

به نام خداوند جان و خرد

وزارت نیرو
معاونت برق و انرژی
دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی

خلاصه مدیریتی:

برنامه بلند مدت توسعه بخش انرژی کشور

تهیه‌کنندگان:

سید احسان‌الدین شفیعی

وحید آریان‌پور

رضا گودرزی‌راد

سمیه داراب

مدیریت و نظارت:

مجید فرمد

مهر ۱۳۹۳

مقدمه

امروزه اهمیت توجه به برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و یکپارچه که در حقیقت اثرات متقابل بخش‌های مختلف سیستم عرضه انرژی را بر یکدیگر مورد بررسی قرار داده و بهترین گزینه و همچنین نحوه بهره‌برداری بهینه از منابع و فناوری‌های مختلف انرژی را نشان می‌دهد، بر کسی پوشیده نیست. سیستم عرضه انرژی که از زیرمجموعه‌های مختلف تشکیل یافته است، به منظور تأمین انرژی مورد نیاز بخش‌های اقتصادی و اجتماعی توسعه می‌یابد. در این سیستم، تأمین تقاضای انرژی از طریق استفاده از انواع حامل‌های انرژی امکان‌پذیر است. جریان صورت‌های مختلف انرژی، زیرمجموعه‌های سیستم عرضه انرژی را تشکیل می‌دهند و تغییرات در جریان هر یک از انواع حامل‌های انرژی، کل سیستم عرضه انرژی و جریان سایر حامل‌های انرژی را متأثر می‌سازد. به هم‌پیوستگی و پیچیدگی جریان‌ها و تکنولوژی‌های انرژی، توسعه و به کارگیری ابزار تحلیلی مناسب برای بررسی و مطالعه حالات مختلف سیستم را ضروری می‌سازد. این ابزارها تحت عنوان مدل‌های سیستم عرضه انرژی به‌طور گسترده‌ای توسعه یافته‌اند. در این مطالعه، با استفاده از دو ابزار مدل‌سازی و برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی (مدل‌های MAED¹ و MESSAGE²)، تحلیل جامع سیستم عرضه انرژی صورت می‌گیرد. نتایج در قالب سناریوهای منتخب و برای افق زمانی ۱۴۲۰ ارائه می‌گردند. اهداف اصلی این مطالعه به شرح زیر است:

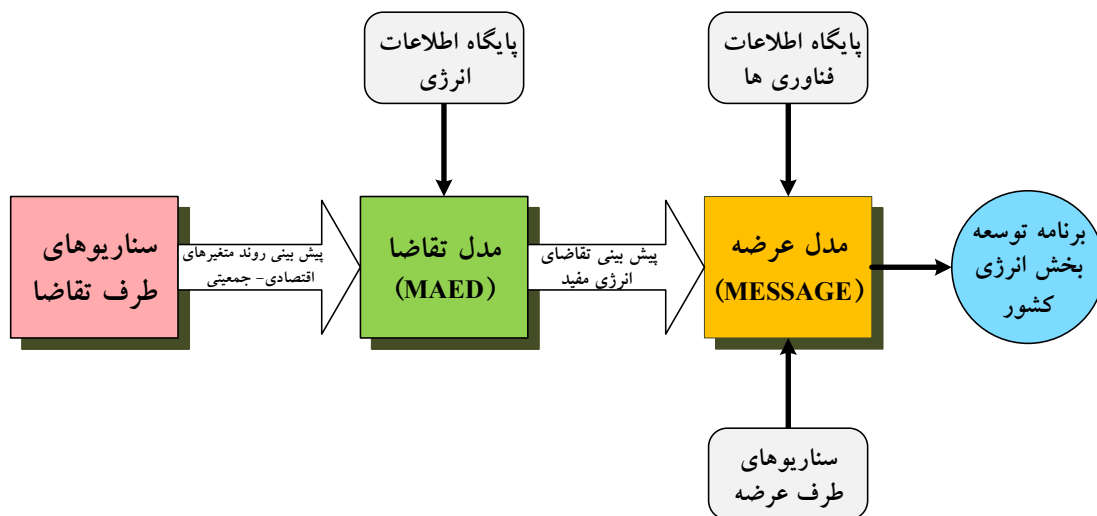
- مدل‌سازی و پیش‌بینی تقاضای بلند مدت انرژی مفید به تفکیک بخش‌های مصرف
- شناسایی و تعریف سیستم مرجع انرژی کشور
- مدل‌سازی سیستم عرضه انرژی کشور
- پیش‌بینی روند بهینه مصرف انرژی نهایی به تفکیک بخش‌های مصرف و نوع حامل‌های انرژی
- تعیین روند جایگزینی حامل‌های انرژی مختلف با یکدیگر در بخش‌های مختلف مصرف
- پیش‌بینی ظرفیت‌های تولیدی مورد نیاز برای توسعه بخش انرژی
- پیش‌بینی سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه بخش انرژی
- برآورد پتانسیل صادرات حامل‌های انرژی اولیه و ثانویه
- برآورد نیاز واردات انواع حامل‌های انرژی
- ارزیابی نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین تقاضای انرژی

¹ Model for Analysis of Energy Demand

² Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental impacts

روش انجام مطالعه

مطابق شکل (۱)، برنامه توسعه بخش انرژی کشور از ترکیب مدل‌های MAED و MESSAGE استخراج می‌گردد. ارتباط بین مدل‌ها بدین ترتیب است که ابتدا بر اساس مفروضات سناریوی بخش تقاضا، روند آتی متغیرهای کلان اقتصادی و اجتماعی مؤثر بر مدل تقاضای انرژی پیش‌بینی می‌شود. سپس با استفاده از این روندها و داده‌های مربوط به الگوی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف، میزان مصرف در سال پایه (پایگاه اطلاعات انرژی) و تقاضای انرژی مفید (Useful energy)^۱ در بلند مدت برای بخش‌های مختلف مصرف پیش‌بینی می‌گردد. انرژی مفید پیش‌بینی شده به عنوان ورودی اصلی در مدل عرضه مورد استفاده قرار می‌گیرد. با اجرای مدل عرضه بر اساس پایگاه اطلاعات فناوری (شامل مشخصات فنی - اقتصادی فناوری‌های موجود و آتی تولید و عرضه انرژی در سطوح منابع، انرژی اولیه، انرژی ثانویه و تجهیزات مصرف‌کننده نهایی) و با توجه به مفروضات سناریوی طرف عرضه، برنامه توسعه بخش انرژی برای تأمین انرژی مورد نیاز بخش‌های مختلف مصرف به دست می‌آید.



شکل (۱) - فرآیند ارتباط بین مدل‌های تقاضا - عرضه

مدل MAED، براساس روش مصرف نهایی و با استفاده از داده‌های فنی - اقتصادی به پیش‌بینی بلند مدت تقاضای انرژی می‌پردازد. در این مدل، ارتباطی تابعی بین مصرف انرژی برای تولید کالاها و خدمات مختلف با متغیرهای اقتصادی، اجتماعی و فنی که بر تقاضای انرژی مؤثرند، ایجاد می‌شود. عواملی نظیر جمعیت، تعداد خانوار، نرخ رشد اقتصادی در بخش‌های مختلف از عوامل اصلی مؤثر بر مصرف انرژی است و لذا با تغییر آنها، تقاضای انرژی نیز تغییر خواهد یافت. بنابراین برای پیش‌بینی تقاضای آینده انرژی، تغییرات آتی پارامترهای مزبور به

^۱ انرژی مفید صورتی از انرژی است که عملاً توسط مصرف‌کننده برای تأمین گرمایش، سرمایش، روشنایی و نیروی محرکه تقاضا می‌شود.

همراه تحولات فناوری در قالب سناریوهایی بررسی شده و به صورت برونزا به مدل داده می‌شوند. مدل MESSAGE مدلی جهت تعیین ساختار بهینه سیستم عرضه انرژی است. در این مدل، کل هزینه‌های سیستم عرضه به منظور تأمین تقاضای انرژی مفید حداقل می‌گردد. بدین ترتیب این مدل، ابزاری مناسب برای برنامه‌ریزی میان مدت و دراز مدت بخش عرضه انرژی را فراهم می‌نماید. منطق مدل، بهینه‌سازی دینامیک بوده و در آن از ابزار برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌شود. در این مدل، تقاضای انرژی مفید به صورت متغیر بیرونی در نظر گرفته می‌شود و اطلاعات فنی، اقتصادی تکنولوژی‌ها از طریق پایگاه اطلاعات فناوری‌ها به مدل داده می‌شوند.

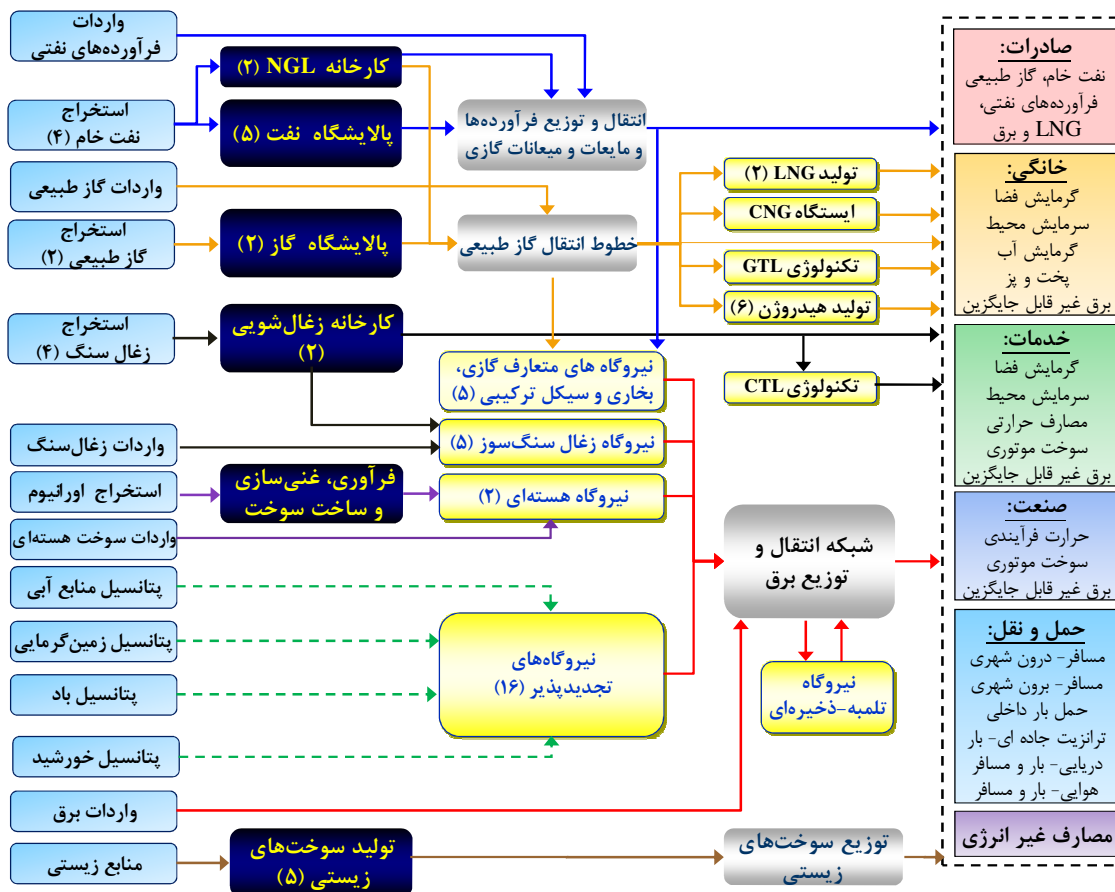
سناریوهای اصلی

در این مطالعه از سه سناریوی ترکیبی تقاضا و عرضه استفاده شده است: سناریوی مرجع، سناریوی رشد تدریجی قیمت‌های صادراتی و وارداتی و سناریوی صرفه‌جویی انرژی. قیمت‌های صادراتی و وارداتی حامل‌های انرژی در سناریوهای مرجع و صرفه‌جویی انرژی ثابت در نظر گرفته شده و در سناریوی رشد تدریجی سالانه ۲ درصد رشد خواهند داشت. در سناریوی صرفه‌جویی انرژی، اقدامات جدی توسط مصرف‌کنندگان در راستای کاهش مصرف انرژی صورت خواهد گرفت.

ساختار سیستم انرژی کشور

ساختار ساده شده سیستم انرژی کشور در شکل (۲) نشان داده شده است. این سیستم در سمت عرضه در برگیرنده کلیه منابع انرژی اولیه اعم از نفت خام، گاز غنی، زغال‌سنگ، انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، حامل‌های انرژی ثانویه و نهایی شامل فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، سوخت‌های سنتز، زغال سنگ حرارتی، زغال کک، برق، هیدروژن، LNG، CNG، سوخت‌های زیستی (بیواتانول، بیودیزل و بیوگاز) و سوخت‌های سنتی می‌باشد. اعداد مندرج در شکل (۲)، بیانگر تعداد تکنولوژی‌های در نظر گرفته شده در هر بخش می‌باشند.

در طرف تقاضا بخش‌های مصرف‌کننده انرژی عبارتند از: خانگی، خدمات، صنعت، حمل و نقل و مصارف غیر انرژی. پیش‌بینی تقاضا به صورت اشکال مختلف انرژی مفید نشان داده شده در شکل (۲) برای هر یک از بخش‌ها مد نظر قرار گرفته‌اند. در مجموع حدود ۳۰۰ تکنولوژی مختلف در مدل لحاظ شده‌اند. در این میان، تکنولوژی‌های مصرف‌کننده نهایی انرژی سهم عمده را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل (۲) - ساختار ساده شده سیستم عرضه انرژی کشور

نتایج کلیدی سناریوی مرجع

نتایج اصلی مطالعه شامل سطح بهینه فعالیت به تفکیک بخش‌های اصلی شامل نفت، گاز، زغال‌سنگ و برق، سطح بهینه ظرفیت‌سازی در بخش‌های نیروگاهی و پالایشگاهی، میزان صادرات و واردات انواع حامل‌های انرژی اولیه (نظیر نفت خام) و ثانویه (نظیر فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق)، میزان مصرف سوخت در دوره‌های زمانی و سهم هر یک از سوخت‌ها برای تأمین نیاز بخش‌های مصرف‌کننده اعم از خانگی، خدمات (تجاری و عمومی)، صنعت و حمل و نقل می‌باشد. برخی از مهمترین این نتایج به شرح ذیل می‌باشند.

• بخش نفت و فرآورده‌های نفتی

- افزایش ظرفیت پالایشگاه‌های کشور از حدود ۱/۷ میلیون بشکه در روز در ابتدای دوره مطالعه تا ۳/۱ میلیون بشکه در روز در اواخر دوره مطالعه
- جذابیت احداث پالایشگاه‌های جدید با خوراک میعانات گازی در میان مدت و بلند مدت و به تبع آن امکان حذف صادرات میعانات گازی (رشد چشمگیر سهم میعانات گازی در خوراک پالایشگاهی از حدود ۲ درصد تا ۳۲ درصد کل خوراک ورودی در دراز مدت)
- افزایش تدریجی سهم بنزین در تولید پالایشگاه‌های کشور از حدود ۱۸ درصد در ابتدای دوره تا حدود ۳۴ درصد در اواخر دوره مطالعه
- کاهش تدریجی سهم نفت کوره از ۳۰ درصد کل تولید در ابتدای دوره تا حدود ۱۶ درصد در اواخر دوره
- کاهش تدریجی نیاز واردات بنزین و نهایتاً قطع آن از سال ۱۳۹۶ به بعد (ناشی از توسعه پالایشگاهی)
- ایجاد پتانسیل صادرات بنزین به دلیل افزایش چشمگیر تولید داخلی (توسعه پالایشگاه‌هایی که بنزین سهم بیشتری در خروجی آنها دارد) از یک سوی و از سوی دیگر امکان کاهش مصارف داخلی به دلیل جذابیت سایر سوخت‌ها از جمله دیزل و CNG در تأمین تقاضای بخش حمل و نقل
- کاهش سهم صادرات نفت کوره و حذف تدریجی صادرات نفت گاز در درازمدت به دلیل افزایش مصارف داخلی به ویژه در بخش حمل

• بخش گاز

- افزایش تولید گاز از میداین مستقل گازی از حدود ۶۰۰ میلیون متر مکعب در روز در سال ۱۳۹۲ تا حدود ۱۳۰۰ میلیون متر مکعب در روز در سال ۱۴۲۰ (عمدتاً ناشی از توسعه میداین پارس جنوبی)
- رشد ۱۱۰ درصدی ظرفیت پالایشگاه‌های گازی دریایی (خوراک آن از میداین مستقل دریایی تأمین می‌شود) و افزایش ۵۰ درصدی ظرفیت پالایشگاه‌های گازی خشکی (خوراک آن از میداین مستقل خشکی تأمین می‌شود)
- رشد سهم گاز طبیعی در تأمین سوخت بخش نیروگاهی (تا بیش از ۹۰ درصد) به موازات کاهش تدریجی محدودیت دسترسی به سوخت گاز طبیعی (ناشی از توسعه بخش بالادستی گاز طبیعی)
- افزایش تدریجی پتانسیل صادرات گاز طبیعی تا مرز ۲۲۰ میلیون متر مکعب در روز تا سال ۱۴۱۰ و سپس کاهش چشمگیر به علت رشد مصارف داخلی گاز طبیعی به ویژه برای تأمین حرارت فرآیندی صنایع مختلف، نیاز بخش نیروگاهی، تزریق به میداین نفتی، گرمایش محیط و گرمایش آب بخش خانگی

- ایجاد پتانسیل صادرات گاز طبیعی به صورت LNG تا مرز ۱۵ میلیون تن در سال ۱۴۱۰ و سپس افت شدید به دلیل رشد مصارف داخلی گاز طبیعی
- رشد ۵ برابری مصرف CNG در افق مطالعه برای تأمین نیاز خودروهای سبک سواری، اتوبوس‌های گازسوز و خودروهای سبک مخصوص حمل بار
- ایجاد پتانسیل صادرات گاز اتان تا حدود ۱/۴ میلیون تن در سال ۱۴۰۵ و سپس کاهش محسوس آن در درازمدت به دلیل ثابت ماندن میزان تولید آن و رشد قابل ملاحظه مصرف در واحدهای پتروشیمیایی

• بخش زغال سنگ

- ثابت بودن عرضه زغال سنگ کک شو در افق مطالعه به دلیل عدم توسعه روش احیای مستقیم (نظیر فرآیندی که در کارخانه ذوب آهن انجام می‌شود)
- رشد ۹ برابری کل تولید زغال سنگ برای تأمین نیاز نیروگاه‌های زغال سنگ سوز

• بخش برق

- افزایش ظرفیت نیروگاهی از حدود ۷۰ هزار مگاوات در ابتدای دوره به حدود ۱۶۰ هزار مگاوات در انتهای دوره (متوسط رشد سالانه ظرفیت نصب شده نیروگاهی حدود ۳ درصد)
- افزایش سهم نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در کل ظرفیت نصب شده تا حدود ۶۰ درصد از کل ظرفیت نصب شده نیروگاهی در درازمدت
- کاهش تدریجی سهم سایر نیروگاه‌های موجود یعنی نیروگاه توربین بخار و توربین گاز (کاهش مجموع سهم آنها از حدود ۵۰ درصد کل ظرفیت نصب شده در حال حاضر به حدود ۱۰ درصد کل ظرفیت نصب شده در دوره‌های پایانی)
- بیشترین ظرفیت نصب شده نیروگاهی در سال ۱۴۲۰ مربوط به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، نیروگاه‌های برقابی (کوچک، بزرگ و تلمبه ذخیره‌ای) و توربین‌های بادی به ترتیب با ۶۲، ۱۵ و ۱۴ درصد
- توجیه‌پذیری احداث ۳۷۰۰ مگاوات نیروگاه زغال سنگ سوز پیشرفته (فوق بحرانی با راندمان ۴۶ درصد) در دوره‌های پایانی
- توجیه اقتصادی موتورهای گازسوز در حالت تولید پراکنده در مقابل عدم توصیه نصب نیروگاه‌های توربین گازی در حالت تولید متمرکز (با وجود عدم توجیه اقتصادی نیروگاه‌های توربین گازی در حالت تولید

- متمرکز، حتی در دراز مدت ظرفیت محدودی توسط مدل عمدتاً جهت پوشش دادن نواحی باری پیک پیشنهاد می‌گردد)
- رشد دو برابری سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر در کل ظرفیت نصب شده (تا حدود ۳۰ درصد کل ظرفیت نصب شده در سال ۱۴۲۰)
- رشد تدریجی سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر غیرآبی تا حدود ۱۵ درصد کل ظرفیت نصب شده در سال ۱۴۲۰
- افزایش تدریجی سهم گاز طبیعی در تأمین سوخت نیروگاهی از کمتر از ۷۰ درصد در سال ۱۳۹۰ به حدود ۹۲ درصد در انتهای دوره
- کاهش سهم سوخت‌های مایع در تأمین نیاز واحدهای نیروگاهی تا حدود ۲ درصد در سال ۱۴۲۰
- افزایش متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور از حدود ۳۷ درصد در سال ۱۳۹۰ تا حدود ۴۹ درصد در سال ۱۴۲۰

• کل مصرف نهایی انرژی

- رشد ۲/۲ برابری کل مصرف نهایی انرژی در افق مطالعه (متوسط رشد مصرف سالانه آن ۳/۷ درصد)
- متوسط رشد مصرف انرژی برای بخش‌های صنعت، حمل و نقل، تجاری و خانگی به ترتیب معادل ۵/۰، ۴/۲، ۳/۴ و ۲/۳ درصد در سال
- کاهش ۹ درصدی سهم بخش خانگی و افزایش ۷ درصدی سهم بخش صنعت در کل مصرف نهایی
- ثابت ماندن تقریبی سهم بخش‌های حمل و نقل و خدمات در کل مصرف نهایی در طول دوره مطالعه
- افزایش ۵ درصدی سهم گاز طبیعی در تأمین نیاز بخش حمل و نقل در افق مطالعه
- افزایش ۹ و ۱۷ درصدی سهم برق به ترتیب در تأمین تقاضای بخش‌های خانگی و تجاری در افق مطالعه

مقایسه نتایج سناریوها

مهمترین نتایج و شاخص‌های بخش انرژی در قالب سناریوهای مختلف و در جداول (۱) تا (۴) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۱- هزینه‌های سرمایه‌گذاری در سناریوهای مختلف (میلیارد دلار)

سناریو	کل هزینه (تجمعی)	متوسط سالانه در		
		کل بخش انرژی	بالادستی نفت و گاز	برق ^۱
مرجع	۵۸۰	۲۱/۵	۱۳/۸	۶/۹
رشد تدریجی قیمت‌ها	۶۴۷	۲۳/۹	۱۳/۸	۹/۰
صرفه‌جویی انرژی	۵۶۳	۲۰/۹	۱۳/۸	۵/۵

* به قیمت ثابت سال پایه و شامل کل هزینه‌های انجام شده در گذشته برای طرح‌های در حال اجرا می‌باشد.
۱- فقط احداث نیروگاه‌ها را در بر می‌گیرد.

جدول ۲- متوسط رشد سالانه انرژی اولیه و نهایی در سناریوهای مختلف (درصد در سال)

سناریو	انرژی اولیه	انرژی نهایی	مصرف نهایی به تفکیک بخش‌ها			
			خانگی	خدمات	صنعت ^۱	حمل و نقل
مرجع	۲/۵	۳/۷	۲/۳	۳/۴	۵/۰	۴/۲
رشد تدریجی قیمت‌ها	۲/۴	۳/۷	۲/۳	۳/۴	۵/۰	۴/۲
صرفه‌جویی انرژی	۲/۱	۲/۲	۱/۸	۲/۰	۴/۰	۴/۲

۱- کشاورزی را نیز در بر می‌گیرد.

جدول ۳- مقایسه انرژی اولیه و نهایی در سال ۱۴۲۰ (میلیون بشکه معادل نفت خام)

سناریو	انرژی اولیه	انرژی نهایی	مصرف نهایی به تفکیک بخش‌ها			
			خانگی	خدمات	صنعت	حمل و نقل
مرجع	۳۳۳۳	۲۷۸۱	۶۸۲	۱۸۳	۱۰۷۸	۶۳۵
رشد تدریجی قیمت‌ها	۳۲۸۲	۲۷۸۲	۶۸۲	۱۸۳	۱۰۷۸	۶۳۵
صرفه‌جویی انرژی	۲۹۶۲	۲۴۷۲	۶۱۱	۱۴۹	۸۷۵	۶۳۵

جدول ۴- مقایسه شاخص‌های بخش برق در سناریوهای مختلف در سال ۱۴۲۰

سناریو	کل ظرفیت نصب شده (گیگاوات)	کل تولید ناویژه (میلیارد کیلووات ساعت)	قدرت سرانه (وات) ^۱	تولید سرانه (کیلووات ساعت) ^۲	مصرف سرانه (کیلووات ساعت) ^۳	سهم تجدیدپذیرها در تولید (درصد)	سهم هسته‌ای در تولید (درصد)	مصرف گاز طبیعی (میلیارد متر مکعب)
مرجع	۱۵۹	۷۰۷	۱۶۶۶	۷۳۹۰	۶۸۴۱	۱۳/۶	۲	۱۰۹
رشد تدریجی قیمت‌ها	۱۶۸	۷۱۴	۱۷۵۵	۷۴۷۲	۶۸۴۰	۲۳/۸	۸	۸۸
صرفه‌جویی انرژی	۱۲۵	۵۶۵	۱۳۰۶	۵۹۱۴	۵۳۶۵	۱۵/۶	۲	۸۱

۱- قدرت سرانه، تولید سرانه و مصرف سرانه در سال ۱۳۹۲ به ترتیب معادل ۹۱۴ وات، ۳۴۰۴ کیلووات ساعت و ۲۶۶۱ کیلووات ساعت می‌باشند.

مقایسه نتایج سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که مهمترین فرصت‌های بخش انرژی کشور در بلند مدت به

شرح ذیل می‌باشند:

- امکان افزایش سهم تولید فرآورده‌های نفتی سبک با ارزش بالاتر
- امکان کنترل مصرف بنزین و جایگزینی آن با نفت گاز و گاز طبیعی و عدم نیاز واردات آن
- بهبود راندمان نیروگاه‌های کشور با احداث نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و زغال‌سنگ سوز پیشرفته
- امکان کاهش سهم و میزان مصرف سوخت‌های مایع در نیروگاه‌ها
- افزایش پتانسیل صادرات گاز طبیعی در سناریوهای رشد قیمت و صرفه‌جویی
- جذابیت نیروگاه‌های هسته‌ای و تجدیدپذیر در سناریوی رشد قیمت

از سوی دیگر مهمترین چالش‌های پیش روی بخش انرژی کشور در بلند مدت عبارتند از:

- نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری بالا
- افزایش تقاضای گاز طبیعی در بخش نیروگاهی در سناریوی مرجع تا حدود سه برابر میزان کنونی
- تأمین نیاز سرمایه‌گذاری برای تولید LNG
- محدود شدن شدید پتانسیل صادرات گاز طبیعی در صورت ادامه روند نامطلوب کنونی در مصرف انرژی کشور مطابق سناریوی مرجع
- نیاز به واردات دیزل در بلند مدت به منظور تأمین تقاضای بخش حمل و نقل

در پایان، ذکر این نکته ضروری است که سیاست‌گذاری مناسب برای توسعه بخش انرژی کشور مستلزم تحلیل جامع‌تری از نتایج مدل در سناریوهای مختلف می‌باشد و نتایج ارائه شده در این گزارش به علت محدودیت قلمرو مطالعه صرفاً به سه سناریوی منتخب محدود شده است. با تکمیل پایگاه اطلاعاتی در بخش فناوری‌های نوین انرژی و اجرا و تحلیل نتایج مدل در سناریوهای جدید، امکان ارائه تصویر روشن‌تر و دقیق‌تر از توسعه بخش انرژی کشور

میسر خواهد بود. علاوه بر این، بررسی اثرات افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر میزان مصرف در این مطالعه در نظر گرفته نشده است که امید می‌رود در مطالعات تکمیلی خصوصاً با ایجاد پیوندی بین بخش‌های عرضه، تقاضا و اقتصاد انرژی این مهم انجام شود.