از مطالعات برای بررسی پتانسیل‌های کاهش انتشار کشور از مدل‌های اقتصادی استفاده کرده‌اند. پنجه‌شاهی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل بالابه‌پایین اقتصاد کلان و به کمک جدول داده–ستانده اقتصاد کشور ایران، برای دو سناریوی BAU و کاهش مصرف، مقدار تقاضای انرژی و مصرفِ هر یک از سوخت‌های مختلف را از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۳۰ مدلسازی کرده‌اند. آنها همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های مختلف را با فرضیات ساده‌ای در مورد میزان انتشار هر بخش محاسبه کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در صورت پیاده‌شدن سناریوی کاهش مصرف انرژی که بیشتر متکی بر کاهش شدّت مصرف انرژی با افزایش راندمان در بخش‌های صنعتی، خانگی و حمل‌ونقل است می‌توان تا ۴۵ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای سال ۲۰۳۰ را نسبت به سال ۲۰۰۵ کاهش داد. (Panjeshahi, Moshiri, Atabi, & Lechtenböhmer, ۲۰۱۲)

داودپور و احدی (۲۰۰۶) با استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی، پتانسیل‌های کاهش انتشار را در بخش خانگی در کشور ایران بررسی کرده‌اند. آنها با استفاده از ابزارهای قیمتی برای انرژی توانسته‌اند در کوتاه و بلندمدت کشش تقاضای برق (الاستیسیته تقاضا) را محاسبه کنند. نهایتاً با استفاده از آنالیز سناریومحور، رشد انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا سال ۲۰۱۱ با دو سناریوی BAU و مدیریت تقاضا محاسبه کرده‌اند که به ترتیب نشان‌دهنده رشد سالانه متوسط ۷/۵ و ۶/۸ درصدی است. صادقی و همکاران (۱۳۹۳) نیز به کمک مدل اقتصادسنجی دریافته‌اند که یک درصد افزایش تولید برق از منابع تجدیدپذیر باعث کاهش ۰/۳۱ درصدی انتشار سرانه‌ی دی‌اکسید کربن در کشور خواهد شد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

استادزاد (۱۳۹۲) با توسعه‌ی نظری یک الگوی رشد تعمیم‌یافته و تفکیک بخش عرضه انرژی به دو قسمت انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی، به منظور دستیابی به یک رشد اقتصادی پایدار و با توجه به کاهش منابع نفت و گاز کشور، سهم بهینه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی را در سال ۱۴۲۰ برابر ۴۹ درصد عنوان کرده است، در حالی که در سال ۱۳۸۷ این سهم تنها ۲ درصد بوده است. اگر چه در این مطالعه پیچیدگی‌هایی نظیر پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور و نوسان تولید برق از این منابع در نظر گرفته نشده است.

انتشار گازهای گلخانه‌ای دارای اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی گوناگونی است. محققان با کمّی کردن این اثرات، متغیّر *هزینه‌های اجتماعی* انتشار هر تن معادل دی‌اکسید کربن را معرفی می‌کنند. وارد کردن این هزینه‌ها در محاسبات سیستم انرژی می‌تواند توسعه‌ی سیستم انرژی را به سمت انرژی‌های پاک تغییر دهد (شکوری گنجوری و کاظمی ۱۳۹۷). محاسبه‌ی این هزینه دارای پیچیدگی‌ها و عدم‌قطعیت‌های زیادی است، و تنها یک بار در کشور توسط بانک جهانی و سازمان محیط زیست صورت گرفته که مقدار آن ۸۰ هزار ریال به ازای هر تن برای گاز دی‌اکسید کربن به قیمت‌های سال ۱۳۸۱ معرفی شده است. هزینه اجتماعی می‌تواند پایه‌ای برای وضع مالیات کربن باشد؛ چرا که طبق مطالعه احسان‌بخش و احمدیان (۱۳۹۷) افزایش هزینه‌ی ناشی از اخذ مالیات کربن منجر به کاهش انتشار شده و در بلندمدت با کاهش هزینه‌های اجتماعی آن جبران می‌گردد. خداداد کاشی و همکاران (۱۳۹۵) هزینه اجتماعی را برای استان‌های مختلف محاسبه کرده و نشان داده‌اند که سیاست قیمت‌گذاری بر انتشار باید در استان‌های مختلف متفاوت باشد. عباس‌زاده کرمجوان و عباس‌زاده (۱۳۹۹) با مدل تعادل عمومی نشان داده‌اند که مالیات کربن دارای اثر سوء بر تولید ناخالص داخلی کشور است. در مقابل مهرآرا و همکاران (۱۳۹۵) با روش‌های اقتصادسنجی نشان داده‌اند که سیاست‌های بهره‌وری انرژی مغایرتی با رشد اقتصادی ندارد. صادقی و همکاران (۱۳۹۶) نیز با روش‌های اقتصادسنجی نشان داده‌اند که افزایش تولید انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به افزایش تولید ناخالص داخلی در عین کاهش انتشار می‌شود. بنابراین تأثیر اقدامات کاهش انتشار بر رشد اقتصاد وابسته به میزان کاهش، روش کاهش و نوع سیاست‌گذاری است.

در نهایت و بر اساس تجارب ارائه‌شده در فوق می‌توان اظهار داشت که مدلسازی سیستم انرژی در کشورهای مختلف، با هدف‌های مختلف و با سناریوهای گوناگون در ادبیات فنّی صورت گرفته‌است. بعضی از این مدل‌ها بصورت بالابه‌پایین، اثرات اقتصادی سناریوهای آینده را بر رشد اقتصادی و تولید ناخالص ملی سنجیده‌اند و برخی نیز با ارائه مدل‌های پایین‌به‌بالا، تغییر در جزئیات تکنولوژی را مورد بررسی قرار داده‌اند. برخی از مدل‌ها صرفاً اثر یک سناریو را در هزینه‌ها و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای سال‌های آینده دیده‌اند و برخی مدل را بهینه کرده‌اند تا کم‌هزینه‌ترین مسیر را برای توسعه بخش انرژی انتخاب کنند. همچنین طبق مطالعات فوق به نظر می‌رسد پتانسیل‌های چشم‌گیری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور وجود دارد که عمدتاً مربوط به بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف و افزایش بهره‌وری است.

معرفی اهداف اسناد بالادستی کشور

در این بخش مروری کوتاه و سریع بر اسناد بالادستی کشور، سیاست‌های کلان، قوانین، آیین‌نامه‌ها و استانداردها در دو حوزه‌ی اقتصاد کلان انرژی و محیط‌زیست ارائه شده که بر مبنای این اهداف، سناریوهای مدل‌سازی در این تحقیق ارائه شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

الف) اهداف حوزه‌ی اقتصاد کلان انرژی:

۱- برنامه‌های پنج‌ساله توسعه: کلیه برنامه‌های پنج ساله کشور جمهوری اسلامی ایران حاوی یک هدفگذاری به منظور دستیابی به رشد اقتصادی متوسط سالیانه در طول دوره طرح بوده‌اند. در برنامه‌های چهارم و پنجم دستیابی به متوسط رشد اقتصادی ۸ درصد سالانه پیش‌بینی شده بود که در عمل به ترتیب ۴/۴ و ۰/۳۸- محقق شده است (شقاقی‌شهری، ۱۳۹۷). در برنامه ششم توسعه نیز همین هدفگذاری هشت درصدی مورد تأکید بوده‌است.

۲- هدفمندسازی یارانه‌ها (۱۳۸۸): ماده ۱ این قانون تأکید دارد که قیمت بنزین و سایر فرآورده‌های نفتی تا ۹۰ درصد قیمت تحویل روی کشتی (فوب خلیج فارس) افزایش یابد. مدت زمان اجرای این ماده تا پایان برنامه پنجم توسعه پیش‌بینی شده بود. میانگین قیمت گاز طبیعی نیز در همین دوره حداقل تا ۷۵ درصد قیمت صادرات آن تعیین می‌شود. همچنین این قانون بیان می‌دارد که میانگین قیمت فروش برق تا پایان برنامه پنجم باید معادل هزینه تمام‌شده آن درنظر گرفته شود. به منظور جبران اثرات سوء واقعی‌سازی قیمت‌ها بر معیشت خانوارها، پرداخت‌های نقدی در این قانون پیش‌بینی شده‌است.

۳- اصلاح الگوی مصرف (۱۳۸۹): بند هفتم سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف بیان می‌دارد که شاخص شدت انرژی (مصرف انرژی به ازای واحد تولید) باید در پایان برنامه پنجم (۱۳۹۴) به دو سوّم و در پایان برنامه ششم (۱۳۹۹) به نصف مقدار سال ۱۳۸۹ کاهش پیدا کرده باشد. این شاخص مطابق ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴ در این سال معادل ۰/۱۹ بشکه معادل نفت به میلیون ریال است که از مقدار آن در سال ۱۳۸۹ حدود دوازده درصد بیشتر است (وزارت نیرو، ۱۳۹۶). در راستای همین سیاست‌ها قانون اصلاح الگوی مصرف به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید که در بخش‌های صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت و کشاورزی، ایجاد استاندارد برای مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل، ماشین‌آلات و تجهیزات و فرآیندهای صنعتی، و نیز توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای اقدام به ظرفیت‌سازی کرده است.

۴- سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی (۱۳۹۲): بندِ سوم این سند بر استفاده از ظرفیت اجرای هدفمندسازی یارانه‌ها در جهت افزایش تولید، اشتغال و بهره‌وری، کاهش شدت انرژی و ارتقاء شاخص‌های عدالت اجتماعی تأکید دارد. همچنین در بند هفتم، مدیریتِ مصرف با تأکید بر اجرای سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف برجسته شده است. در بند دوازدهم نیز افزایش صادرات گاز، برق، محصولات پتروشیمی و فرآورده‌های نفتی مورد تأکید قرار گرفته است.

۵- سند ملی راهبرد انرژی کشور (۱۳۹۶): در سند راهبرد انرژی کشور بالا بودن شدت انرژی و پایین بودن بهره‌وری انرژی در ایران در مقایسه با کشورهای همتراز بعنوان یک چالش اساسی شناخته شده و به این منظور هدفگذاری کاهش ۵۰ درصدی شدت انرژی تا پایان سال ۱۴۲۰ مدنظر قرار گرفته است. همچنین در این سند بر واقعی‌کردن قیمت‌های حامل‌های انرژی حداکثر ظرف مدت پنج‌سال تأکید شده است. افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز راندمان نیروگاه‌های حرارتی در این سند از راهکارهای بخش برق است. همچنین در این سند کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده‌های ناشی از تولید، انتقال و مصرف انواع حامل‌های انرژی مورد تأکید است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

۶- ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و ارتقای نظام مالی کشور (۱۳۹۴): در این قانون به منظور اجرای طرح‌های بهینه‌سازی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف از جمله ساختمان، به وزارت نفت اجازه داده می‌شود تا با متقاضیان و سرمایه‌گذاران بخش خصوصی و عمومی با اولویت استفاده از تجهیزات ساخت داخل قرارداد منعقد نماید. تعهد بازپرداخت اصل سرمایه‌گذاری‌های موضوع این مقرره به‌عهده دولت بوده و شرکت ملی نفت ایران منابع ناشی از صادرات سوخت صرفه‌جویی حاصل‌شده را در هر پروژه پس از اعلام وزارت نفت در سال‌های سررسید به سرمایه‌گذار پرداخت و همزمان به حساب بدهکار دولت (خزانه‌داری کل کشور) منظور و تسویه حساب می‌نماید.

۷- آئین‌نامه ایجاد بازار بهینه‌سازی انرژی و محیط زیست (شورای عالی انرژی کشور) (۱۳۹۶): این آیین‌نامه بر ایجاد بازار بهینه‌سازی انرژی و محیط‌زیست به منظور انجام معاملات گواهی‌های صرفه‌جویی انرژی با تأکید بر گسترش فعالیت بخش خصوصی در حوزه بهینه‌سازی انرژی و محیط‌زیست تأکید می‌کند. عملکرد این بازار بر اساس اختلاف قیمت بخشی و زمانی حامل‌های انرژی و محیط‌زیست خواهد بود. دارندگان گواهی صرفه‌جویی انرژی می‌توانند معادل انرژیِ صرفه‌جویی‌شده حامل انرژی دریافت کرده و آن را به فروش برسانند و یا مستقیماً گواهی را در بازار بورس انرژی ایران بفروشند. مصرف‌کنندگانی هم که بیشتر از مقدار معیار مصوب انرژی مصرف کرده باشند، می‌توانند تمام یا بخشی از مصرف مازاد خود را بصورت گواهی از این بازار تأمین نمایند.

۸- دستورالعمل‌ها و استانداردها: مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان که ویرایش اول آن در سال ۱۳۷۰ به تصویب هیأت وزیران رسیده و لازم‌الاجرا شد، ضوابط اجرایی عایق‌کاری دیوارهای خارجی ساختمان، پنجره‌های دوجداره، عایق‌کاری کانال‌های هوا، تأسیسات تولید آب گرم و نصب سیستم‌های کنترل هوشمند مرکزی ساختمان را تبیین می‌کند. الزامات این مبحث گرچه هنوز بصورت جدی در کلان‌شهرهای ایران اجرایی نشده (مسائلی، ۱۳۹۷)، اما نتایج مطالعات نشان می‌دهد که رعایت دستورالعمل‌های این مبحث ضمن کاهش هدررفت انرژی در بخش ساختمان، باعث کاهش مصرف سوخت، کاهش آلودگی هوا و طبعاً کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (عبدلی و میرمحمدی، ۱۳۸۴) و (مسائلی، ۱۳۹۷). سازمان ملی استاندارد نیز معیارهای مصرف انرژی تجهیزات انرژی‌بر، معیار مصرف انرژی در پالایشگاه‌های گاز طبیعی، استاندارد معاینه فنی موتورخانه‌ها (استاندارد ۱۶۰۰۰)، نیز استاندارد معیار مصرف انرژی ساختمان‌ها و دستورالعمل برچسب انرژی، و نیز معیار مصرف انرژی در بسیاری از صنایع انرژی‌بر مثل صنایع پتروشیمی، صنایع فلزی، صنایع کانی غیرفلزی و غیره را منتشر کرده است.

ب) اهداف حوزه محیط‌زیست:

۱- سیاست‌های کلی محیط زیست (۱۳۹۴): این سند، اصول دیدگاه و کلیدی‌ترین سیاست‌های حاکمیت در خصوص موضوع محیط زیست را روشن می‌نماید. در جای‌جای این سند تأکیداتی بر موضوع تغییر اقلیم و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در بند پنجم بر پایش مستمر و کنترل تغییرات نامساعد اقلیم و الزام به رعایت استانداردها و شاخص‌های زیست‌محیطی در قوانین و مقررات و برنامه‌های توسعه و آمایش سرزمین تأکید شده است. بند هفتم، مدیریت تغییرات اقلیم و مقابله با تهدیدات زیست

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

محیطی و توسعه آینده‌نگری و شناخت پدیده‌های نوظهور زیست‌محیطی و مدیریت آن را خواستار شده است. در بند هشتم گسترش اقتصاد سبز با تأکید بر صنعت کم‌کربن، استفاده از انرژی‌های پاک و بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی، ترویج مواد سوختی سازگار با محیط زیست، توسعه حمل‌ونقل عمومی سبز و غیر فسیلی از جمله برقی و افزایش حمل‌ونقل همگانی بویژه در کلان‌شهرها مورد تأکید است. در بند دهم استقرار نظام حسابرسی زیست‌محیطی در کشور با لحاظ ارزش‌ها و هزینه‌های زیست‌محیطی (تخریب، آلودگی و احیاء) در حساب‌های ملی مورد توجه است. نهایتاً در بند پانزدهم این سند تقویت دیپلماسی محیط زیست با توسعه مناسبات و جلب مشارکت و همکاری‌های هدفمند و تأثیرگذار دوجانبه، چندجانبه، منطقه‌ای و بین‌المللی در زمینه محیط زیست، و نیز با بهره‌گیری مؤثر از فرصت‌ها و مشوق‌های بین‌المللی در حرکت به سوی اقتصاد کم کربن و تسهیل انتقال و توسعه فناوری‌ها و نوآوری‌های مرتبط مورد اشاره است. با توجه به این که در این بند، فرصت‌های بین‌المللی در حرکت به سوی اقتصاد کم کربن به رسمیت شناخته شده و مورد تأکید است، باید توجه داشت که لازمه بهره‌گیری از این فرصت‌ها، نظیر کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل و توافقنامه اقلیمی پاریس، توسعه نظام جمع‌آوری و تدوین موجودی انتشار گازهای گلخانه‌ای، تدوین گزارش‌های ملّی ارائه منظم آن به جوامع بین‌المللی و ارائه اسناد برنامه‌های مشارکت ملیِ تعیین‌شده (NDC) است.

۲- سند ملّی محیط زیست (شورای‌عالی انقلاب فرهنگی) (۱۳۹۱): در این سند دستیابی به رتبه اول منطقه در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر جزء اهداف محیط زیستی کشور در افق ۱۴۰۴ ذکر شده است. بر این اساس میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به ازای هر نفر از ۷ میلیون تن در سال ۱۳۹۰ به ۵ میلیون تن در سال ۱۴۰۴ کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین در این دوره شدت مصرف انرژی و شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنعت حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. در این سند ایجاد مدیریت یکپارچه و جامع برای کاهش آثار سوء تغییر اقلیم و نیز افزایش سهم انرژی‌های پاک و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای جزء اقدامات و راهبردهای ملی ذکر شده است. همچنین ایجاد سازوکارهای توسعه پاک (CDM) به منظور کاهش انتشار کربن از جمله راهبردهای حکمرانی محیط‌زیستی در این سند است.

۳- آئین‌نامه اجرایی کنوانسیون تغییر آب‌وهوا و پروتکل‌های الحاقی (۱۳۹۱): هیئت وزیران در آئین‌نامه اجرایی کنوانسیون تغییر آب‌وهوا و پروتکل‌های الحاقی، راهبردهای اجرایی کشور در این زمینه را مقرر کرده که برخی از آنها عبارتند از: ایجاد زیرساخت‌ها و سازوکارهای لازم برای تحقق اهداف کنوانسیون، اصلاح الگوهای تولید و مصرف انرژی و افزایش سهم منابع انرژی کم‌کربن در راستای کاهش روند انتشار گازهای گلخانه‌ای، ایجاد آمادگی لازم جهت پیشگیری و مقابله با پیامدهای سوء تغییر آب‌وهوا، و نیز توسعه استفاده از مشوق‌های اقتصادی به منظور ایجاد انگیزه برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای.

۴- سند مشارکت ملی تعیین‌شده مدّنظر جمهوری اسلامی ایران (INDC) (۱۳۹۴): این سند به عنوان اهداف و برنامه‌های مدّنظر کشور جمهوری اسلامی ایران در خصوص کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ به دبیرخانه کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل ارائه شده است. در این سند، کلیه اهداف کاهش انتشار و سازگاری با تغییر اقلیم منوط به لغو و عدم اِعمال تحریم‌های اقتصادی و مالی شده‌است. هدفگذاری غیرمشروط کشور تا سال ۲۰۳۰ در این سند عبارت از کاهش ۴ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

سناریوی ادامه روند کنونی است. این هدف طبق این سند به وسیله توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، تجدیدپذیر و هسته‌ای و نیز کاهش انتشار گازهای فلر، افزایش راندمان مصرف، جایگزینی سوخت‌های پرکربن با گاز طبیعی، تنوع‌بخشی اقتصادی و مکانیزم‌های بازار محقق خواهد شد. هدفگذاری مشروط (و نهایی) این سند کاهش ۱۲ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۳۰ نسبت به سناریوی ادامه روند کنونی است. این مهم با انتقال سرمایه و تکنولوژی، مبادله اعتبار کربن، مکانیزم‌های دوجانبه و چندجانبه، و نیز ظرفیت‌سازی میسر خواهد شد.

۵- برنامه راهبرد ملّی تغییر اقلیم (۱۳۹۴): با هدف ایجاد بستر لازم برای اجرای تعهدات ایران در کنوانسیون تغییر آب‌وهوا، پروتکل کیوتو، توافقنامه پاریس مصوبات آتی تحت آن و نیز ایجاد زیرساخت‌های پایش و گزارش‌دهی تحت اهداف مورد نظر مشارکت ملی (INDC)، برنامه راهبرد ملی تغییر اقلیم توسط سازمان محیط‌زیست در بخش‌های کاهش انتشار، مدیریت منابع آب، کشاورزی و امنیت غذایی، منابع طبیعی و تنوع زیستی و بهداشت تنظیم شده است. در این برنامه در بخش کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش کارایی انرژی، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی‌های کم‌کربن در سبد سوخت کشور، اصلاح سیاست‌های قیمتی- تشویقی- تنبیهی به منظور افزایش کارایی انرژی و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده از تکنولوژی‌های کم‌کربن در واحدهای فرآیندی، ابزارها و مشوق‌های اقتصادی و مالی و نیز ایجاد مکانیزم‌های بازارمحور مورد تأکید قرار گرفته است. در این برنامه وزارت صنعت و وزارت راه و شهرسازی مجری ارائه برنامه کاهش شدت مصرف انرژی به میزان ۳۳ درصد در انتهای برنامه ششم و ۵۰ درصد تا پایان برنامه هشتمِ توسعه از طریق افزایش تسهیلات جهت تولید و عرضه لوازم خانگی و صنعتی با راندمان انرژی بالا شده‌اند. وزارت راه‌وشهرسازی همچنین با همکاری سازمان محیط‌زیست، سازمان ملی استاندارد و مرکز آمار ایران مجری کاهش مصرف سرانه انرژی بخش خانگی به میزان ۵ و ۱۵ درصد به ترتیب تا پایان برنامه‌های ششم و هشتم توسعه از طریق اصلاح استانداردها و مقررات ملی ساختمان و غیره هستند. این برنامه ادامه روند منطقی‌نمودن قیمت حامل‌های انرژی تا رسیدن به قیمت‌های بین‌المللی و قیمت‌های شناور متناسب با فوب را پیش‌بینی کرده‌است. ارائه تشویق‌های قانونی بلندمدت به منظور توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، تعدیل تعرفه خرید تضمینی برق از منابع تجدیدپذیر به میزان نرخ تورم در هر سال و اعطای وام‌های کم‌بهره به بخش خصوصی جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر از سیاست‌های تشویقی این برنامه است. همچنین در این برنامه ایجاد بازار تجارت نشر کربن و آلاینده‌های زیست‌محیطی در کشور، قیمت‌گذاری کربن و تدوین مالیات کربن، تدوین استاندارد انتشار گازهای گلخانه‌ای، ایجاد مشوق‌های گمرکی برای واردات تجهیزات پربهره و کم‌کربن، و ایجاد سیستم محاسبه، ثبت و گزارش‌دهی انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح ملی مورد توجه قرار گرفته است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

مبانی نظری، داده‌ها و سناریوها

در این بخش ابتدا مدلِ طراحی‌شده برای بهینه‌سازی سیستم انرژی کشور معرفی، روش شناسی تخمین تقاضای انرژی تشریح، و ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌شوند. در پایان این بخش سناریوهای بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار بر مبنای اهداف اسناد بالادستی کشور معرفی می‌شوند.

مدلسازی سیستم عرضه انرژی کشور

در این تحقیق و در ابتدا مدلسازی سیستم عرضه انرژی کشور (در محیط نرم‌افزار MATLAB) انجام شده و برای حل مسأله بهینه‌سازی خطی از حلّال glpk استفاده شده است. برای مطالعه بیشتر در خصوص فرمول‌بندی سیستم انرژی به مدیرزاده (۱۳۹۹)، فاکهی و اشراقی (۱۳۹۴) و هاولز و همکاران (۲۰۱۲) مراجعه شود. در این بخش توضیحات اجمالی در خصوص سیستم انرژی ایران ارائه می‌شود. (Howells, et al., ۲۰۱۲)

در این مدل تابع هدف عبارت است از کمینه‌کردنِ هزینه‌های کلّ سیستم انرژی –شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ثابت و متغیر عملیاتی– در طول دوره طرح (تا سال ۱۴۰۹). معادلات پایستگی انرژی در هر بازه زمانی برای تمامی فناوری‌ها برقرار بوده و نیز قیود ظرفیت برای محدودکردن تولید هر تکنولوژی به ظرفیت آن درنظر گرفته می‌شود. قیود دیگری برای کنترل عملکرد ذخیره‌سازی انرژی لحاظ شده و نیز برای محدودکردن استخراجِ حامل‌های انرژی یا تولید و ظرفیت فناوری‌های مختلف قیودی تعریف شده‌است. متغیر تصمیم مسأله عبارت است از تولید هر تکنولوژی در هر بازه زمانی در هر سال، و نیز ظرفیت جدیدالاحداث هر تکنولوژی در هر سال. معادله (۱) معرّف قید ظرفیت تکنولوژی، معادله (۲) معرف معادله‌ی پایستگی انرژی، معادلات (۳) تا (۶) معرف تابع هدف و اجزای آن، و معادله (۷) معرف قید انتشار است.

رابطه (۱)
$$\sum_{mode} O^{tech,mode,timeslice,year} \le PF^{tech,year} \times TotalCapacity^{tech,year} \times LR^{timeslice,year}$$

رابطه (۲)
$$\sum_{tech\,(type=2)} \sum_{mode} O^{tech,mode,timeslice,year} \times S^{tech,fuel} = \sum_{tech} O^{tech,mode,timeslice,year} \times FR^{tech,mode,year} + AnnualDemand^{fuel,year} \times DD^{fuel,timeslice,year}$$

رابطه (۳)
$$Objective\ Function = Capex + Opex^{fix} + Opex^{var}$$

رابطه (۴)
$$Capex = \sum_{tech} \left(\sum_{year=1}^{Nyear} \frac{IC^{tech,year} \times NC^{tech,year}}{(1+dr)^{year-1}} - \sum_{year=Nyear-Life^{tech}+1}^{Nyear} IC^{tech,year} \times NC^{tech,year} \times \frac{1-\frac{(1+dr)^{Nyear-year+1}-1}{(1+dr)^{Life^{tech}}-1}}{(1+dr)^{Nyear}} \right)$$

رابطه (۵)
$$Opex^{fix} = \sum_{year=1}^{Nyear} \frac{1}{(1+dr)^{year-0.5}} \left(\sum_{tech} FC^{tech,year} \times TotalCapacity^{tech,year} \right)$$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

$$Opex^{\text{var}} = \sum_{year=1}^{Nyear} \frac{1}{(1+dr)^{year-0.5}} \left(\sum_{tech} \sum_{\text{mod}e} VC^{tech,\text{mod}e,year} \times AO^{tech,\text{mod}e,year}\right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

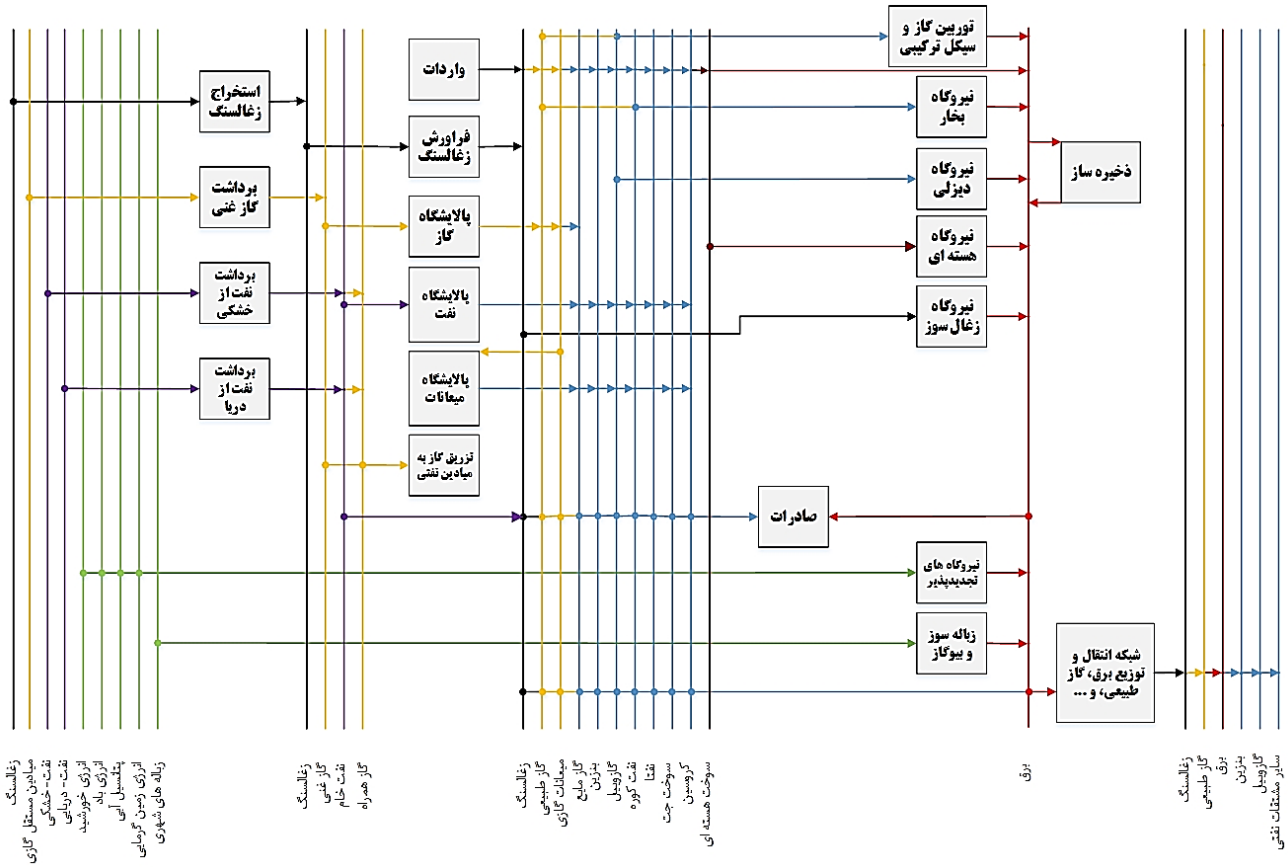
$$\sum_{tech} \sum_{mode} AO^{tech,\text{mod}e,year} \times FR^{tech,\text{mod}e,year} \times EF^{tech,mode} \le Ecap^{year} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این روابط $O^{tech,\ mode,\ year}$ عملکرد (تولید) فناوری tech در حالت عملیاتی mode در قطعه زمانی timeslice در سال year، $LR^{timeslice,\ year}$ طول قطعه‌ی زمانی timeslice بر حسبِ کسری از طول سالِ year، PF ضریب عملکردِ فناوری، Capex هزینه سرمایه‌گذاری کل، Opexfix هزینه ثابت و Opexvar هزینه متغیر عملیاتی، IC هزینه سرمایه‌گذاری به ازای واحد ظرفیت جدید نصب‌شده از فناوری، NC ظرفیت جدید نصب‌شده فناوری، FC هزینه عملیاتی ثابت به ازای واحد ظرفیت کل فناوری، VC هزینه عملیاتی متغیر به ازای واحد عملکرد فناوری، dr نرخ تنزیل، AO مجموع عملکرد (تولید) سالانه فناوری، $S^{tech,\ fuel}$ سهم سوخت fuel از جریانِ خروجیِ فناوری tech، $FR^{tech,\ mode,\ year}$ نسبت سوخت (عکس بازده) برای حالت عملیاتیِ mode در فناوری tech در سال year، $AnnualDemand^{fuel,\ year}$ تقاضای نهایی حامل انرژی fuel در سال year، $EF^{tech,\ mode}$ ضریب انتشار فناوری tech در حالت عملیاتی mode و $Ecap^{year}$ سقف انتشار در سال year است.

ساختار مدل به این صورت است که در ابتدا داده‌های ورودی از فایل ورود اطلاعات به محیط نرم افزار وارد شده و در ساختارها و ماتریس‌های مربوطه ذخیره و محاسبات اولیه صورت می‌گیرد. ضمن تشکیل ماتریس‌هایِ مسأله‌ی بهینه‌سازیِ خطی (ماتریس‌های هزینه، قیود و معادلات) و نوشتنِ آنها در یک فایل خروجی، مدل برای حل سیستم معادلات از glpk استفاده می‌کند. حلال با قرائت فایل خروجی، جواب مسأله‌یِ بهینه‌سازی را بدست آورده و در فایل دیگری ذخیره می‌کند. اعتبارسنجیِ مدلِ طراحی‌شده در این تحقیق از طریق مقایسه نتایج بهینه‌سازی در یک مسأله مشترک به نام UTOPIA در مدل‌های OSeMOSYS، RAISE انجام شده است (مدیرزاده، ۱۳۹۹). بر طبق این اعتبارسنجی، حل مسأله UTOPIA با مدلِ نوشته‌شده در این تحقیق نسبت به مدل‌های دیگر در زمان کمتر و با صرف حافظه‌ی کمتری صورت پذیرفته و در عین حال نتایج مشابه را بدست داده است.

سیستم مرجع انرژی ایران در شکل ۱ ارائه شده است. چنانکه مشخص است، حامل‌های انرژی اولیه شامل زغالسنگ، گاز غنی، نفت و انرژی‌های تجدیدپذیر بوده که هر کدام ورودیِ سطح فراورش اولیه مخصوص به خود هستند. به‌منظور تزریق به میادین نفتی، گازهای میادین مستقل و همراه انتخاب شده‌اند. واردات حامل‌های انرژی برای تأمین نیازهای تقاضای نهایی و نیز مصارف نیروگاهی صورت می‌پذیرد. نیروگاه‌های حرارتی و تجدیدپذیر متناسباً حامل‌های انرژی خود را از سیستم دریافت و برق تولید می‌کنند. امکان صادرات حامل‌های انرژی اعم از زغال‌سنگ، گاز، فرآورده‌های نفتی و برق نیز در کنار نفت خام وجود دارد. ذخیره‌سازی انرژی برای برق تعریف شده است. تلفاتِ حامل‌های انرژی مثل برق و گاز طبیعی در شبکه انتقال دیده شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]



شکل ۱) نمودار مرجع سیستم عرضه انرژی کشور ایران

داده‌های مرتبط با هزینه‌ها، پارامترهای فنی و نیز پتانسیل‌های بهره‌برداری از منابع مطالعاتِ موجود استخراج شده که در جدول ۱ به این منابع اشاره شده است. این داده‌ها به تفصیل در جدول پیوست ۱ ارائه شده است. همچنین با توجه به اینکه هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی بصورت دلاری محاسبه می‌شود، نرخ تنزیل در این پژوهش معادل هشت درصد (دو درصد برای تورم دلار و شش درصد برای ریسک سرمایه‌گذاری) لحاظ شده است.

جدول ۱) مراجع داده‌های فنی سیستم عرضه انرژی کشور

داده‌ها	مرجع
ضریب ظرفیت	شفیعی و همکاران (۱۳۹۳)
طول عمر تکنولوژی‌ها	شفیعی و همکاران (۱۳۹۳)
ظرفیت‌های باقیمانده از قبل	اشراقی و فاکهی (۱۳۹۴)
راندمان و خودمصرفی نیروگاه‌ها	شفیعی و همکاران (۱۳۹۳)
سهم سوخت خروجی	اشراقی و فاکهی (۱۳۹۴)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

هزینه‌های فناوری‌ها	شفیعی و همکاران (۱۳۹۳)
	دفتر مطالعات طرح جامع انرژی کشور (۱۳۹۲)
	IRENA (۲۰۱۹)
پتانسیل تکنولوژی‌های تجدیدپذیر در کشور	ساتبا (۱۳۹۹)
	ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۹
	ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۶
حجم ذخایر انرژی کشور	ترازنامه هیدروکربوری سال ۱۳۹۴
منحنی نوسانات مصرف برق	اشراقی و فاکهی (۱۳۹۴)
منحنی نوسانات مصرف گاز طبیعی	ترازنامه هیدروکربوری سال ۱۳۹۴

تخمین تقاضای انرژی کشور

در این تحقیق به‌منظور پیش‌بینی تقاضای انرژی حامل‌های انرژی از ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۹، حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- ✓ حامل‌های انرژی اصلی: شامل گاز طبیعی در بخش خانگی و تجاری، فرآورده‌های نفتی در حمل‌ونقل، گاز طبیعی در بخش صنعتی، مصرف برق در بخش‌های خانگی و تجاری و مصرف برق در بخش صنعتی.
- ✓ حامل‌های انرژی فرعی: سایر حامل‌های انرژی با سهم کم در تقاضای کل.

به‌منظور تخمین حامل‌های انرژی فرعی، از روش برونیابی خطی با استفاده از داده‌های تاریخی سال‌های ۱۳۶۸ (شروع برنامه اول توسعه) تا ۱۳۹۸ استفاده شد تا تقاضای انرژی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۹ در این بخش‌ها بدست آید. اما برای تخمین تقاضای پنج حامل انرژی اصلی –که مجموعاً ۷۴ درصد از تقاضای کل در سال ۱۳۹۸ را تشکیل می‌دهند– مدل‌سازی به فرم نمایی مطابق رابطه (۸) برقرار شد.

رابطه (۸)
$$E_t = A.(E_{t-1})^{\alpha}.\left(V_t^1\right)^{\beta}.(V_t^2)^{\gamma}....$$

در این رابطه E_t تقاضای حامل انرژی در سال t، E_{t-1} تقاضای سال قبل، V_t مقدار متغیر مستقل V در سال t، A ضریب ثابت عددی و هر کدام از نماهای a، b و g معرف کشش تقاضا نسبت به متغیر مربوطه هستند.

به‌منظور یافتن بهترین متغیرهای پیشگو در مدلسازی و تخمین تقاضا، آزمونهای آماری زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

۱- آزمون معنی‌داری ضرایب رگرسیون: برای این منظور پس از مدل‌سازی، همبستگی داده‌های واقعی با مقادیر تخمین‌زده‌شده به کمک مقدار R^2 بررسی می‌شوند که باید عددی نزدیک به ۱ باشد. همچنین از توزیع فیشر برای بررسی معنی‌داربودن ضرایب کلی رگرسیون استفاده می‌شود. آزمونه‌ی F باید بیشتر از مقدار حدی آن در درصد اطمینان ۹۵٪ از جدول فیشر باشد تا فرض صفر معنی‌دار نبودن ضرایب کلی رگرسیون رد شود. روش دیگر برای بررسی معنی‌دار بودن ضرایب رگرسیون، r-value است که بیانگر کمترین مقدار a است که

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

درصد اطمینان a-۱ را برای پذیرش فرض صفر می‌دهد. چنانچه این مقدار از ۰/۰۵ کمتر باشد، فرض صفرِ معنی‌دار نبودنِ ضرایب رگرسیون با اطمینان بیش از ۹۵ درصد رد می‌شود.

۲- آزمون ضرورت وجود هر یک از متغیرهای مستقل (آزمون ضرایب جزئی رگرسیون): در این آزمون مقدار t محاسبه شده از رابطه زیر در مورد تک‌تک ضرایب باید از مقدار حدی جدول توزیع t-student بیشتر باشد تا فرض عدم ضرورت هر متغیر مستقل با اطمینان ۹۵ درصد رد شود.

۳- آزمون عدم هم‌خطی: بین متغیرهای مستقل نباید رابطه خطی وجود داشته باشد. برای بررسی این موضوع همبستگی (ضریب R) متغیرهای مستقل با یکدیگر محاسبه می‌شود. همچنین برای بررسی بیشتر بهتر است از آزمون‌های ضرایب کلی و جزئی رگرسیون —که در بالا اشاره شد- نیز برای بررسی وجود رابطه خطی بین متغیرهای مستقل با یکدیگر استفاده کرد تا فرض صفر وجود رابطه خطی را رد کرد.

۴- آزمون عدم رابطه خطی باقیمانده‌ها با متغیر وابسته: چنانچه باقیمانده‌ها با متغیر وابسته دارای رابطه خطی باشند، احتمالاً یکی از متغیرهای مهم مسأله در مدل لحاظ نشده است. برای رد فرض صفر وجود رابطه خطی بین باقیمانده‌ها با متغیر وابسته، همبستگی بین آنها بررسی می‌شود. همچنین بهتر است که آزمون‌های ضرایب کلی و جزئی نیز استفاده شوند.

۵- آزمون همسانی واریانس‌ها: طبق تعریف بهترین برآوردگر خطی نااریب (BLUE)، باید میانگین باقیمانده‌ها صفر بوده و واریانس آنها همسان باشد. برای بررسی موضوع می‌توان از آزمون پارک استفاده کرد. مطابق روش‌شناسی این آزمون، مدل خطی بین مجذور باقیمانده‌ها و متغیرهای مستقل نباید رابطه معناداری داشته باشند تا فرض صفر ناهمسانی واریانس‌ها رد شود.

۶- آزمون عدمِ خودهمبستگی باقیمانده‌ها: شرط دیگر تعریف BLUE عدم وجود همبستگی جملات متمایز باقیمانده‌هاست. برای این منظور می‌توان عدم وجود رابطه خطی بین جملات e_i و e_{i-1} را بررسی کرد و یا از آزمون دوربین-واتسون تعمیم‌یافته استفاده کرد. آزمونه‌ی دوربین-واتسون تعمیم‌یافته مقداری بین صفر تا چهار دارد. در صورتی که این عدد از ۲ کمتر باشد باید از مقدار بحرانی متناظر در توزیع t-student بیشتر باشد و اگر از ۲ بیشتر باشد باید از تفاضل ۴ و مقدار بحرانی کمتر باشد تا فرض صفر خودهمبستگی باقیمانده‌ها رد شود.

در این تحقیق در ابتدا برای هر حامل انرژی اصلی متغیرهای تولید ناخالص داخلی، تولید بخش صنعت، جمعیت، تعداد مشترکین، درصد شهرنشینی، مخارج واقعی خانوار، و نیز قیمت اسمی و واقعی حامل انرژی درنظر گرفته شد که به کمک آزمون‌های آماری فوق تعدادی از متغیرها حذف و مدل‌سازی به کمک متغیرهای منتخب انجام شد. در جدول زیر متغیرهای انتخابی برای تخمین تقاضای حاملهای انرژی اصلی ارائه شده است. جزئیات نتایج آزمون‌های آماری برای هر حامل انرژی جدول پیوست ۲ آمده است. برای هر حامل انرژی اصلی، تعداد سال‌های درنظر گرفته‌شده برای مدلسازی با توجه به نتایج آزمون‌های آماری و به منظور دستیابی بهترین برازش (بالاترین مقدار R^2) تعیین شد. تعداد سال‌های داده‌های تاریخی مورد استفاده برای مدلسازی تقاضای هر حامل انرژی نیز در جدول پیوست ۲ آمده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

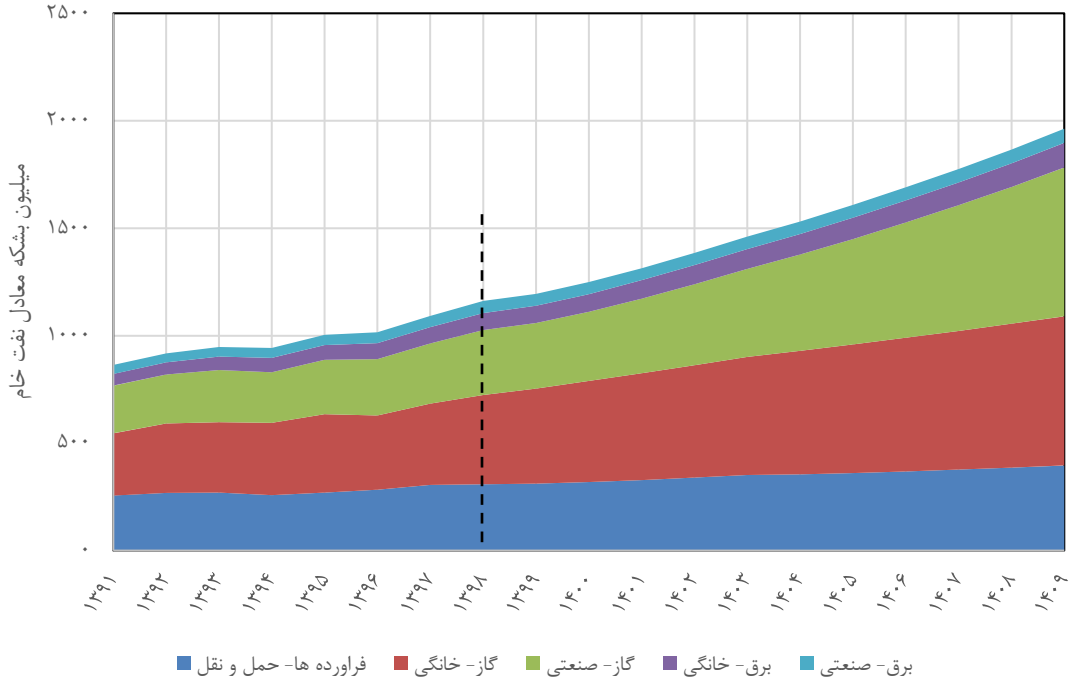
جدول ۲) حاملهای انرژی اصلی و متغیرهای مؤثر در تخمین تقاضای آنها

حامل انرژی	بخش	متغیرهای پیشگو
فرآورده های نفتی	حمل و نقل	جمعیت کشور، قیمت بنزین
گاز طبیعی	خانگی، تجاری و اداری	تعداد مشترکین، قیمت گاز خانگی
گاز طبیعی	صنعت	تولید ناخالص بخش صنعت، قیمت گاز صنعتی
برق	خانگی، تجاری و اداری	تعداد مشترکین خانگی، قیمت برق خانگی
برق	صنعت	تولید ناخالص بخش صنعت

پس از مدل‌سازی و بدست‌آمدن ضرایب و نماها، در گام بعدی باید متغیرهای پیشگو را تا انتهای دوره طرح پیش‌بینی کرد. بدین منظور، پیش‌بینی تعداد مشترکین گاز و برق خانگی در سال‌های آینده به کمک برونیابی خطی بدست آمد و برای جمعیت از پیش‌بینی سازمان ملل استفاده شد. در مورد قیمت بنزین هم فرض شد که قیمت‌های کنونی (بنزین سهمیه‌ای ۱۵۰۰۰ ریال، بنزین آزاد ۳۰۰۰۰ ریال و بطور متوسط ۲۰۰۰۰ ریال) تا پایان برنامه‌ی هفتم پابرجا بوده و در طول برنامه هشتم قیمت بنزین بطور متوسط ۳۰۰۰۰ ریال (مثلاً سهمیه‌ای ۲۰۰۰۰ ریال و آزاد ۵۰۰۰۰ ریال) خواهد بود. قیمت‌های گاز طبیعی و برق با روندیابی خطی داده‌های سال‌های ۱۳۸۸ (سال تصویب قانون هدفمندسازی یارانه‌ها) به بعد بدست آمد. رشد اقتصادی هم در قالب سه سناریوی متوسط (رشد اقتصادی سالانه ۳/۵٪)، سناریوی پایین (با درنظر گرفتن ادامه روند میانگین رشد اقتصادی دهه ۱۳۸۵-۱۳۹۴ معادل سالانه ۱٪) و سناریوی بالا (مطابق برنامه‌های رسمی توسعه کشور با درنظرگرفتن رشد اقتصادی سالانه ۸٪ در برنامه‌های هفتم و هشتم) به مدل ارائه شد.

بر اساس روش‌شناسیِ تشریح‌شده، در شکل ۲ نتایج پیش‌بینی تقاضای حامل‌های انرژی اصلی در سناریوی رشد اقتصادی متوسط (سالانه ۳/۵٪) ارائه شده است. بر این اساس تقاضای مجموع این حامل‌ها تا سال ۱۴۰۹ بالغ بر دو برابر مقدار آن در سال ۱۳۹۴ می‌شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]



شکل ۲) تقاضای انرژی پنج حامل انرژی اصلی در سناریوی رشد اقتصادی متوسط

در مدل سیستم عرضه انرژی باید تقاضای انواع فراورده‌های نفتی مانند بنزین و گازوییل بصورت مجزّا وارد شود. با بررسی سهم فراورده‌های مختلف نفتی در بخش حمل‌ونقل بین سال‌های ۸۴ تا ۹۴ در ترازنامه هیدروکربوری، روند تغییرات معناداری در این نسبت‌ها دیده نشد. بنابراین در این تحقیق سهم هر یک از این حامل‌ها در کل مصرف فراورده‌های نفتی در بخش‌های مختلف از ترازنامه هیدروکربوری ۱۳۹۴ کشور استنتاج و درنظر گرفته شد. این نسبت‌ها در تمام طول طرح (تا ۱۴۰۹) ثابت فرض شده است.

ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای

گازهای گلخانه ای اصلی که دارای بیشترین سهم در انتشار جهانی و ملی هستند، گازهای کربن دی‌اکسید (CO_2)، متان (CH_4) و اکسیدنیتروس (N_2O) هستند. هر یک از این گازها دارای پتانسیل گرمایش جهانی متفاوت با یکدیگر بوده و در این تحقیق از پتانسیل‌های گرمایش جهانی اعلام‌شده در گزارش ارزیابی پنجم IPCC استفاده شده که مطابق با آن هر تن متان ۲۸ و هر تن اکسیدنیتروس ۲۵۶ برابر یک تن دی‌اکسید کربن پتانسیل گرمایش جهانی دارد (IPCC, AR۵ synthesis report: climate change ۲۰۱٤, ۲۰۱۴).

اصلی‌ترین مرجع برای ضرایب انتشار، راهنمای IPCC برای محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح ملی است. در جلد دوم این راهنما که مربوط به انتشارات سیستم انرژی است، روش‌های محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع احتراقی ثابت و متحرک، انتشارات فرّار و نیز میزان جذب در فناوری به‌تله‌اندازی و ذخیره کربن ذکر شده‌است. در این منبع بطور خاص جداول ضرایب انتشار

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

گازهای گلخانه‌ای بر حسب سوخت مصرفی در فرآیندهای احتراقی در مصارف مختلف (تولید انرژی، ساختمان، و غیره) ارائه شده است (IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, ۲۰۰۶). با توجه به این منبع، ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای که در این پژوهش به منظور محاسبه انتشارات احتراقی درنظر گرفته شده، برحسب واحد انرژی مصرفی در جدول ۳ ارائه شده‌است.

جدول ۳) ضرایب انتشار سوخت‌های مختلف در انتشارات احتراقی بر حسب معادل دی‌اکسید کربن

۱.	۲. CO_2	۳. CH_4	۴. N_2O	۵. جمع (معادل CO_2)	۶. جمع (معادل CO_2)
	۷. kg/TJ	۸. kg/TJ	۹. kg/TJ	۱۰. kg/TJ	۱۱. kg/KW.year
۱۲. نفت خام	۷۳۳۰۰ .۱۳	۳.۱۴	۰/۶ .۱۵	۷۳۵۴۳ .۱۶	۲۳۱۹ .۱۷
۱۸. بنزین	۶۹۳۰۰ .۱۹	۳.۲۰	۰/۶ .۲۱	۶۹۵۴۳ .۲۲	۲۱۹۳ .۲۳
۲۴. نفت سفید	۷۱۵۰۰ .۲۵	۳.۲۶	۰/۶ .۲۷	۷۱۷۴۳ .۲۸	۲۲۶۲ .۲۹
۳۰. گازوییل	۷۴۱۰۰ .۳۱	۳.۳۲	۰/۶ .۳۳	۷۴۳۴۳ .۳۴	۲۳۴۴ .۳۵
۳۶. نفت کوره	۷۷۴۰۰ .۳۷	۳.۳۸	۰/۶ .۳۹	۷۷۶۴۳ .۴۰	۲۴۴۹ .۴۱
۴۲. LPG	۶۳۱۰۰ .۴۳	۱.۴۴	۰/۱ .۴۵	۶۳۱۵۵ .۴۶	۱۹۹۲ .۴۷
۴۸. نفتا	۷۳۳۰۰ .۴۹	۳.۵۰	۰/۶ .۵۱	۷۳۵۴۳ .۵۲	۲۳۱۹ .۵۳
۵۴. زغال بخاری	۹۸۳۰۰ .۵۵	۱.۵۶	۱/۵ .۵۷	۹۸۷۲۵ .۵۸	۳۱۱۳ .۵۹
۶۰. گاز طبیعی	۵۶۱۰۰ .۶۱	۱.۶۲	۰/۱ .۶۳	۵۶۱۵۵ .۶۴	۱۷۷۱ .۶۵
۶۶. سوخت جت	۷۱۵۰۰ .۶۷	۰/۵ .۶۸	۲ .۶۹	۷۲۰۴۴ .۷۰	۲۲۷۲ .۷۱
۷۲. گاز لندفیل	۵۴۶۰۰ .۷۳	۱.۷۴	۰/۱ .۷۵	۵۴۶۵۵ .۷۶	۱۷۲۴ .۷۷

۷۸. منبع: (IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, ۲۰۰۶)

در مورد انتشاراتی که از سمت تقاضا رخ می‌دهد (نظیر انتشار حمل‌ونقل و بخش خانگی) از همین ضرایب استفاده شده‌است؛ اگر چه در برخی موارد دستورالعمل IPCC برای زیربخش‌های مختلف حمل‌ونقل (جاده‌ای، ریلی و هوایی) مقادیر متفاوتی خصوصاً برای ضرایب انتشار متان و اکسید نیتروس اعلام کرده، اما چون داده‌های تقاضا در سطح زیر بخش در این تحقیق در دسترس نیست، از همین ضرایب استفاده می‌شود. این تقریب عملاً باعث کم‌برآوردی انتشار بخش تقاضا می‌شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

انتشارات فرّار عمدتاً مربوط به فناوری‌های برداشت نفت و گاز، پالایش نفت و گاز و میعانات و نیز انتشارات ناشی از نشتی خطوط انتقال و توزیع گاز یا تأسیسات ذخیره‌سازی گاز طبیعی است. بطور کلی محاسبه انتشارات فرّار از طریق حجم گاز ارسالی برای تخلیه یا فلرینگ و در سطح واحد انجام می‌شود. در صورتی که چنین اطلاعاتی موجود نباشد، مطابق IPCC بر مبنای تولید سالانه نفت و گاز میتوان ضرایب انتشاری تعریف نمود. این ضرایب انتشار در راهنمای IPCC بصورت بازه‌ای بیان شده و عدم قطعیت زیادی دارند. در این تحقیق بر مبنای گزارش سوم ایران به دبیرخانه کنوانسیون تغییر اقلیم که انتشارات فرّار کشور در سال ۲۰۱۰ را گزارش کرده (سازمان محیط زیست، ۲۰۱۷) و نیز بر مبنای تولید نفت و گاز در آن سال ضرایب انتشارات فرّار صنعت نفت و گاز بدست آمده است. ضرایب انتشارات فرّار مطابق

جدول ٤ ارائه می‌شود: (DOE, Iran's third national communications to the United Nations Framework Convention on Climate Change, ۲۰۱۷)

جدول ٤) ضرایب انتشارات فرّار

فرآیند	گاز	انتشار تن گاز بر واحد تولید*	پتانسیل گرمایش جهانی GWP	ضریب انتشار kg/KW.year
تولید نفت خشکی	CH_4	۱۴۷۶	۲۸	۳۳/۹
تولید نفت- دریا	CH_4	۵۹۰/۳	۲۸	۱۳/۵
برداشت گاز غنی	CH_4	۰/۳۶۷۳	۲۸	۷/۵
تخلیه و فلرینگ	CH_4	۳۸/۹۷	۲۸	۷۹۶/۶
پالایش گاز ترش	CH_4	۰/۱۵۹	۲۸	۳/۳
	CO_2	۰/۰۱۳	۱	
پالایش نفت	CH_4	۰/۰۴	۲۸	۱۱۵/۲
	CO_2	۱۳۸/۲	۱	
استخراج زغالسنگ	CH_4	۱۳/۷۵۳	۲۸	۱۴/۸

* واحد تولید برای صنایع نفت و گاز "میلیون متر مکعب" و برای زغالسنگ "هزار تن" است.

در تحقیق حاضر، برای تشویق مدل بهینه‌سازی به ایجاد ظرفیت برای نیروگاه‌های بیوگاز و زباله‌سوزی خصوصاً در سناریوهای کاهش انتشار، ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای از این نیروگاه‌ها مقادیر منفی در نظر گرفته می‌شود؛ و این به این معنی است که اگر چه انتشار در سیستم انرژی اتفاق می‌افتد، اما از مجموع انتشار بخش انرژی بعلاوه بخش پسماند کاسته خواهد شد. این نگاه در واقع ردّپای کربن را

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

برای تکنولوژی‌های مرتبط با استحصال انرژی از زباله در کل کشور بررسی می‌کند. یمان و همکاران (۲۰۲۰) سه سناریوی مدیریت پسماند جامد را در شهر دمّام عربستان مورد ارزیابی قرار داده و نتایج نشان‌دهنده آن است که در سناریوی بازیافت پسماند خشک و تولید کمپوست از مواد آلی، به ازای هر تن پسماند ۱/۰۹۱ تن انتشار معادل دی‌اکسید کربن کاسته خواهد شد. همچنین در صورت مدیریت پسماند در لندفیل‌ها انتشار گازهای گلخانه‌ای معادل ۰/۲۶۵ تن به ازای هر تن پسماند خواهد بود و نیز اگر هر تن پسماند شهری سوزانده شود از انتشار ۰/۱۴۷ تن پسماند جلوگیری خواهد شد. نتایج مشابه در مورد پسماند جامد شهری در کشور انگلیس در تحقیق جسوانی و همکاران (۲۰۱۲) بازتاب شده است؛ بطوریکه ردپای کربن در زباله‌سوزی ۰/۱۷۹- تن و دفن در لندفیل معادل ۰/۳۹۵ تن به ازای هر تن پسماند بوده است. البته نتایج کاهش انتشار در زباله‌سوزی نسبت به پارامتر درصد اجزای تشکیل دهنده زباله حساس است. (Yaman, Anil, & Alagha, ۲۰۲۰) (Jeswani, Smith, & Azapagic, ۲۰۱۲)

با توجه به مطالعات فوق، فرض می‌شود که ضریب انتشار زباله سوز ۰/۱۵- به ازای هر تن پسماند باشد، و با فرض تولید ۴۳۰ کیلووات ساعت به ازای هر تن زباله که از نتایج جسوانی و همکاران (۲۰۱۲) برداشت می‌شود، ضریب انتشار ۳۰۵۲ kg- معادل CO_2 به ازای هر کیلووات-سال برق تولیدی بدست می‌آید.

به منظور محاسبه ضریب انتشار تولید یک کیلووات-سال برق از سوزاندن گاز لندفیل، انتشار آن را با فرضیاتی که در ادامه ذکر می‌شود با رهاسازی مطلق آن در جو مقایسه می‌کنیم. واکنش سوختن یک مول متان (معادل ۱۶ گرم متان) باعث آزادسازی ۱ مول دی‌اکسید کربن (۴۴ گرم) و ۸۹۰ کیلوژول گرما می‌شود. بنابراین برای تولید یک کیلووات-سال برق با راندمان ۲۸ درصد به ۱/۹۲۷ تن متان نیاز است و همچنین ۵/۳ تن کربن‌دی‌اکسید آزاد می‌شود؛ این در حالی است که آزادسازی این میزان متان معادل انتشار ۵۳/۹۷ تن کربن‌دی‌اکسید در جو است. بنابراین، چنانچه هر تن متان به جای رهاسازی در جو، به طریقی که گفته شد تبدیل به یک کیلووات-سال انرژی برق شود، از انتشار ۴۸/۶۷ تن دی‌اکسید کربن اجتناب می‌شود. احمدی بویاغچی و همکاران (۱۳۹۲) ضمن بررسی ویژگی‌های فیزیکی و آلایندگی گاز لندفیل مجتمع پسماند آرادکوه تهران، بیان می‌دارند که هر تن گاز لندفیل حاوی ۲۷۰ کیلوگرم متان و ۷۳۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن است، و اینکه در صورت اجرای اقدامات کنترلی می‌توان ۸۵ درصد از این گاز را جمع آوری کرد. بنابراین، حدود ۴۰ کیلوگرم گاز متان و ۱۰۹ کیلوگرم دی‌اکسید کربن (جمعاً معادل ۱/۲۴۳ تن دی‌اکسید کربن) بصورت کنترل‌نشده آزاد می‌شود. گاز جمع‌آوری‌شده هم شامل ۶۲۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن است که بدون مشارکت در واکنش سوختن به جو انتشار می‌یابد. مطابق محاسبات قبلی، جمع‌آوری ۲۲۹/۵ کیلوگرم گاز متان از یک تن گاز لندفیل و تولید ۱۱۹ وات-سال برق از آن، از انتشار ۵/۷۹۵ تن دی‌اکسید کربن جلوگیری می‌کند. نهایتاً، برای تولید یک کیلووات-سال برق بر مبنای فرضیات گفته‌شده و با درنظرگرفتن تمام انتشارات کنترل‌شده و نشده از انتشار ۳۳۰۱۶ کیلوگرم کربن‌دی‌اکسید جلوگیری می‌شود. بنابراین ضریب انتشار نیروگاه بیوگاز برابرِ ۳۳۰۱۶ kg- معادل CO_2 به ازای هر کیلووات-سال برق تولیدی درنظر گرفته می‌شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

سناریوهای مدل‌سازی

با توجه به مرور ارائه شده بر اسناد بالادستی در بخش‌های قبل، علاوه بر تداوم وضع موجود چهار سناریو که به ترتیب شامل شرایط رشد اقتصادی، کاهش شدت مصرف انرژی، اصلاح قیمت‌گذاری و کاهش سرانه انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار خواهد گرفت. مشروح این سناریوها در زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

الف) سناریوی ادامه روند کنونی: در این سناریو رشد اقتصادی متوسط ۳/۵٪ سالانه درنظر گرفته می‌شود و پیش‌بینی مصرف انرژی کشور—خصوصاً در بخش‌های صنعتی- بر این مبنا صورت می‌گیرد. تولید نفت و صادرات کلیه حامل‌های انرژی (نفت خام، گاز، فرآورده‌ها، مایعات و میعانات گازی و برق) به اعداد ۲/۵ و ۱/۵ میلیون بشکه معادل نفت خام در روز محدود می‌شود. قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی مطابق آنچه در بخش قبلی بیان شد در نظر گرفته می‌شود.

ب) سناریوهای رشد اقتصادی: مطابق برنامه‌های رسمی توسعه کشور، بطور متوسط رشد اقتصادی سالانه ۸ درصد در برنامه ششم و همین رشد برای برنامه های هفتم و هشتم مدنظر است (گرچه به دلیل اعمال تحریم‌های ظالمانه علیه کشورمان این اهداف در برنامه ششم حاصل نشد). بنابراین در این تحقیق رشد اقتصادی در قالب سه سناریوی متوسط (رشد اقتصادی سالانه ۳/۵٪)، سناریوی پایین (با درنظر گرفتن ادامه روند میانگین رشد اقتصادی دهه ۱۳۸۵-۱۳۹۴ معادل سالانه ۱٪) و سناریوی بالا (مطابق برنامه‌های رسمی توسعه کشور با درنظرگرفتن رشد اقتصادی سالانه ۸٪ در برنامه‌های هفتم و هشتم) درنظر گرفته می‌شود.

ج) سناریوی کاهش شدت انرژی: بند هفتم سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف بیان می‌دارد که شاخص شدت انرژی (مصرف انرژی به ازای واحد تولید) باید در پایان برنامه پنجم (۱۳۹۴) به دو سوّم و در پایان برنامه ششم (۱۳۹۹) به نصف مقدار سال ۱۳۸۹ کاهش پیدا کرده باشد که این هدف در این مدت محقق نشده است. در حالتی که کاهش ۵۰ درصدی شدّت مصرف انرژی در سال ۱۴۰۹ - سال پایانی برنامه هشتم- نسبت به سال ۱۳۹۴ مدّنظر باشد و در عین حال رشد اقتصادی سالانه ۳/۵٪ در نظر گرفته شود، تقاضای انرژی کل در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۴-۱۴۰۹ به میزان ۱۳/۵ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش تقاضای حامل‌های انرژی اصلی را به نحوی که کاهش تقاضای کل به میزان مذکور برسد درنظر گرفته و به مدل ارائه می‌کنیم تا هم سبد بهینه تولید انرژی و هم میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی در این سناریو مشخص شود.

د) سناریوهای اصلاح قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی: در این سناریو فرض می‌شود قیمت بنزین و گاز طبیعی خانگی بطور منظم سالی ۱۵ درصد افزایش یابد. این افزایش در مورد مصرف فرآورده‌ها در سال ۱۴۰۹ باعث کاهش ۱۷ درصدی، در مورد گاز خانگی باعث کاهشِ ۲۹ درصدی، گاز صنعتی کاهش ۴۴ درصدی و برق بخش خانگی کاهش ۱۲ درصدی مصرف می‌شود. البته طبعاً این افزایش قیمت میانگین افزایش قیمتی است که در سطح کشور اتفاق می‌افتد و در کنار آن برای کاهش اثرات سوء بر معیشت اقشار کم‌برخوردار باید سیاست‌های موازی پی‌گیری شود. گفتنی است که این افزایش قیمت حامل‌های انرژی نه در جهت ایجاد تورم، بلکه به منظور کنترل آن

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

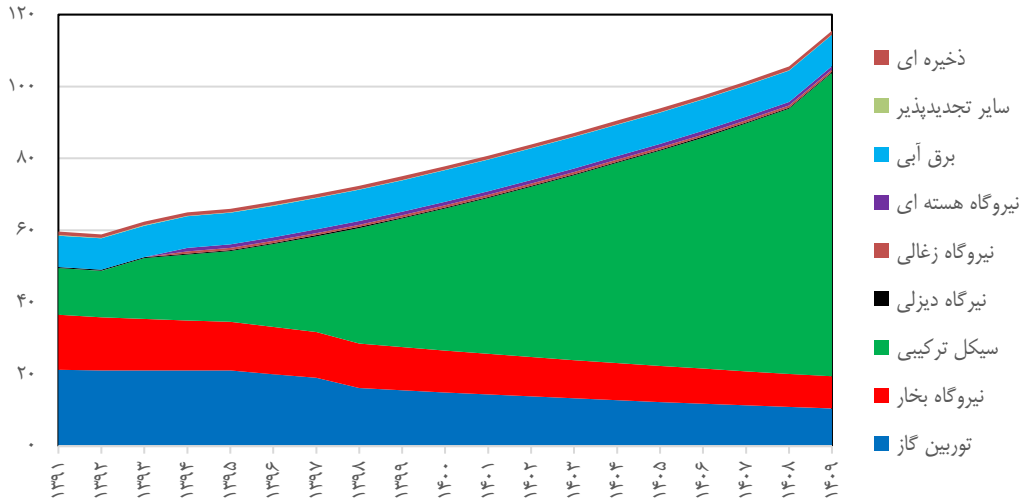
از طریق کنترل نقدینگی ناشی از کسری بودجه دولت بوده و تا زمانی که ضمن دستیابی به تورم کمتر از سه درصد و ثبات ارزش پول ملی در برابر دلار، قیمت‌های حامل‌های انرژی واقعی شوند ادامه می‌یابد. برای بررسی دقیق‌تر اثرات اقتصادی-اجتماعی تعیین نرخ حامل‌های انرژی و نیز دستیابی به نرخ‌گذاری عادلانه و منطقی حامل‌های انرژی پیشنهاد می‌شود مطالعات اقتصاد کلان در این حوزه دنبال شود. بعنوان نمونه، محمدی و دانایی‌فرد (۱۳۹۸) با رویکرد نهادی پیشنهاد می‌کنند علاوه بر اصلاح قیمت‌گذاری، استفاده از ابزارهای تعهد (انجمن‌ها، کمپین‌ها و ائتلاف‌ها)، مشارکت نهادهای دولتی در پرداخت هزینه و سود اجتماعی، و استفاده از ترکیب خط‌مشی‌گذاری در عرضه و تقاضا ضرورت دارد.

ه) سناریوی کاهش سرانه انتشار: در این سناریو مطابق اسناد بالادستی کشور مقرّر می‌شود که سرانه انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور تا سال ۱۴۰۹ از ۷ به ۵ میلیون تن بر نفر کاهش یابد. اگر چه این هدفگذاری طبق سند ملی محیط زیست باید تا سال ۱۴۰۴ محقق شود، اما در این تحقیق سال دستیابی به این هدف را سال پایان برنامه هشتم توسعه درنظر می‌گیریم. از آنجاییکه جمعیت کشور در سال ۱۳۹۰ حدود ۷۵ میلیون نفر بوده و نیز چون طبق پیش‌بینی صورت‌گرفته در مورد جمعیت کشور (برونیابی) کشور در سال ۱۴۰۹ جمعیتی در حدود ۹۴ میلیون نفر خواهد داشت، بنابراین در این سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۱۴۰۹ نسبت به سال ۱۳۹۰ حدود ۱۱ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین مطابق سند ملی محیط زیست شدت مصرف انرژی نیز حدود ۴۰ درصد کاهش خواهد یافت، که لحاظ کردن این هدفگذاری باعث کاهش تقاضای انرژی و متعاقباً انتشار گازهای گلخانه‌ای در سمت مصرف انرژی خواهد شد. در واقع قید کاهش انتشار در مدل به نحوی تنظیم می‌شود که کاهش سرانه انتشار در کل بخش انرژی -شامل عرضه و تقاضا- محقق شود.

نتایج و بحث

بهینه‌سازی سیستم عرضه انرژی کشور ایران برای سناریوی پایه نشان می‌دهد که در بخش پالایشگاهی، توسعه پالایشگاه‌های گاز و پالایشگاه‌های میعانات گازی، و در بخش نیروگاهی توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی مناسب‌ترین گزینه است. شکل ۳ ظرفیت نیروگاهی کشور را تا سال ۱۴۰۹ برای سناریوی پایه نشان می‌دهد که مطابق آن کل ظرفیت نیروگاهی کشور به ۱۱۵ هزار مگاوات خواهد رسید که سهم نیروگاه سیکل ترکیبی از ظرفیت نیروگاه‌های کشور از ۲۱ درصد در سال ۱۳۹۱ به بیش از ۷۳ درصد در سال ۱۴۰۹ می‌رسد. سایر انواع نیروگاه‌های فسیلی و نیز تجدیدپذیر و هسته‌ای در سناریوی پایه رشد نخواهند داشت؛ چرا که در مقابل راندمان قابل‌قبول نیروگاه سیکل ترکیبی و هزینه سرمایه و عملیاتی مناسب آن مزیتی ندارند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

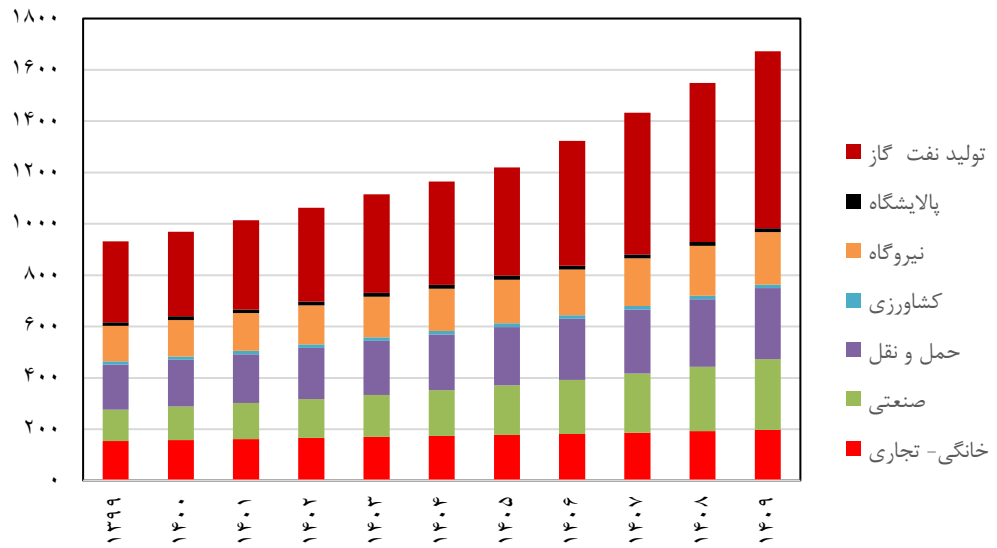


شکل ۳) ظرفیت نیروگاهی کشور در سناریوی پایه- گیگاوات

هزینه‌ی کل سیستم انرژی شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ثابت و متغیرِ عملیاتی در طول دوره برای بخش‌های استخراج و تولید، فرآورش و تبدیل، انتقال و واردات انرژی بیش از ۲۹۷ میلیارد دلار خواهد بود.

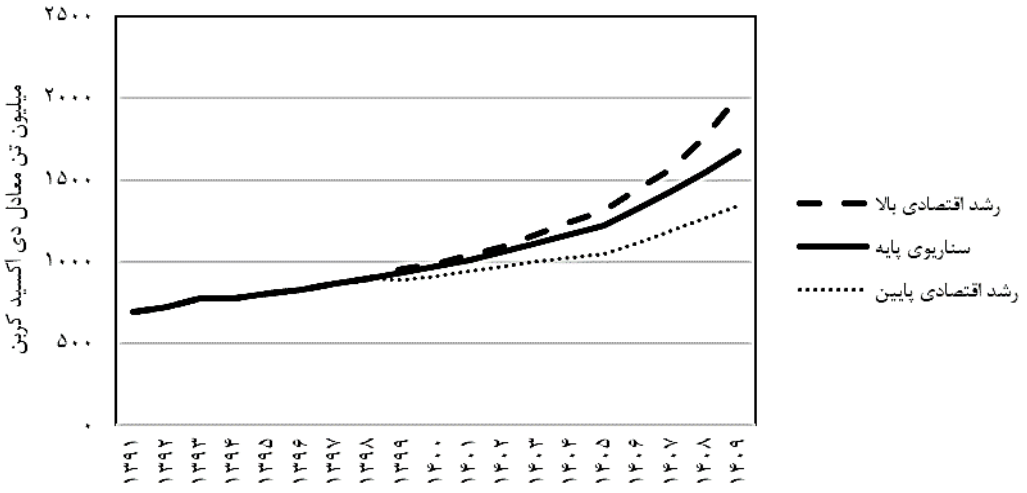
تخمین مدل بهینه‌سازی از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش انرژی در بازه زمانی ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۹ در شکل ۴ نمایش داده شده است. مطابق نتایج، انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۱۴۰۹ (۲۰۳۰) از بخش انرژی به میزان حدود ۱۶۷۰ میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن خواهد رسید. سهم بخش خانگی-تجاری حدود ۱۲ درصد، بخش صنعتی حدود ۱۶/۵ درصد، بخش حمل‌ونقل حدود ۱۷ درصد، بخش کشاورزی کمتر از ۱ درصد، نیروگاه حدود ۱۲ درصد، پالایشگاه کمتر از ۱ درصد و انتشارات فرّار تولید نفت و گاز حدود ۴۱ درصد خواهد بود. توجه شود که این نتایج از بهینه‌سازی سیستم انرژی بدست آمده و نشان‌دهنده عقلانی‌ترین تصمیم‌سازی برای توسعه بخش انرژی کشور است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]



شکل ٤ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش‌های مختلف عرضه و تقاضای انرژی در سناریوی پایه (میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن)

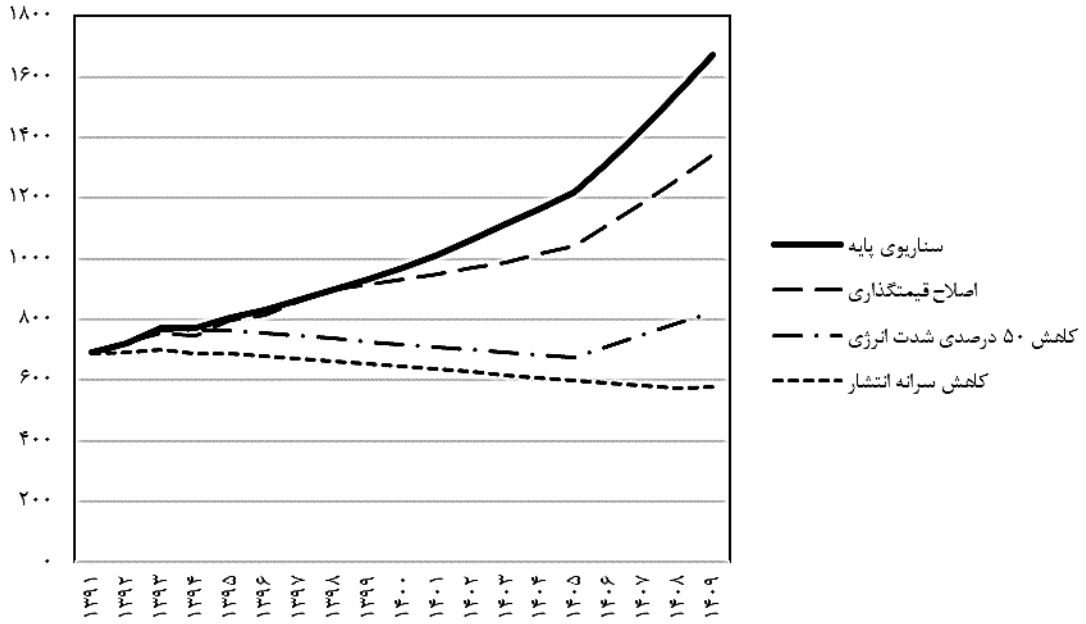
نتایج بهینه‌سازی سیستم عرضه انرژی برای سناریوهای مختلف رشد اقتصادی کشور را در شکل ۵ می‌بینید. مطابق این شکل، چنانچه رشد اقتصادی کشور مطابق برنامه‌های توسعه معادل ۸ درصد تحقق یابد، این رقم با رشد حدود ۲۰ درصدی نسبت به سناریوی پایه به ۲۰۱۰ میلیون تن معادل خواهد رسید، درحالیکه اگر وضع کنونی اقتصاد ادامه پیدا کرده و رشد اقتصادی در حدود سالی ۱ درصد ادامه داشته باشد، انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی به رقم ۱۳۴۰ میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن خواهد رسید که نسبت به سناریوی متوسط حدود ۲۰ درصد کمتر است. تولید ناخالص داخلی عامل مؤثر در مصرف انرژیِ صنایع بوده و رشد اقتصادی می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای در صنایع را تغییر دهد.



شکل ۵) اثر رشد اقتصادی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

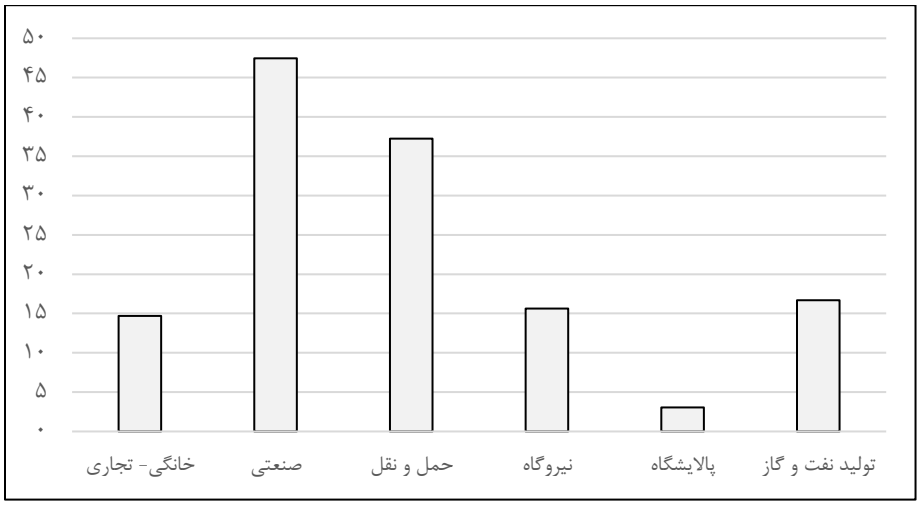
در شکل ۶ انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار ارائه شده است.



شکل ٦) انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی در سناریوهای مختلف- میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن

چنانکه در شکل مشخص است، با اصلاح قیمتگذاری حامل‌های انرژی به شکلی که با رشد منظم و سالیانه‌ی ۱۵ درصدی قیمت حامل‌ها، نرخ‌ها واقعی و مصرف داخلی منطقی‌تر شود و فرصت صادراتی حامل‌های انرژی نیز فراهم شود، انتشار بخش انرژی ضمن کاهش ۲۰ درصدی در سال ۱۴۰۹ به حدود ۱۳۴۰ میلیون تن خواهد رسید. در این سناریو تغییر خاصی در سبد انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای رخ نداده و کاهش انتشار تنها به دلیل کاهش مصرف انرژی و متناسباً کاهش تولید نفت و گاز است. در این سناریو هزینه کل سیستم انرژی در طول دوره حدود ۲ درصد کاهش می‌یابد. نکته مهم آن است که بیشترین تأثیر مصرف انرژی و متناسباً انتشار گازهای گلخانه‌ای از افزایش قیمت‌ها مربوط به بخش صنعتی است. چنانکه در شکل ۷ مشخص است، افزایش سالانه ۱۵ درصد در قیمت گاز صنایع منجر به کاهش حدود ۴۷ درصدی انتشار این بخش در سال ۱۴۰۹ —ضمن دستیابی به هدفگذاری تولید- شده است. بخش حمل‌ونقل نیز کاهش ۳۷ درصدی را نشان می‌دهد. این موضوع نشان‌دهنده اولویت اصلاحات قیمتی کشور است. صنایع انرژی‌بر نظیر آهن و فولاد، پتروشیمی و سیمان که اصلی‌ترین منتشرکنندگان گازهای گلخانه‌ای در میان صنایع کشور هستند و نیز بعد از نفت و گاز استوانه‌های صادرات کشور محسوب می‌شوند، بهترین گزینه‌ها برای شروع اصلاحات قیمتی هستند. بخش خانگی در اولویت آخر قرار دارد چرا که انرژی در بخش خانگی کالای اساسی محسوب می‌شود و کشش قیمتی کمی دارد. کاهش انتشار در بخش‌های نیروگاه، پالایشگاه و تولید نفت و گاز نیز به دلیل کاهش مصرف انرژی متصوّر است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]



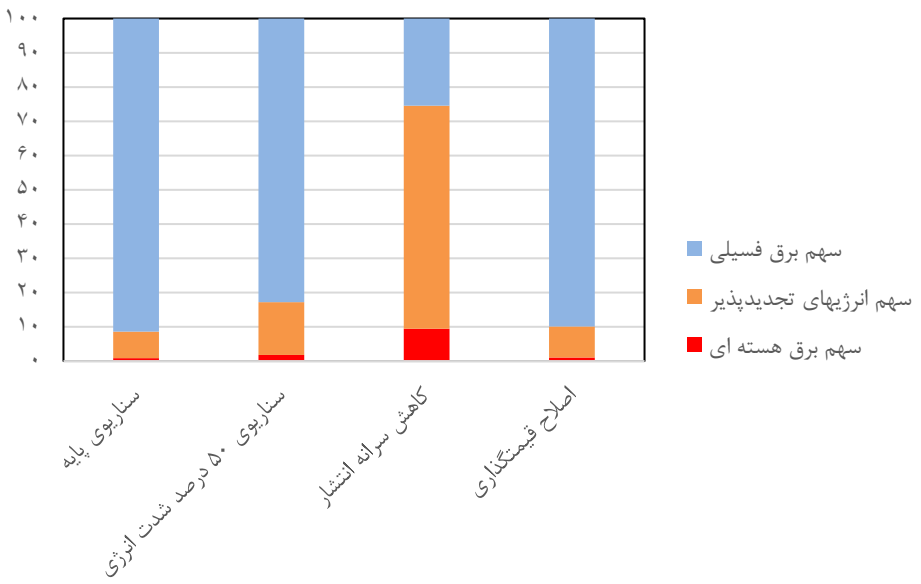
شکل ۷ میزان کاهش انتشار هر یک از بخش‌ها در اثر اجرای سناریوی قیمتی (درصد)

کاهش ۵۰ درصدی شدت مصرف انرژی مدنظر سیاست‌های اصلاح الگوی مصرف انرژی باعث کاهش حدود ۵۱ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل بخش انرژی نسبت به سناریوی پایه می‌شود. کاهش مصرف انرژی در این سناریو نسبت به سناریوی پایه نه فقط باعث کاهش انتشار در بخش تقاضای انرژی شده، بلکه متعاقباً در بخش عرضه و تولید انرژی نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای کاسته خواهد شد و مجموعاً انتشار بخش انرژی در سال ۱۴۰۹ به حدود ۸۲۳ میلیون تن معادل خواهد رسید. در این سناریو نیز ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای نسبت به سناریوی پایه تغییری ندارد؛ اما چون ظرفیت نیروگاه‌های سیکل ترکیبیِ مورد نیاز کمتر از مقدار آن در سناریوی پایه است، سهم برق پاک افزایش می‌یابد. از آنجاییکه کاهش مصرف انرژی باعث کاهش تولید حامل‌های اولیه انرژی و نیز کاهش سرمایه‌گذاری جدید نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها می‌شود، این سناریو هزینه‌های کل سیستم انرژی را ۲۰ درصد کاهش می‌دهد.

کاهش سرانه انتشار از ۷ میلیون تن بر نفر در سال ۱۳۹۰ به ۵ میلیون تن بر نفر در سال ۱۴۰۹ مطابق اهداف سند ملی محیط زیست، به معنیِ کاهش ۱۱ درصدی انتشار در این بازه زمانی است. این کاهش موجب می‌شود که انتشار کل بخش انرژی در سال ۱۴۰۹ به رقم ۵۷۷ میلیون تن معادل برسد که نسبت به سناریوی پایه بیش از ۶۵ درصد کمتر است. این مهم با افزایش چشمگیر ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای قابل دستیابی است. بر این اساس در سال ۱۴۰۹ ظرفیت نیروگاه‌های هسته‌ای، آبی، بادی و خورشیدی به ترتیب به ۱۲، ۲۴، ۱۸ و ۳۰ هزار مگاوات خواهد رسید. اجرای این سیاست‌ها هزینه‌ی کل سیستم انرژی را حدود ۵۰ درصد افزایش خواهد داد.

چنانکه بیان شد، کل ظرفیت نیروگاهی کشور در سال ۱۴۰۹ در سناریوی پایه حدود ۱۱۵ هزار مگاوات خواهد بود. مطابق شکل ۸ از این میزان حدود ۹۱ درصد آن از نیروگاه‌های سوخت فسیلی تأمین خواهد شد، کمتر از ۸ درصد سهم برق تجدیدپذیر و کمتر از ۱ درصد سهم برق هسته‌ای خواهد بود. سناریوی کاهش ۵۰ درصدی شدت انرژی باعث می‌شود نیاز کشور به ظرفیت نیروگاهی به کمتر از ۵۸ هزار مگاوات برسد؛ که این به معنی نیروگاه سیکل ترکیبی کمتر است. در واقع افزایش سهم برق پاک در این سناریو به معنی افزایش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]



شکل ۸ سهم انواع برق‌های فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر از تولید برق در سال ۲۰۳۰ در سناریوهای مختلف

ظرفیت آن نیست. در سناریوی اصلاح قیمتگذاری حامل‌های انرژی نیز به همین منوال کل ظرفیت تولید برق کشور به حدود ۹۸ هزار مگاوات کاهش خواهد یافت و طبعاً سهم برق فسیلی نیز کمتر می‌شود. تنها در سناریوی کاهش سرانه‌ی انتشار است که مقدار ظرفیت برق تجدیدپذیر و هسته‌ای افزایش چشمگیر یافته است و سهم هر کدام به ترتیب به ۶۵ درصد و ۹ درصد از کل ظرفیت ۱۲۷ هزار مگاواتی مورد نیاز خواهد رسید. این مقایسه نشان می‌دهد که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس کلان تنها در صورتی که اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مدنظر باشد توجیه‌پذیر است؛ گرچه توسعه آن برای افزایش پایداری شبکه، افزایش دسترسی به برق در مناطق محروم و نیز کاهش بار اضافی ناشی از استفاده‌های غیرمتعارف (نظیر ماینرها) عقلانی است؛ چنانچه برنامه‌ریزی‌های دولت این هدف را نشانه گرفته است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش از بهینه‌سازی سیستم عرضه انرژی کشور به همراه تخمین عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی بعنوان ابزاری برای تحلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی کشور استفاده شد. در میان اسناد بالادستی توسعه و مدیریت کلان کشور، اهداف مرتبط به بخش اقتصاد کلان و انرژی و نیز اهداف کاهش انتشار شناسایی و تأثیر اجرای این اهداف بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور در قالب سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

رشد اقتصادی عامل مؤثری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش صنعت است که سهم مهمی در مصرف انرژی کشور دارد. بدین ترتیب بسته به تولید ناخالص داخلی کشور تا سال ۱۴۰۹، انتشار بخش انرژی می‌تواند به عددی بین ۱۳۴۰ تا ۲۰۱۰ میلیون تن معادل دی‌اکسید

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

کربن برسد. با درنظر گرفتن رشد اقتصادی متوسط سالانه ۳.۵ درصد، انتشار بخش انرژی در حدود ۱۶۷۰ میلیون تن خواهد بود. این سناریو بعنوان سناریوی پایه در این تحقیق معرفی شده که در حالت بهینه با توسعه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و پالایشگاه‌های گازی و میعانات محقق خواهد شد.

اصلاح قیمت‌گذاری در بخش انرژی می‌تواند ضمن کاهش بار یارانه انرژی از دوش دولت منجر به کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های تولید انرژی و نهایتاً کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۰ درصد شود. البته اولویت اصلاح قیمتی با بخش صنعت است که بخش مولّد جامعه بوده و منابع لازم برای انجام طرح‌های بهینه‌سازی انرژی را در اختیار دارد. تحقق اهداف سیاست‌های اصلاح الگوی مصرف و کاهش ۵۰ درصدی شدت انرژی می‌تواند حدود ۵۱ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای را ضمن دستیابی به رشد اقتصادی سناریوی پایه در کشور کاهش دهد. طبعاً با اجرای برنامه‌های بهره‌وری انرژی در این سناریو هزینه‌های سیستم انرژی در کشور بسیار پایین‌تر از سناریوی پایه خواهد بود. هدف‌گذاری کاهش سرانه انتشار نیز باعث کاهش ۶۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی شده و ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای را به شدت افزایش می‌دهد، اگرچه هزینه‌ی این هدفگذاری به مراتب بیشتر از سناریوی پایه خواهد بود. نتایج همچنین مبیّن این نکته است که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تنها در صورتی که کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطوح بالا مدنظر باشد قابل توجیه است؛ چرا که نیروگاه‌های سیکل ترکیبی اولاً به لحاظ هزینه از نیروگاه‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای به‌صرفه‌تر هستند و ثانیاً به لحاظ راندمان از سایر نیروگاه‌های فسیلی عملکرد بهتری دارند.

طبق نتایج پژوهش حاضر، بنظر می‌رسد اهداف غیرمشروط و مشروط کاهش انتشار مندرج در سند مشارکت ملی تعیین شده مدنظر INDC کشور ایران (به ترتیب ۴ درصد و ۱۲ درصد) بسیار کمتر از اهدافی است که در صورت اجرای سیاست‌های تدوین‌شده‌ی داخلی قابل دستیابی است. باید توجه داشت که برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ترکیبی از کلیه برنامه‌ها و اهداف فوق را باید در برنامه لحاظ کرد؛ یعنی هم اصلاح قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی، هم کاهش شدت مصرف انرژی و هم کربن‌زدایی از سیستم عرضه انرژی کشور و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک. در این صورت است که کشور می‌تواند از مزایای هر کدام از این برنامه‌ها استفاده برده، هزینه‌های سیستم انرژی را حداقل کرده، و با رعایت ملاحظات کنوانسیون‌ها و توافقنامه‌های بین‌المللیِ زیست‌محیطی از فرصت‌های موجود در آنها در جهت جذب سرمایه و تکنولوژی منتفع شد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی به بررسی پتانسیل‌های کاهش انتشار کشور در بخش انرژی پرداخته تا با معرفی گزینه‌های کاهش انتشار در هر یک از تکنولوژی‌های سیستم انرژی –نظیر انواع نیروگاه، پالایشگاه، سیستم انتقال و توزیع و بخش استخراج–، نقشه راه عملیاتی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی تهیه شود. همچنین پتانسیل‌سنجی راهکارهای افزایش بهره‌وری انرژی در صنایع انرژی‌بر کشور نظیر فولاد، سیمان و پتروشیمی نیز می‌تواند راه را برای هدفگذاری کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور فراهم کند. از دیگر مواردی که نیاز به پژوهشی مستقل دارد، الگوی نیاز انرژی کشور در بخش های مختلف با توجه به سناریوهای اقلیمی است که خود بر بار وارد به بخش تولید انرژی اثر مستقیم دارد. ضمناً مطالعات مفصّلی در خصوص پتانسیل‌های تکنولوژی جمع‌آوری، استفاده و ذخیره‌سازی کربن (CCUS) در کشور باید صورت بگیرد تا جایگاه این فناوری در کربن‌زدایی از صنعت نفت و گاز و سایر صنایع روشن شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

مراجع

احسان‌بخش، مهدیه؛ احمدیان، محمد (۱۳۹۷) برنامه‌ریزی توسعه ظرفیت‌های تولید برق با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۷-۳۹.

احمدی بویاغچی، ف؛ محمدخان پوریامچی، ن؛ اشرافی بفروئی، م، (۱۳۹۲). ارزیابی میزان تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی در لندفیل و تکنولوژی‌های استحصال انرژی (مطالعه موردی: لندفیل آرادکوه). *محیط‌شناسی*، سال سی‌ونهم، شماره ۳، صفحه ۲۳.

استادزاد، علی‌حسین، (۱۳۹۲). پیش‌بینی بلندمدت سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی در قالب یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران (۱۳۸۷-۱۴۲۰). فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. شماره ۱، صفحه ۲-۲۸.

اشراقی، هادی؛ ملکی، عباس؛ وکیلی، علی (۱۳۹۲). شبیه‌سازی تقاضا و عرضه حامل‌های انرژی تا سال ۲۰۳۵ در ایران با استفاده از مدلساز LEAP، فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، شماره ۳.

خداداد کاشی، فرهاد؛ اکابری تفتی، مهدی؛ موسوی جهرمی، یگانه؛ خسروی‌نژاد، علی اکبر (۱۳۹۵). محاسبه هزینه اجتماعی انتشار دی‌اکسیدکربن به تفکیک استان‌های مختلف در ایران. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. دوره ۲، شماره ۱، صفحه ۷۷-۱۱۰.

رازینی، صالح؛ مقدس تفرشی، سید مسعود؛ بطحایی، سید محمدتقی (۱۳۹۰). تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر سناریو برای برنامه‌ریزی بلندمدت تولید برق در ایران. نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴، شماره ۱، صفحه ۱۹-۳۵.

سلیمیان، زهره؛ گودرزی‌راد، رضا؛ فرمد، مجید؛ بداغی، مریم؛ مکاری‌زاده، وهاب؛ شفیع‌زاده، محمدعلی (۱۴۰۰). ظرفیت‌های مدیریت مصرف انرژی در ایران در افق ۱۴۲۰: رویکرد مدل‌سازی جامع عرضه و تقاضای انرژی. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، دوره ۷، شماره ۱، صفحه ۵۱-۸۵.

شفیعی، س ا؛ آریان‌پور، و؛ گودرزی‌راد؛ ر، داراب، س، (۱۳۹۳). برنامه بلندمدت توسعه بخش انرژی کشور. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی معاونت برق و انرژی وزارت نیرو، تهران.

شقاقی‌شهری، وحید، (۱۳۹۷) ارزیابی برنامه‌های توسعه کشور از منظر تحقق اهداف اقتصادی سند چشم‌انداز. *فصلنامه مجلس و راهبرد*، سال بیست‌وپنجم شماره ۹۴، صفحه ۲۰۹-۲۳۴.

شکوری گنجوی، حامد؛ کاظمی، عالیه (۱۳۹۷) تعیین سهم بهینه فناوری‌های گازی و تجدیدپذیر در تولید برق کشور. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. سال چهارم، شماره ۱۲، صفحه ۷-۴۵.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

صادقی، سید کمال؛ سجودی، سکینه؛ احمدزاده دلجوان، فهیمه (۱۳۹۶) تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی وکیفیت محیط‌زیست در ایران. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. دوره ۳، شماره ۱، صفحه ۱۷۱-۲۰۲.

صادقی، حسین؛ نوری‌شیرازی، مهسا؛ بیابانی‌خامنه، کاظم (۱۳۹۳) نقش تولید برق از منابع تجدیدپذیر در کاهش گازهای گلخانه‌ای: یک رویکرد اقتصادسنجی. نشریه انرژی ایران. دوره ۱۷، شماره ۳.

عباس‌زاده کرمجوان، سجاد؛ عباس‌زاده، نصرت‌الله (۱۳۹۹). ارزیابی اقتصادی سیاست مالیات کربن: کاربردی از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. دوره ۶، شماره ۱ صفحه ۷-۳۷.

عبدلی، م؛ میرمحمدی، م، (۱۳۸۴). *مقایسه اجرای مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان و توسعه معاینه فنی خودروها در صرفه جویی انرژی و کاهش آلودگی هوای شهر تهران*. همایش آلودگی هوا و اثرات آن بر سلامت، موسسه مطالعاتی زیست محیط پاک، تهران.

فاکهی، امیر حسین؛ اشراقی، هادی (۱۳۹۴). توسعه کدهای بهینه‌ساز سیستم انرژی کشور با استفاده از زبان برنامه‌نویسی GNUMathprog. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، جلد ۱، شماره ۱، صفحه ۳۹-۶۸.

کاظمی، عالیه؛ حسین‌زاده، مهناز (۱۳۹۵). طراحی مدل تخصیص نفت و گاز به بخش‌های مختلف مصرف با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۱۳۹۵، سال دوم، شماره ۲، صفحه ۱۱۱-۱۴۱.

کاظمی، عالیه؛ مهرگان، محمدرضا؛ شکوری گنجوری، حامد (۱۳۹۱). *ارائه مدل عرضه انرژی ایران با هدف کاهش گازهای گلخانه ای*. نشریه مهندسی صنایع (دانشکده فنی دانشگاه تهران) دوره ۴۶ شماره ۱، صفحه ۶۳-۷۵.

گروه مدلسازی دفتر مطالعات طرح جامع انرژی کشور (۱۳۹۲). دورنمای انرژی ایران، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، تهران.

محمدی، نعیمه؛ دانایی‌فرد، حسن (۱۳۹۸) الگوی حکمرانی مشارکتی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران: رویکرد نهادی. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۶۷-۹۵.

مدیرزاده، سیدعلیرضا. (۱۳۹۹). بهینه‌سازی سیستم عرضه انرژی کشور ایران برای دستیابی به اهداف ملّی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما دکتر محسن ناصری، استاد مشاور مهندس محمدصادق احدی. دانشکده فنی دانشگاه تهران.

مرادی، محمدعلی؛ احمدی، سمیه؛ عمیدپور، مجید (۱۳۹۲). توسعه مدل تقاضای انرژی در سطح ملی با استفاده از مدل ساز LEAP. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال اول، شماره ۳.

مسائلی، ن، (۱۳۹۷). *نقش رعایت مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان بر آلودگی شهری، بهره‌وری انرژی و اقتصاد مردم (نمونه موردی شهر اصفهان)*. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، دانشگاه تهران، تهران.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

مهرآرا، محسن؛ رضایی برگشادی، صادق؛ حامدی، سهیلا (۱۳۹۵). تأثیر مصرف انرژی بر رشد اقتصادی ایران؛ رهیافت بیزی. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی. دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۶۱-۱۰۱.

وزارت نیرو، (۱۳۹۶). ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴. معاونت امور برق و انرژی.

Amirnekooei, K., Ardehali, M., & Sadri, A. (۲۰۱۲). Integrated resource planning for Iran: Development of reference energy system, forecast, and long-term energy-environment plan,. *Energy, 46*(۱), ۳۷٤-۳۸٥.

Davoudpour, H., & Ahadi, M. (۲۰۰٦). The potential for greenhouse gases mitigation in household sector of Iran: Cases of price reform/efficiency improvement and scenario for ۲۰۰۰-۲۰۱۰. *Energy Policy, 34*, ٤۰-٤۹.

DOE. (۲۰۱٥). *Islamic Republic of Iran's Intended Nationally Determined Contributions.* Department of Environment.

DOE. (۲۰۱۷). Iran's third national communications to the United Nations Framework Convention on Climate Change. *Department of Environment, Iran*.

Howells, M., Rogner, H., Strachan, N., Heaps, C., Huntington, H., Kypreos, S., . . . Alexander, R. (۲۰۱۲). OSeMOSYS: The Open Source Energy Modeling System: An inroduction to its ethos, structure and development. *Energy Policy, 39*(۱۰), ٥۸٥۰-٥۸۷۰.

IPCC. (۲۰۰٦). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. (۲۰۱٤). *AR5 synthesis report: climate change 2014.* Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jeswani, H., Smith, R., & Azapagic, A. (۲۰۱۲). Energy from waste: Carbon footprint of incineration and landfill biogas in the UK. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, ۱۸. ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۳٦۷-۰۱۲-۰٤٤۱-۸.

Panjeshahi, M., Moshiri, S., Atabi, F., & Lechtenböhmer, S. (۲۰۱۲). Long Run Energy Demand in Iran: A Scenario Analysis. *Journal of Energy Sector Management, uk, 6*(۱), ۱۲۰-۱٤٤.

Sathaye, J., & Shukla, P. (۲۰۱۲). Methods and Models of Costing Carbon Mitigation. *Annual Review of Environment and Resources*, ۳۸. ۱۰,۱۱٤٦/annurev-environ-۰۸۳۱۱۱-۰۹۲۱۱٥.

Stern, N. (۲۰۰٦). *The Economics of Climate Change: The Stern Review.* United Kingdom: Cambridge: Cambridge University Press.

UNFCCC. (۱۹۹۲). *United Nations Framework Convention on Climate Change.*

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

Yaman, C., Anil, I., & Alagha, O. (۲۰۲۰). Potential for greenhouse gas reduction and energy recovery from MSW through different waste management technologies. *Journal of Cleaner Production*, ۲٦٤. ۱۲۱٤۳۲. ۱۰,۱۰۱٦/j.jclepro.۲۰۲۰,۱۲۱٤۳۲.

Zhu, L., & Fan, Y. (۲۰۱۰). Optimization of China's generating portfolio and policy implications based on portfolio theory. *Energy*, ۳٥(۳):۱۳۹۱-۱٤۰۲.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

پیوست

جدول پیوست ۱- داده‌های فناورانه مورد استفاده در مدل بهینه‌سازی

	ضریب ظرفیت	طول عمر سال	ظرفیت موجود گیگاوات	راندمان درصد	هزینه سرمایه‌گذاری میلیون‌دلار بر گیگاوات	هزینه عملیاتی ثابت میلیون‌دلار بر گیگاوات	هزینه متغیر عملیاتی میلیون‌دلار بر گیگاوات- سال	پتانسیل حداکثر گیگاوات
استخراج نفت- خشکی	۰/۹۵	۳۰	۱۵٦		۳۲۰	۰/۰۷		۲۱۷۲۰
استخراج نفت- دریا	۰/۹۵	۲۵	۲۱		۵۱٤	۰/۱۲		۸۷۳۰
استخراج گاز	۰/۹۵	۳۰	۲۱۲/۵		۳۰۸	۰/۱۲		۳۲۵۰۰
استخراج زغالسنگ	۰/۷	۳۰	۰		۱۰۸	۸		۲۲۷/۵
پالایشگاه نفت	۰/۹۵	۳۰	۱۲۵		۱۰۹۰	۱٤۲		
پالایشگاه گاز	۰/۹۵	۲۵	۲۱۲/۵		۱٤۱	۰/۰۲	۱/۲	
پالایشگاه میعانات	۰/۹۵	۳۰	۰		٤۳٦	۵۷		
نیروگاه گازی	۰/۷	۱۲	۲۱/۲	۳٤	۵۵۰	٤/۵	۵/٦	
نیروگاه بخار	۰/۷٦	۳۰	۱۵/۳	٤۱/۲	۱۱۰۰	۹/٤	٤/۲	
نیروگاه سیکل ترکیبی	۰/۷۳	۳۰	۱۳/۰	۵۰	۹۵۰	٤/٤	۳/٦	
نیروگاه دیزلی	۰/۷	۱۰	۰/۳	۳۳	۵۵۰	۸	٤۳/۸	
نیروگاه زغالسنگ	۰/۸۵	۳۰	۰	۳۵/۳	۱٦۰۰	٦٤		
نیروگاه هسته‌ای	۰/۸	٤۰	۱	۳۱	٤۸۰۰	۹۲	٤/٤	
نیروگاه برق آبی	۰/۲۵	٤۵	۸/۷		۱٦۰۰	۱۱		۲٤
نیروگاه بادی	۰/۳	۲۰	۰/۱		۷۵۰	٤۸		۱۸
نیروگاه زمین‌گرمایی	۰/۸	۳۰	۰	۳۰	۵٦۰۰	۸٤	۸٤/۵	۰/۲
نیروگاه حرارتی خورشیدی	۰/٤	۳۰	۰		۵۷۰۰	٦٤		
نیروگاه فتوولتائیک	۰/۲۵	۲۵	۰/۳		۲۰۰۰	۵۰		
نیروگاه زباله‌سوز	۰/۸	۲۵	۰	۲۲	۵۸۰۰	۵۸۰		۰/۳۱۱
نیروگاه بیوگاز	۰/۸۵	۲۰	۰	۳۰	۲٤۰۰	۲۰	۱۳۰	۰/۱۱۲

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]

جدول پیوست ۲- نتایج آزمون‌های آماری مدلسازی تقاضای حامل‌های انرژی

حامل انرژی- بخش	متغیرها					R^2-Adjusted D.W خودهمبستگی باقیمانده‌ها	F (F Critical) r-value	هم‌خطی متغیرها رابطه باقیمانده‌ها با تقاضا آزمون پارک
فرآورده‌های نفتی- بخش حمل‌و نقل	متغیر	تقاضای سال قبل	جمعیت	قیمت بنزین	لگاریتم ضریب ثابت	۰/۹۹۴۳	۱۹۳۲	۰/۸۳
	کشش تقاضا نسبت به متغیر	۰/۷۷	۱/۵۳	-۰/۰۷	-۱۵/۵۱	۱/۸۶	(۳/۳۰)	۰/۰۷
	آزمونه‌ی t	۱۲/۵۲	۵/۶۰	-۵/۵۴	-۵/۶۲	۰/۰۱	$۲/۱\times۱۰^{-۳۴}$	۰/۱۲
	سال‌های مدلسازی	۱۳۹۸-۱۳۶۵ (۳۴ سال)		مقدار بحرانی t	۲/۰۴			
گاز طبیعی- بخش خانگی و تجاری	متغیر	تقاضای سال قبل	مشترکین گاز	قیمت گاز خانگی	لگاریتم ضریب ثابت	۰/۹۹۳۴	۱۵۹۶	۰/۹۲
	کشش تقاضا نسبت به متغیر	۰/۵۸	۰/۵۶	-۰/۱۳	-۵/۹۸	۱/۷۱	(۳/۳۲)	۰/۰۸
	آزمونه‌ی t	۷/۵۷	۵/۹۷	-۴/۸۸	-۵/۷۶	۰/۰۳	$۸۲/\times۱۰^{-۳}$	۰/۱۱
	سال‌های مدلسازی	۱۳۹۸-۱۳۶۶ (۳۳ سال)		مقدار بحرانی t	۲/۰۴			
گاز طبیعی- بخش صنعت	متغیر	تقاضای سال قبل	GDP صنعت	قیمت گاز صنعتی	لگاریتم ضریب ثابت	۰/۹۷۰۲	۴۵۷	۰/۳۰
	کشش تقاضا نسبت به متغیر	۰/۵۹	۰/۸	-۰/۲	-۷/۶۸	۱/۴۳	(۳/۲۳)	۰/۱۶
	آزمونه‌ی t	۵/۱۴	۳/۶۳	-۲/۵۰	-۳/۵۳	۰/۰۹	$۰۲/\times۱۰^{-۳}$	۰/۳۳
	سال‌های مدلسازی	۱۳۹۸-۱۳۵۶ (۴۳ سال)		مقدار بحرانی t	۲/۰۲			
برق- بخش خانگی و تجاری	متغیر	تقاضای سال قبل	مشترکین خانگی برق	قیمت برق خانگی	لگاریتم ضریب ثابت	۰/۹۹۶۹	۳۸۵۵	۰/۹۳
	کشش تقاضا نسبت به متغیر	۰/۶۹	۰/۵۳	-۰/۰۵	-۳/۷۴	۱/۹۷	(۳/۲۸)	۰/۰۵
	آزمونه‌ی t	۷/۶۲	۳/۳۴	-۲/۱۵	-۳/۱۷	۰/۰۰	$۶/۴\times۱۰^{-۴۲}$	۰/۰۸
	سال‌های مدلسازی	۱۳۹۸-۱۳۶۲ (۳۷ سال)		مقدار بحرانی t	۲/۰۳			
برق- بخش صنعت	متغیر	تقاضای سال قبل	GDP صنعت		لگاریتم ضریب ثابت	۰/۹۹۶۱	۶۳۳۷	--
	کشش تقاضا نسبت به متغیر	۰/۸۲	۰/۱۷		-۱/۵	۲/۰۶	(۴/۰۴)	۰/۰۶
	آزمونه‌ی t	۱۱/۴۷	۲/۱۵		-۱/۹۹	۰/۱۷	$۹/۶\times۱۰^{-۵۸}$	۰/۱۹
	سال‌های مدلسازی	۱۳۹۸-۱۳۴۹ (۵۰ سال)		مقدار بحرانی t	۲/۰۱			

[Downloaded from epprjournal.ir on 2024-04-19]