تحلیل سناریو درباره پتانسیل کاهش گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید برق ایران با استفاده از مدلساز LEAP

محمد صادق کچویی [۱]، مجید عمیدپور [۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۳/۱۰

چکیده:

مسائل زیست‌محیطی بخصوص تغییرات آب‌وهوایی به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر مسأله‌ای جهانی شده است. در ایران، بخش نیروگاهی با سهم ۳۰/۲ درصدی از کل انتشار دی‌اکسیدکربن، بزرگترین بخش منتشر کننده گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی ایران است. روش تحلیل سناریو بر اساس مدل برنامه‌ریزی بلندمدت جایگزین‌های انرژی (LEAP) برای تحلیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید برق ایران استفاده می‌شود. سناریوهای ادامه روند فعلی، افزایش بازده بخش تولید برق، انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و ترکیب سناریو افزایش بازده و انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای، راه‌های مختلف توسعه را که در بخش تولید برق ایران به دلیل سیاست‌های متفاوت ممکن است، ارائه می‌دهد. افق زمانی این شبیه سازی تا سال ۱۴۲۰ و سال پایه آن ۱۳۹۰ است. انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریو ادامه روند فعلی رشد متوسط سالانه ۵/۲ درصد را بین سال‌های ۱۳۹۰ و۱۴۲۰ دارد درحالی‌که تقاضای برق به طور متوسط سالانه در ۶ درصد این دوره رشد می‌کند. در سه سناریو دیگر، سیاست‌های کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای درنظر گرفته می‌شود. بنابراین، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بین سناریوهای ادامه روند فعلی و افزایش بازده بخش تولید برق، انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و سناریو ترکیبی به ترتیب مقدار ۱۹۸۴۳۸، ۲۲۸۸۷۷ و ۳۶۰۸۹۸ هزار تن CO_{2eq} است.

کلمات کلیدی:

تولید برق، سیستم برنامه ریزی بلند مدت انرژی (LEAP)، انتشار گازهای‌گلخانه‌ای، نیروگاه‌ها

۱) کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی sadegh.kachoi@gmail.com
۲) استاد گروه سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی (نویسنده مسئول) amidpour@kntu.ac.ir

مقدمه

انتشار فزاینده و رو به رشد گازهای گلخانه‌ای (بخار آب، دی اکسید کربن، اکسید نیتروژن ، متان ، ازن تروپوسفری و کلرو فلوئور کربن‌ها) در جو زمین یکی از نامطلوب ترین آثار توسعه اقتصادی و استفاده بی رویه از سوخت های فسیلی به شمار می آید. مهم ترین اثر تخریبی پدیده گلخانه ای افزایش دمای کره زمین است . مدل‌های آب و هوایی پیش بینی می‌کنند که تا سال ۲۱۰۰ دمای زمین از ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت که این مقدار بیشتر از تغییرات دمایی ۱۰ هزار سال گذشته خواهد بود [۴]. از میان گازهای گلخانه‌ای، غلظت‌های اتمسفری دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن به نحو قابل ملاحظه‌ای تغییر یافته است به طوری که به ترتیب تا حدود ۳۰، ۱۴۵ و ۱۵ درصد افزایش از خود نشان می‌دهند [۷].

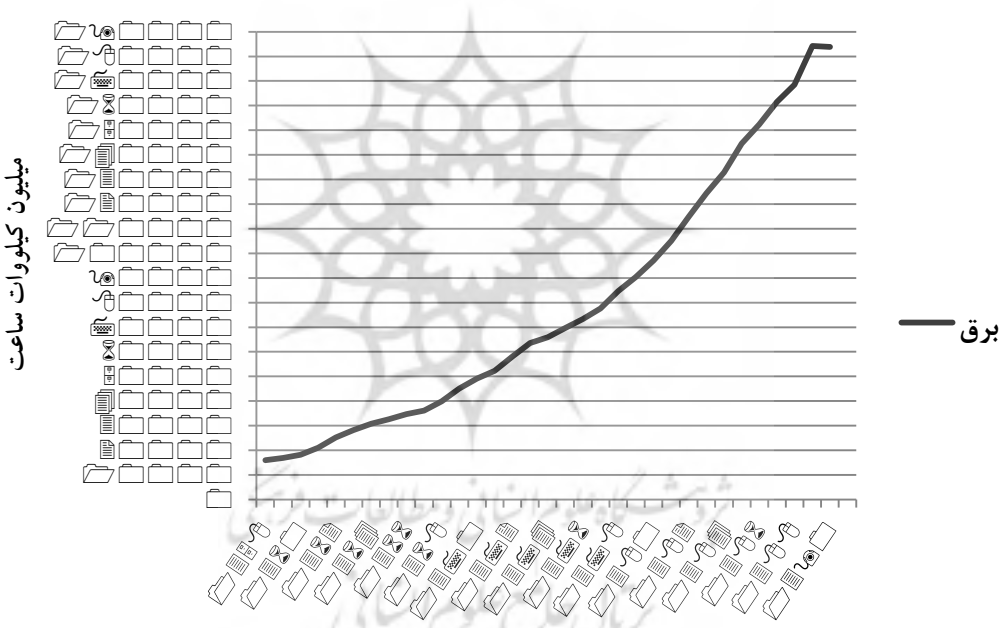
ایران دارای منابع عظیم نفت، گاز و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد و انرژی عامل ضروری برای توسعه اقتصادی و اجتماعی و موتور محرکه اقتصاد و تولید ملی است. همچنین رابطه بسیار قوی بین مصرف برق و رشد اقتصادی وجود دارد. بخش نیروگاهی ایران با بیش از ۶۵ هزارمگاوات ظرفیت نصب شده در سال ۱۳۹۰ در بین کشورهای جهان در رده چهاردهم قرار دارد این در حالی است که با تولید ۲۴۰ میلیاردکیلووات ساعت برق در بین کشورهای جهان در رده‌ی هیجدهم جای گرفته است که نشاندهنده بهره‌وری کم نیروگاه‌های کشور است. همچنین بخش تولید برق کشور وابستگی شدیدی به سوخت‌های فسیلی دارد و بیش از ۹۴ درصد از تقاضای ۱۸۴ میلیاردکیلووات ساعتی برق به وسیله نیروگاه‌های فسیلی تامین می‌شود [۱]. با ادامه این روند و افزایش تقاضا در سال‌های آینده، استفاده از سوخت‌های فسیلی در بخش نیروگاهی کشور افزایش می یابد و در نتیجه، روند تهی شدن منابع فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای سرعت یافته و توسعه پایدار کشور را در آینده با مخاطرات جدی روبرو می‌گرداند. رتبه ایران در انتشار دی اکسید کربن ناشی از احتراق سوخت در سالهای اخیر در دنیا از ۱۸ در سال ۱۹۹۶ به دهم در سال ۲۰۰۷ و نهم در سال ۲۰۱۲ رسیده است که این خود از دلایل نزول شاخص عملکرد تغییرات آب و هوایی کشور می‌باشد [۱۴]. بنابراین، ایران برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و انطباق با برنامه‌های تغییرات آب و هوای جهانی تحت فشار است. یکی از رویکردهای مهم در کاهش گازهای گلخانه‌ای جهانی، استفاده از سیاست‌های کاهش انتشار در بخش‌های مختلف است. از این‌رو، ایران سیاست‌های مختلفی برای افزایش سهم منابع تجدیدپذیر برای تولید برق اتخاذ کرده است.

هدف این مطالعه، اندازه‌گیری پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید برق ایران است که با سهم ۳۰/۲ درصدی از کل انتشار دی‌اکسیدکربن، بزرگترین بخش منتشر کننده گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی کشور به حساب می‌آید. برای رسیدن به این هدف ابتدا تقاضای برق تخمین زده‌می‌شود و سپس سناریوهای تولید برق طراحی می‌شود. در این مطالعه با استفاده از مدل سیستم برنامه‌ریزی بلند مدت جایگزین های انرژی (LEAP) و با رویکرد پایین

به بالا، بخش عرضه برق شبیه سازی شده و چهار سناریو با فرضیات مخصوص برای پیش‌بینی آینده توسعه داده می‌شود. این سناریوها شامل سناریو ادامه روند فعلی، افزایش بازده بخش تولید برق، تولید برق با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای و ترکیب سناریو افزایش بازده و انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای می‌شود. افق زمانی این مطالعه از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۲۰ است.

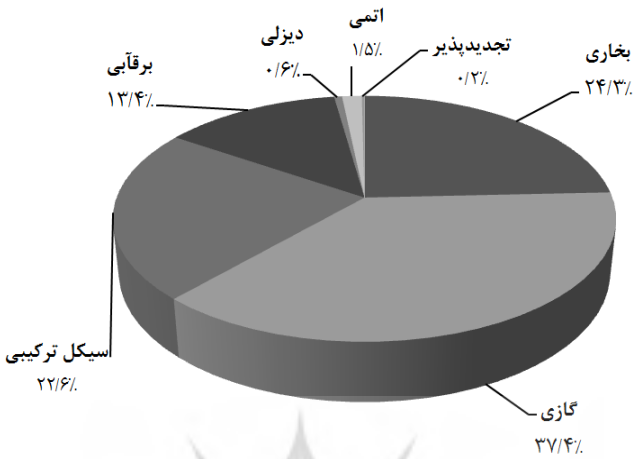
ساختار برق ایران

کل مصرف برق در سال ۱۳۹۰، ۱۸۳۹۰۵ گیگاوات ساعت بوده که نسب به سال ۱۳۸۴ (سال ابتدای برنامه چهارم توسعه) ۳۹/۵ درصد رشد داشته است. شکل (۱)مصرف برق را از سال ۱۳۵۸ تا سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد.



شکل ۱) مصرف برق در ایران از سال ۱۳۵۸- ۱۳۹۰ [۱]

ظرفیت اسمی نیروگاه‌های برق کشور در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۶۵۲۱۷/۲ مگاوات بوده است. در این سال، از مجموع ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های کشور، ظرفیت نیروگاه های بخاری ۱۵۸۲۱ مگاوات، نیروگاه های گازی ۲۴۳۴۲ مگاوات، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی ۱۴۷۸۰ مگاوات، نیروگاه‌های آبی ۸۷۴۵ مگاوات، نیروگاه‌های دیزلی ۳۹۱/۳ مگاوات و نیروگاه‌های بادی، خورشیدی، اتمی و بیوگاز نیز در مجموع ۱۱۰۸/۷ مگاوات بوده است (شکل ۲). در راستای سیاست های انرژی کشور مبنی بر بکارگیری هرچه بیشتر نیروگاه های گازی و سیکل ترکیبی، سهم این نیروگاه ها در مجموع به ۶۰ درصد رسیده است. همچنین پیش‌بینی برای احداث ظرفیت‌های جدید در جدول (۱) آمده‌است.



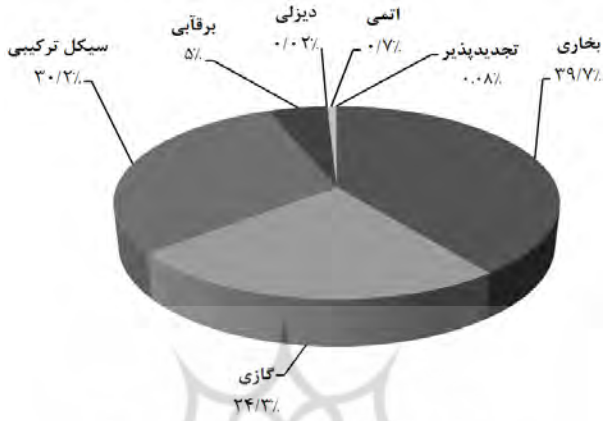
شکل ۲) سهم نیروگاه‌های مختلف کشور از کل ظرفیت به بهره‌برداری رسیده تا پایان سال ۱۳۹۰ [۲]

جدول ۱) پیش بینی روند بهره برداری از ظرفیت های جدید نیروگاهی [۱]

فناوری	سال بهره برداری	ظرفیت (مگاوات)
بخاری	۱۳۹۱-۱۳۹۴	۱۹۴۰
دیزلی	۱۳۹۱	۳۰
با سوخت زغال سنگ	۱۳۹۱-۱۳۹۴	۶۵۰
گازی	۱۳۹۱-۱۳۹۲	۱۵۰
سیکل ترکیبی	۱۳۹۱-۱۳۹۴	۱۱۶۴۵
زباله سوز	۱۳۹۱-۱۳۹۴	۱۶
برقابی	۱۳۹۱-۱۳۹۴	۳۳۳۳
زمین گرمایی	۱۳۹۱-۱۳۹۴	۵۵
بادی ساحلی	۱۳۹۱-۱۳۹۴	۱۶
بیوگاز (CHP)	۱۳۹۱	۱۷/۲

تولید برق عمدتا تابعی از مصرف مشترکین مختلف است. بنابراین، تولید برق بایستی با توجه به نیاز مصرف برق مشترکین و میزان تلفات شبکه‌های انتقال و توزیع و مصارف داخلی صورت گیرد. تولید انرژی الکتریکی نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۹۰ به ۲۴۰۰۶۳/۲ گیگاوات ساعت رسید که نسبت به سال قبل از آن حدود ۳/۱ درصد رشد داشته است. با توجه به اقلیم و شرایط آب و هوایی در ایران، تولید برق در کشور عمدتا توسط نیروگاه‌های حرارتی صورت می‌گیرد به

طوری که در سال مورد بررسی ۹۴/۷ درصد از کل برق تولیدی کشور توسط نیروگاههای حرارتی، ۵/۰ درصد توسط نیروگاه‌های آبی و ۰/۳ درصد توسط نیروگاه‌های تجدیدپذیر و اتمی تأمین شده است (شکل ۳).



شکل ۳) سهم نیروگاه های مختلف کشور از کل تولید برق در پایان سال ۱۳۹۰[۲]

ترکیب سوخت نیروگاه‌های فسیلی

در پایان سال ۱۳۹۰، در کل صنعت برق کشور ۳۸۹۰۱ میلیون مترمکعب گازطبیعی، ۱۲۰۱۹ میلیون لیتر نفت کوره و ۹۴۰۶ میلیون لیتر نفت گاز مورد استفاده قرار گرفته است. گازطبیعی با ۶۳/۳ درصد عمده ترین سهم را در سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور به خود اختصاص داده است. در شرایط کمبود گازطبیعی در ماههای سرد سال، نیروگاه‌ها به ناچار از سوختهای جایگزین یعنی نفت گاز برای نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی و نفت کوره برای نیروگاه‌های بخاری استفاده می‌نمایند. جدول (۲) سبد سوخت نیروگاه‌های کشور را در سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد.

جدول ۲) ترکیب مصرف سوخت نیروگاه های فسیلی کشور در سال ۱۳۹۰ [۳]

سال	نوع سوخت/ نیروگاه	بخاری	گازی	سیکل ترکیبی
۱۳۹۰	گاز طبیعی (میلیون متر مکعب)	۱۲۶۹۷	۱۳۸۳۴	۱۲۳۷۰
	گازوییل (میلیون لیتر)	۱۶۲	۵۲۲۵	۴۰۰۱
	نفت کوره (میلیون لیتر)	۱۲۰۱۹	–	–

۲-۲-انتشار CO_2

در حال حاضر، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های اتمسفر، هدف مهم سیاست‌های انرژی و زیست محیطی جهان را تشکیل می‌دهد. عوامل بسیاری مانند عوامل اقتصادی، جمعیتی، تغییرات فناورانه، شیوه زندگی و تجارت بین‌المللی انتشار CO_2 را تحت تأثیر قرار می دهند. براساس گزارش شاخص توسعه انسانی[1] سال ۲۰۱۱، سرانه انتشار گاز

1) Human Development Index

دی‌اکسیدکربن یک شهروند در جهان، ۴/۶ متریک تن[1] و میزان رشد انتشار این گاز طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۷، ۳۶ درصد است این در حالی است که آمار مربوط به ایران وضعیت نگران کننده‌تری را نشان می‌دهد. آمار نشاندهنده سرانه انتشار بالا و همچنین رشد فزاینده انتشار این گاز است. سرانه انتشار دی اکسید کربن یک شهروند در ایران ۷ متریک تن است و رشد انتشار CO_2 در ایران طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۷ مقدار ۱۱۸/۳ درصد بوده است [۱۱].

در سال ۱۳۹۰ ، بخش نیروگاهی ایران با سهمی حدود ۳۰/۲ درصد از انتشار دی‌اکسیدکربن، بیشترین سهم انتشار دی اکسید کربن را دربخش انرژی کشور داشته است. انتشار CO_2 از بخش نیروگاهی ایران در دهه گذشته میانگین رشدی برابر با ۹/۳ درصد را نشان می‌دهد. در بخش نیروگاهی، بیشترین سهم از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به نیروگاه‌های بخاری با ۵۴/۷ درصد است و بعد از آن، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و گازی به ترتیب با ۲۵/۹ و ۱۹/۳ درصد قرار دارند [۲]. با توجه به فزونی انتشار CO_2 ناشی از سوخت‌های فسیلی در بخش نیروگاهی و روند فزاینده استفاده از این سوخت‌ها در تولید برق کشور، این مقاله به تحلیل ظرفیت‌های موجود در بخش نیروگاهی کشور برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌پردازد.

روش شناسی

مدل LEAP

LEAP [2] ابزار مدل سازی جامع انرژی-اقتصاد-محیط زیست براساس سناریوهاست که توسط انستیتوی محیط زیست استکهلم، بوستون[3] (SEI-B) توسعه داده شده است و به عنوان ابزار تجزیه و تحلیل سیاست های انرژی، تاثیرات فیزیکی، اقتصادی و زیست محیطی، برنامه‌های انرژی جایگزین، سرمایه‌گذاری و اقدامات بهینه‌سازی را به دست می دهد [۱۶].

مدلساز LEAP برای محاسبه تاثیرات زیست محیطی و پتانسیل انتشارات آلاینده‌ها، بانک اطلاعات زیست محیطی و فناوری (TED) [4] را داراست که از مراجعی همچون هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوای سازمان ملل[5] ، سازمان اطلاعات انرژی آمریکا ، آژانس بین‌المللی انرژی استفاده می‌کند. رویکرد مدل‌سازی برای تولید برق از پایین به بالا و با در نظر گرفتن تمام مشخصه های فنی- اقتصادی و زیست محیطی است.

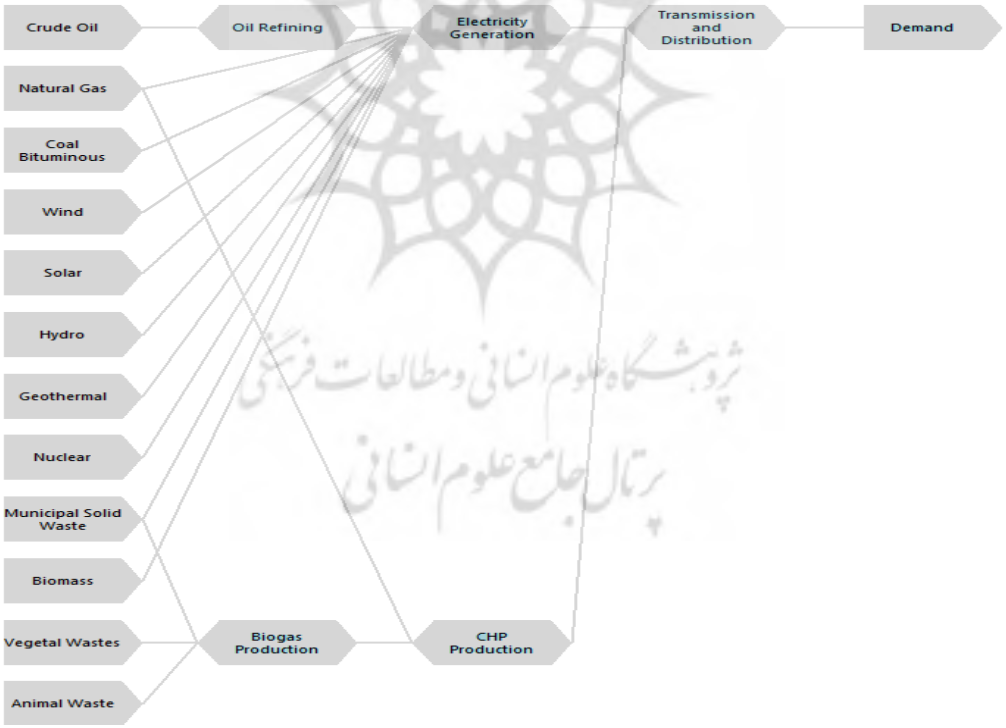
LEAP به طور گسترده در بیش از ۱۵۰ کشور استفاده می‌شود. نتایج استفاده از LEAP نیز در نواحی مختلف

1) Metric Tones
2) Long-range Energy Alternatives Planning System
3) Stockholm Environment Institute-Boston
4) The Technology and Environmental Database
5) Intergovernmental Panel on Climate Change

جهان منتشر شده است که از جمله می‌توان کارهایی در کالیفرنیا [۱۲]، ونزوئلا [۸]، کره [۱۵]، بانکوک [۱۷]، تایلند [۱۹]، چین [۹]، تایوان [۱۳] ، لبنان [۱۰] و پاکستان [۱۸] اشاره کرد. هرکدام از این تحلیل‌ها از مدل LEAP به عنوان ابزار مدیریت سناریو و برای محاسبات اصلی از روش‌های متفاوت استفاده می‌کنند. در این مطالعه، از مدل برنامه ریزی بلند مدت جایگزین های انرژی (LEAP) برای محاسبه پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای مختلف در بخش تولید برق ایران استفاده می‌شود.

چارچوب مدل LEAP

LEAP ابزار مدل‌سازی یکپارچه‌ای است که می‌تواند توالی مصرف انرژی، تولید و استخراج منابع را در تمام بخش‌های سیستم انرژی نشان دهد. از این رو، ماژول‌های مختلف فرضیات اصلی، تقاضا[1]، تبدیل[2] و منابع[3] در آن تعبیه شده است. بنابراین، برای نشان دادن مدل مفهومی در این مطالعه، نمودار مرجع سیستم تولید برق ایران در مدلساز LEAP به صورت شکل (۴) ترسیم می‌شود.



شکل ٤) نمودار مرجع سیستم تولید برق ایران

1) demand
2) transformation
3) resources

مجموعه داده‌ها و فرضیات اصلی LEAP

تقاضای برق

تقاضای برق در دهه‌های گذشته در بین انواع حامل‌های انرژی به دلیل انعطاف‌پذیری در تبدیل انواع انرژی روند فزاینده‌ای داشته است. همچنین تقاضای برق طی این دوره بمراتب بالاتر از رشد عرضه انرژی اولیه، رشد جمعیت و رشد تولید ناخالص داخلی بوده است. جدول (۳) نشاندهنده رشد تقاضای برق از سال ۱۳۵۸ است.

جدول ۳) رشد سالانه تقاضای برق طی ۳۲ سال گذشته [۱]

دوره زمانی	درصد رشد تقاضای برق
۱۳۵۸–۱۳۶۷	۹/۸
۱۳۶۷–۱۳۷۳	۹/۹
۱۳۷۳–۱۳۷۸	۵/۹
۱۳۷۸–۱۳۸۳	۸/۰
۱۳۸۳–۱۳۹۰	۶/۷

تقاضای کل برق در بخش‌های مختلف مصرفی در سال ۱۳۹۰ برابر ۱۸۳۹۰۵ گیگاوات ساعت بوده است. با توجه به پیش‌بینی دفتر برنامه‌ریزی و نظارت بر توسعه شبکه شرکت مدیریت شبکه برق ایران، نیاز مصرف در شبکه سراسری تا سال ۱۳۹۵ سالانه حدود ۸ درصد رشد خواهد داشت [۶] ولی انتظار می‌رود به دلیل اعمال مدیریت مصرف انرژی، اصلاح الگوی مصرف، افزایش بازدهی وسایل مصرفی، واقعی شدن قیمت برق و تکمیل پروژه‌های برق رسانی به مناطق بدون برق، بتدریج از شدت رشد مصرف برق در کشور کاسته شود. بنابراین، رشد مصرف برق در این مطالعه تا سال ۱۴۲۰ مطابق جدول (۴) فرض می‌شود. در نتیجه، تقاضا در ۳۰ سال آینده به ۱۰۵۴۲۶۷ گیگاوات ساعت می‌رسد.

جدول ٤) رشد سالانه تقاضای برق طی ۳۰ سال آینده

دوره زمانی	درصد رشد تقاضای برق
۱۳۹۰–۱۳۹۵	۸/۰
۱۳۹۵–۱۴۰۰	۷/۰
۱۴۰۰–۱۴۰۵	۶/۰
۱۴۰۵–۱۴۱۰	۵/۵
۱۴۱۰–۱۴۱۵	۵/۰
۱۴۱۵–۱۴۲۰	۴/۵

پارامترهای زیست محیطی (انتشار گازهای گلخانه‌ای)

یکی از اصلی ترین مزیت های مدلساز LEAP ، بانک اطلاعات زیست محیطی و فناوری (TED) آن است که شامل اطلاعات گسترده‌ای از ویژگی های فنی، هزینه‌ها و تاثیرات زیست محیطی دامنه‌ای از فناوری‌ها می‌شود. بانک اطلاعات زیست محیطی و فناوری تقریبا شامل ۱۰۰۰ فناوری شده و از منابع بسیاری همچون هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوای سازمان ملل (IPCC)، سازمان انرژی آمریکا و آژانس بین المللی انرژی استفاده می‌کند. همچنین پتانسیل گرمایش جهانی برای ۱۰۰ سال با استفاده از داده‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای مخصوص به فناوری‌ها به وسیله این بانک اطلاعاتی قابل محاسبه است که برای این کار از پارامترهای بار زیست محیطی IPCC کمک گرفته می‌شود.

منحنی بار سیستم

در بخش تعیین بار، سیستم با مجموعه‌ای از داده‌های مبین تغییرات بار تولید برق در فصول مختلف و ساعات روز باید تغذیه شود. تغییرات بار الکتریکی تعیین می‌کند که چه نوع نیروگاه‌هایی باید در بار پایه، بار میانی و یا بار پیک ساخته شود و یا به بهره‌برداری رسد. در سال ۱۳۹۰ ضریب بار تولیدی برق کشور (نسبت کل انرژی تولیدی طی یک دوره مشخص (عموما یک دوره یک ساله) به حاصلضرب پیک بار سیستم و طول زمان دوره مربوطه به ساعت (عموما ۸۷۶۰ ساعت) به ۶۴/۹ درصد رسید که نسبت به سال گذشته ۵/۱ درصد کاهش نشان می‌دهد این در حالی است که این روند در سال ۱۳۸۹ مثبت بوده و ۲/۱ درصد رشد داشته است. همچنین ضریب بار مطلوب ۷۵ درصد در نظر گرفته می‌شود که بتدریج در پایان افق زمانی این مطالعه به آن می‌رسیم [۲].

تلفات توزیع و انتقال

بخشی از انرژی برق تولید شده، در شبکه‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع عمدتا به صورت گرما تلف شده است. سهم تلفات شبکه انتقال و فوق توزیع و توزیع در سال ۱۳۹۰ ، ۱۸/۴۳ درصد از کل انرژی تولید و خریداری شده در سطح ولتاژ انتقال و فوق توزیع و توزیع می‌باشد. بر اساس تبصره (ج) ماده (۱) قانون هدفمندی یارانه‌ها، تلفات شبکه‌های انتقال و توزیع باید کاهش یابد و به سطح ۱۴ درصد در پایان برنامه پنجم توسعه برسد [۱].

طراحی سناریو

برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو، رویکردی مفید برای طراحی و برنامه‌ریزی در بخش برق برای فایق آمدن بر نااطمینانی‌های موجود در آینده است [۵]. به دلیل افزایش رشد اقتصادی و تقاضای برق، پتانسیل کاهش گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید برق ایران نیاز به بررسی در سناریوهای متفاوت دارد. در این مطالعه، چهار سناریو براساس ادامه روند فعلی، افزایش بازده بخش تولید برق، انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و ترکیب سناریو افزایش بازده و انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای طراحی می‌شود. هر یک از سناریوها راه‌های توسعه‌ای مختلف را نشان می‌دهد که در بخش تولید برق ایران به دلیل

سیاست‌های متفاوت می‌تواند محتمل باشد. افق زمانی برای تحلیل سناریوها از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۲۰ با در نظر گرفتن سال پایه ۱۳۹۰ است. سناریو ادامه روند کنونی، سیاست‌های تاثیرگذاری که کمک شگرفی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کند را در نظر نمی‌گیرد اما در سه سناریو دیگر، امنیت انرژی، سیاست‌های تغییرات آب وهوا و نگرانی‌های زیست‌محیطی و کاهش CO_2 توسط سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در نظر گرفته می‌شود. با مقایسه این سناریوها، ذخیره انرژی و پتانسیل کاهش CO_2 در بخش تولید برق ایران قابل تعیین است.

سناریو ادامه روند فعلی

در این سناریو، به روند دهه‌های گذشته تولید برق به وسیله فناوری‌های مختلف توجه شده و ادامه این روند مورد نظر است. لذا در این سناریو، احداث نیروگاه‌های برقابی ادامه پیدا می‌کند. همچنین در سال‌های اخیر با توجه به مسائل زیست محیطی، سرعت نصب نیروگاه‌های بخاری کاهش یافته است که ادامه این روند را در این سناریو در نظر می‌گیریم ولی احداث نیروگاه های سیکل ترکیبی و بعد از آن گازی با رشد خوبی همراه بوده و ادامه پیدا می‌کند. همچنین در نظر می‌گیریم که نصف نیروگاه‌های گازی موجود به سیکل ترکیبی تبدیل شود. در سال های اخیر، انرژی‌های تجدیدپذیر بخصوص نیروگاه‌های بادی ساحلی و فتوولتاییک نسبت به سایر فناوری‌های تجدیدپذیر رشد بیشتری داشته‌اند. تولید برق از دیگر نیروگاه‌ها در همان سطح سال پایه باقی مانده و ظرفیت‌های در حال احداث در سال مورد انتظار وارد مدار تولید می‌شوند. همچنین ترکیب مصرف سوخت در نیروگاه‌های فسیلی، تلفات انتقال و توزیع و بازده نیروگاه‌ها همانند سال پایه باقی می ماند.

سناریو افزایش بازده بخش تولید برق

در این سناریو، افزایش ظرفیت و تولید برق مانند سناریو ادامه روند فعلی ادامه پیدا می‌کند با این تفاوت که راهکارهای افزایش بازده و نصب نیروگاه‌ها با راندمان بالا در اولویت قرار می‌گیرد. بنابراین، در افق زمانی مورد مطالعه، راندمان تمام نیروگاه‌های کشور به راندمان‌های بهینه جهانی می‌رسد و تمام نیروگاه‌های جدید با راندمان بهینه نصب می‌شوند. همچنین تمام نیروگاه‌های گازی قدیمی به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی که از بازده بالاتری برخوردار هستند، تبدیل می‌شوند. در این سناریو، تلفات انتقال و توزیع نیز کاهش یافته و به ۱۴ درصد می‌رسد. تمام سوخت نیروگاه های گازی و سیکل ترکیبی کشور تا سال ۱۴۰۴ در تمام فصول گاز طبیعی شده و در نیروگاه های بخاری نیز نفت کوره جای خود را به گاز طبیعی می دهد.

سناریو انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای

در این سناریو، مسائل زیست محیطی و پیمان های بین المللی زیست محیطی مانند پیمان کیوتو مورد توجه قرار می‌گیرد. ایران دارای منابع غنی و متنوع انرژی‌های تجدیدپذیر است. سازگاری با محیط زیست، پایان ناپذیری، رایگان

بودن انرژی اولیه و ایجاد تنوع در سبد انرژی کشور از مهمترین مزایای توسعه تولید برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر است لیکن استفاده از این منابع مشکلاتی نیز در پی دارد. بالا بودن سرمایه‌گذاری اولیه، عدم امکان دسترسی دائمی به منابع و در نتیجه، کاهش قابلیت اطمینان و چگالی پایین اینگونه انرژی ها از جمله معایب منابع تجدیدپذیر است. بنابراین، فرض می‌شود کشور از تمام ظرفیت برقابی خود استفاده کند و همچنین ۱۰۰۰۰ مگاوات برق هسته‌ای در پایان افق زمانی به انجام رسد. فناوری‌های بادی، فتوولتاییک، خورشیدی حرارتی، زباله سوز در اولویت قرار گرفته و نیروگاه‌های زمین گرمایی و بیوگاز به صورت محدودتر استفاده می‌شود. بیشتر نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی تبدیل می‌شوند. تولید برق از دیگر نیروگاه‌ها در همان سطح سال پایه باقی مانده و ظرفیت‌های در حال احداث در سال مورد انتظار وارد مدار تولید می‌شوند. ترکیب مصرف سوخت در نیروگاه های فسیلی، تلفات انتقال و توزیع و بازده نیروگاه‌ها همانند سال پایه باقی می ماند.

سناریو ترکیبی انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و افزایش بازده

این سناریو از ترکیب داخلی دو سناریو انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و سناریو افزایش بازده بخش تولید برق در LEAP ایجاد می‌شود.

نتایج

تولید برق نیروگاه‌ها در افق زمانی مورد مطالعه

همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، نیروگاه‌های سوخت فسیلی همانند سال پایه (۱۳۹۰) وظیفه اصلی تولید برق را در سناریوهای ادامه روند فعلی و افزایش بازده، حفظ می‌کنند، با این تفاوت که سهم نیروگاه‌های بخاری از مجموع تولید کاهش یافته و سهم نیروگاه‌های سیکل ترکیبی افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند. همچنین در سناریو، افزایش بازده به دلیل کاهش تلفات انتقال و توزیع به تولید برق کمتری برای پاسخگویی به تقاضای برق نیاز است. در سناریو انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای از ۵ درصد در سال ۱۳۹۰ به ۳۸ درصد در سال ۱۴۲۰ می‌رسد که نیروگاه‌های بادی، خورشیدی حرارتی، برقابی، هسته‌ای و فتوولتاییک به ترتیب بیشترین سهم را دارند. در سناریو ترکیبی نیز علاوه بر افزایش سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای، تلفات سیستم انتقال و توزیع هم کاهش می‌یابد.

جدول ۵) مقدار تولید برق در نیروگاه‌های مختلف در افق زمانی مورد مطالعه

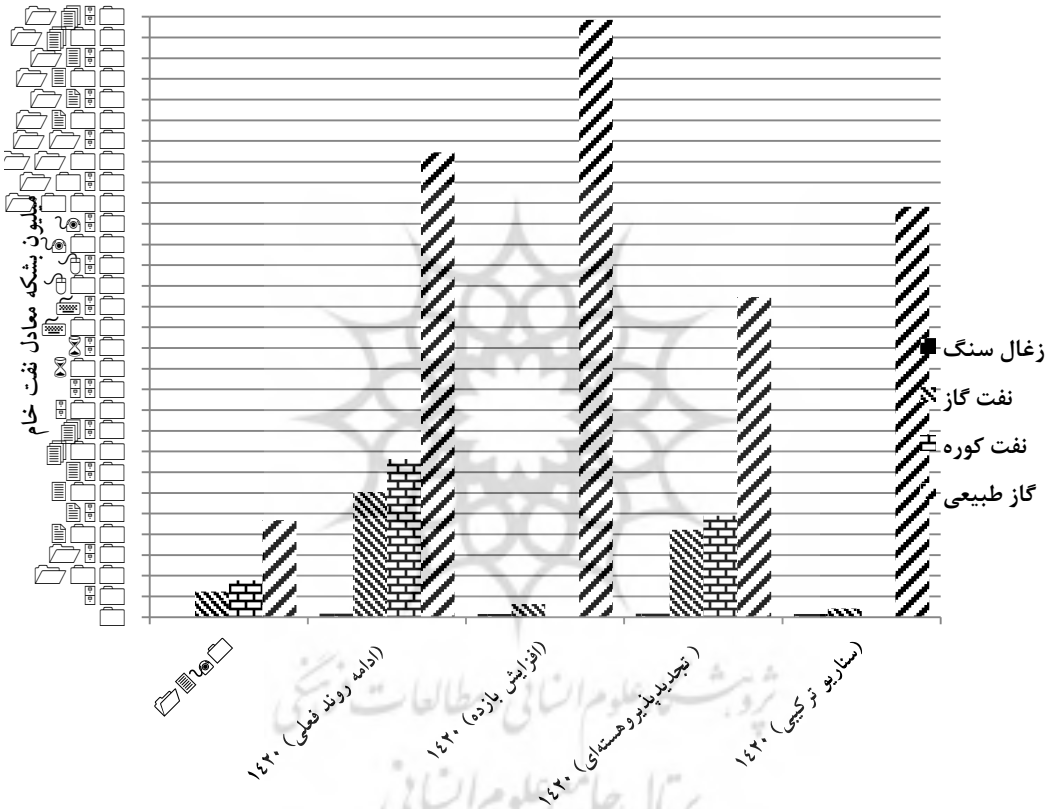
نیروگاه/ تولید برق (میلیون کیلووات ساعت)	سال پایه ۱۳۹۰	سال ۱۴۲۰			
		سناریو ادامه روند فعلی	سناریو افزایش بازده	سناریو انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای	سناریو ترکیبی
هسته‌ای	۳۵۹	۷۵۹۵	۷۵۹۵	۷۴۴۶۰	۷۴۴۶۰
زغال سنگی	–	۴۸۴۰	۴۸۴۰	۴۸۴۰	۴۸۴۰
بخاری با فرآورده‌های نفتی	۹۵۹۰۱	۴۱۴۹۶۱	۳۹۷۸۸۰	۲۶۶۴۸۰	۲۵۵۰۴۸
دیزلی	۶۱/۷	۳۱۶/۵	۲۹۷/۱	۳۸۱/۲	۳۷۸/۵
سیکل ترکیبی	۷۲۷۵۰	۷۲۷۲۳۰	۷۱۷۳۹۵	۴۲۱۱۰۱	۴۴۱۰۹۰
توربین گازی	۵۸۷۱۷	۵۳۵۶۰	۲۸۰۴۹	۹۸۵۹۳	۶۷۴۲۳
زباله سوز	–	۱۱۹/۱	۱۱۹/۱	۱۱۹/۱	۱۱۹/۱
بیوگاز	۵/۹	۹/۱	۶/۷	۳۵/۲	۳۲/۵
زمین گرمایی	–	۴۰۹/۵	۴۰۹/۵	۴۰۹/۵	۴۰۹/۵
برقابی	۱۲۰۵۹	۶۵۶۱۵	۶۱۵۸۰	۷۹۰۱۸	۷۸۴۶۶
خورشیدی حرارتی	–	–	–	۸۹۰۹۰	۸۱۷۱۷
فتوولتاییک	۰/۱	۲۷۴۳	۱۹۱۴	۶۶۶۳۲	۵۶۷۴۳
بادی	۲۰۹/۲	۸۲۹۴	۵۸۰۹	۱۶۳۳۶۷	۱۳۹۱۳۰

میزان مصرف سوخت‌های فسیلی در سناریوهای مورد مطالعه

با توجه افزایش رشد اقتصادی کشور، مصرف برق نیز در آینده افزایش خواهد یافت. بنابراین، استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تامین تقاضای برق رشد محسوسی پیدا خواهد کرد. در سناریو ادامه روند فعلی، مصرف سوخت‌های فسیلی از مجموع ۳۸۴/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال پایه (۱۳۹۰) به ۱۸۰۶/۱ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۴۲۰ می‌رسد که از این مقدار، سهم سوخت‌های زغال‌سنگ، نفت‌گاز، نفت‌کوره و گازطبیعی به ترتیب ۷/۹، ۳۰۲، ۳۸۱/۹، ۱۱۲۲/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام است. در سناریو افزایش بازده بخش تولید برق، مجموع مصرف سوخت‌های فسیلی به ۱۴۸۱ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۴۲۰ می‌رسد که کاهش ۱۸ درصد نسبت به سناریو ادامه روند فعلی به دلیل افزایش راندمان نیروگاه‌ها و کاهش تلفات را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، به دلیل اجرای سیاست‌های کاهش انتشار آلاینده‌ها در این سناریو، گاز طبیعی به صورت کامل جایگزین نفت‌کوره در نیروگاه‌های بخاری می‌شود. مجموع مصرف سوخت‌های فسیلی در سال ۱۴۲۰ در سناریو انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای به ۱۲۳۷/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام به دلیل استفاده از نیروگاه‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای می‌رسد. این مقدار در سناریو ترکیبی، ۱۰۱۸/۷ میلیون بشکه معادل نفت خام است که کاهش ۴۳ درصد نسبت به سناریو ادامه روند فعلی را نشان می‌دهد.

انتشار گازهای گلخانه‌ای به تفکیک نیروگاه‌ها در سناریوهای مورد مطالعه

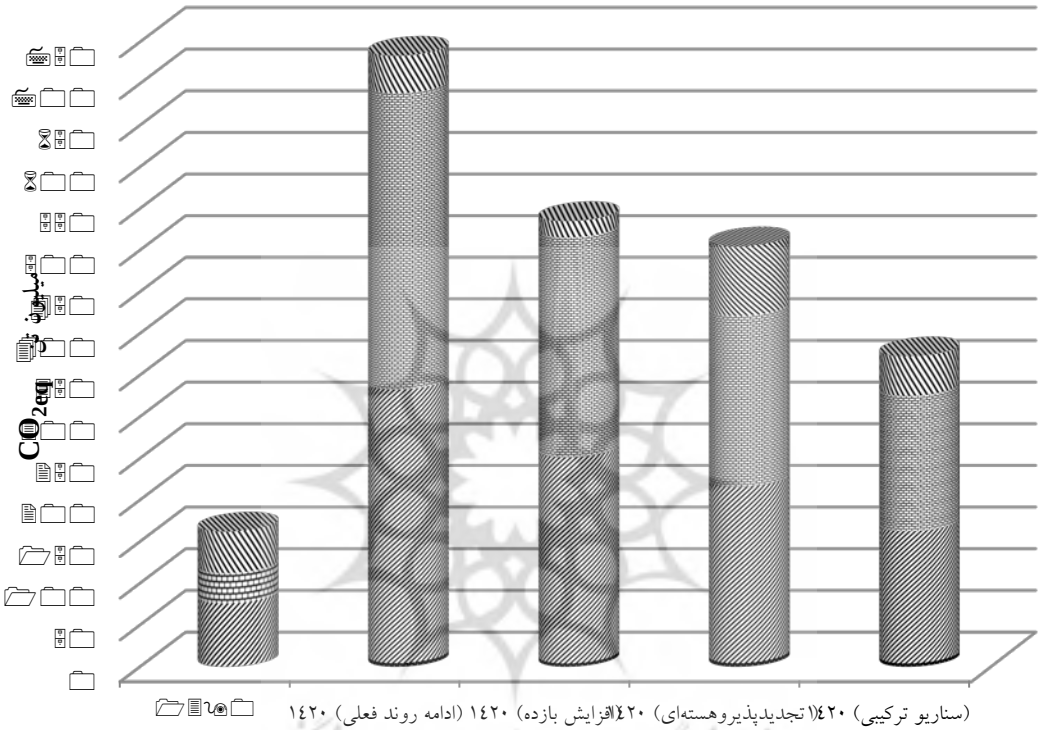
انتشار گازهای گلخانه‌ای متناسب با افزایش تقاضای برق و مصرف سوخت‌های فسیلی افزایش پیدا می‌کند. مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال ۱۳۹۰، ۱۶۱۹۷۶ هزار تن CO_{2eq} برآورد شده است (شکل ۶) و پیش‌بینی می‌شود که در سناریو ادامه روند فعلی، این مقدار با رشد ۵/۲ درصدی سالانه به ۷۳۳۴۶۹ هزار تن CO_{2eq} در سال ۱۴۲۰ برسد.



شکل ۵) میزان مصرف سوخت‌های فسیلی در سناریوهای مورد مطالعه

با توجه سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای افزایش بازده، انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و سناریو ترکیبی، انتظار می رود به ترتیب مقدار ۱۹۸۴۳۸، ۲۲۸۸۷۷ و ۳۶۰۸۹۸ هزار تن CO_{2eq} از انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به سناریو ادامه روند فعلی تا پایان سال ۱۴۲۰ کاهش یابد. مطابق شکل، در تمام سناریوها همانند سال پایه بیش از ۵۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای متعلق به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و گازی است و مابقی آن مربوط به نیروگاه‌های بخاری می‌شود و سهم نیروگاه‌های زغال سنگی از مجموع انتشارات ناچیز است. همچنین براساس جدول (۶)، سوخت گاز طبیعی عامل بیش از ۵۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای ادامه روند فعلی و تجدیدپذیر و هسته‌ای و

همچنین عامل بیش از ۹۵ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریو افزایش بازده و سناریو ترکیبی است. البته استفاده بیشتر از سوخت گاز طبیعی نیز عاملی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای در این سناریوهاست.



توربین گازی ◣ سیکل ترکیبی ⊞ نیروگاه دیزلی 〓 نیروگاه بخاری ◢ نیروگاه زغال سنگی ■

شکل ٦) انتشار گازهای گلخانه‌ای به تفکیک نیروگاه‌ها در سناریوهای مورد مطالعه

جدول ٦) انتشار گازهای گلخانه‌ای به تفکیک نوع سوخت در سناریوهای مورد مطالعه

سوخت/ انتشار گازهای گلخانه‌ای (هزار تن CO_{2eq})	سال پایه ۱۳۹۰	سال ۱٤۲۰			
		سناریو ادامه روند فعلی	سناریو افزایش بازده	سناریو تجدیدپذیر و هسته‌ای	سناریو ترکیبی
زغال سنگ	۰	۴۲۶۳	۴۰۵۰	۴۲۶۳	۴۰۵۰
نفت گاز	۲۷۴۸۹	۱۳۴۳۴۲	۱۳۹۴۲	۹۳۸۱۹	۹۰۹۱
نفت کوره	۴۶۷۱۳	۲۰۲۱۲۷	–	۱۲۹۸۰۲	–
گاز طبیعی	۸۷۷۷۴	۳۹۲۷۳۳	۵۱۷۰۳۵	۲۷۶۷۰۴	۳۵۹۴۲۶
مجموع	۱۶۱۹۷۶	۷۳۳۴۶۵	۵۳۵۰۲۷	۵۰۴۵۸۸	۳۷۲۵۶۷

نتیجه گیری

در این مقاله، انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل کاهش آنها در بخش تولید برق ایران در سناریوهای مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. از این رو، چهار سناریو ادامه روند فعلی، افزایش بازده تولید برق، انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و ترکیبی از سناریو افزایش بازده تولید برق و انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای طراحی شد. در بخش تقاضای برق با توجه به پیش‌بینی‌های صورت گرفته، رشد متوسط ۶ درصد برای افزایش تقاضای برق در نظرگرفته شد تا مقدار ۱۰۵۴۲۶۷ گیگاوات ساعت در سال ۱۴۲۰ برای آن برآورد شود. در بخش عرضه برق، مقدار برق تولیدی و گازهای گلخانه‌ای در نیروگاه‌های مختلف مورد پیش‌بینی قرار گرفت. در سناریوهای ادامه روند فعلی و افزایش بازده، سهم نیروگاه‌ها از تولید برق تقریبا مانند سال پایه باقی ماند. مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریو افزایش بازده بخش تولید برق با شدت کمتری نسبت به سناریو ادامه روند فعلی ادامه یافت و رشد متوسط ۴ درصدی را نتیجه داد. در سناریو انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و سناریو ترکیبی علاوه بر تنوع بیشتر نیروگاه‌ها و بالا رفتن سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای از تولید، پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز بیشتر شد. نتایج رشد متوسط ۳/۸ درصدی را در سناریو انرژی تجدیدپذیر و هسته‌ای و ۲/۸ درصدی را در سناریو ترکیبی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهند. مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه می تواند به برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران چشم انداز دقیقی برای توسعه برنامه‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش شدت تغییرات آب و هوا در بخش تولید برق ایران دهد.

منابع

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[۱] آمار تفصیلی صنعت برق ایران ۱۳۷۷–۱۳۹۰، وزارت نیرو، شرکت توانیر.

[۲] ترازنامه انرژی ۱۳۷۷–۱۳۹۰، معاونت برق و انرژی، وزارت نیرو.

[۳] ترازنامه هیدروکربوری ۱۳۸۴–۱۳۹۰، موسسه مطالعات بین المللی انرژی و معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی وزارت نفت، وزارت نفت.

[۴] تقدیسیان، حسین و میناپور، سعید. (۱۳۸۲)، تغییر آب و هوا آنچه باید بدانیم، دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا سازمان حفاظت محیط زیست.

[۵] حنفی زاده، پیام. اعرابی، سید محمد. هاشمی، علی. (۱۳۸۵)، برنامه ریزی استراتژیک استوار با استفاده از برنامه ریزی سناریو وسیستم استنتاج فازی، فصلنامه مدرس علوم انسانی ویژه نامه مدیریت، ۱۳۳–۱۷۰.

[۶] سلیمی بنی، آرمان. (۱۳۸۵)، پیش‌بینی نیاز مصرف شبکه سراسری تا سال ۱۳۹۵، شرکت مدیریت شبکه برق ایران، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت بر امنیت شبکه، دفتر برنامه‌ریزی و نظارت بر توسعه شبکه.

[۷] گزارش تهیه شده توسط سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) برای سازمان حفاظت محیط زیست. (۱۳۸۲)، بررسی نیازهای انتقال تکنولوژی به منظور مقابله با اثرات ناشی از تغییر آب و هوا.

[8] Bautista, S. 2012. *"A sustainable scenario for Venezuelan power generation sector in 2050 and its costs"* Energy Policy, Vol. 44, pp. 331–340.

[9] Cai, W., Wang, C., et al. 2007. *"Scenario analysis on CO2 emissions reduction potential in China's electricity sector"* Energy Policy, Vol. 35, pp. 6445–6456.

[10] Dagher, L., Ruble, I. 2011. *"Modeling Lebanon's electricity sector: alternative scenarios and their implications"* Energy, Vol. 36, pp. 4315–4326.

[11] Economics, Development data group of the development. 2011. *The Little Green Data Book.* Washington, DC. 20433 U.S.A. pp. 107.

[12] Ghanadan, R., Koomey, J.G. 2005. *"Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California"* Energy Policy, Vol. 33, pp. 1117–1142.

[13] Huang, Y., Bor, Y.J., et al. 2011. *"The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application"* Energy Policy, Vol. 39, pp. 6790–6803.

[14] International Energy Agency (IEA). 2014 Edition. *CO2 Emission from Fuel Combustion*.

[15] Jun, S., Lee, S., et al. 2014. *"The assessment of renewable energy planning on CO2 abatement in South Korea"* Renewable Energy, Vol. 35, pp. 471–477.

[16] Long-range Energy Alternatives Planning System user Guide. march 2006. Stockholm environment institute.

[17] Phdungsilp, A. 2010. *"Integrated energy and carbon modeling with a decision support system: policy scenarios for low-carbon city development in Bangkok"* Energy Policy, Vol. 38, pp. 4808–4817.

[18] Shabbir, R., Ahmad, S.S. 2010. *"Monitoring urban transport air pollution and energy demand in Rawalpindi and Islamabad using leap model"* Energy, Vol. 35, pp. 2323–2332.

[19] Wangjiraniran, W., Vivanpatarakij, S., et al. 2011. *"Impact of Economic Restructuring on the Energy System in Thailand"* Energy Procedia, Vol. 9, pp. 25–34.