

به نام خداوند جان و خرد

وزارت نیرو
معاونت برق و انرژی
دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی

عنوان گزارش:

مقایسه طرح های بهبود راندمان نیروگاه های حرارتی کشور

تهیه کننده:

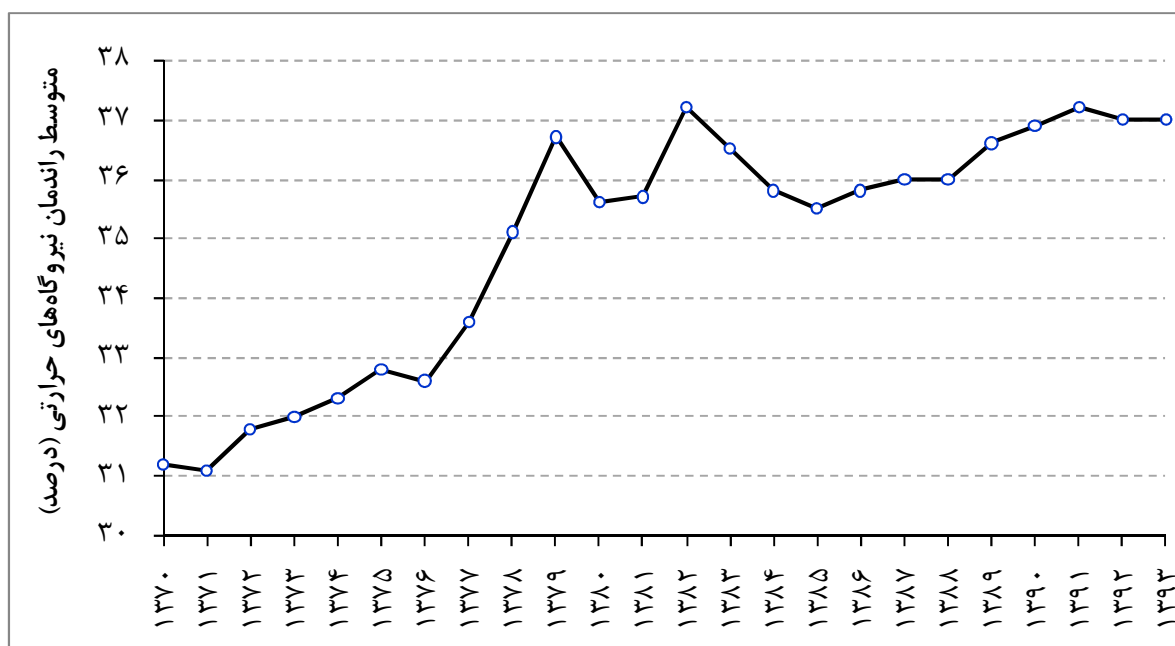
وحید آریان پور

سمیه داراب

خرداد ۱۳۹۴

مقایسه طرح‌های بهبود راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور

روند تغییرات متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۹۳ در نمودار (۱) ملاحظه می‌شود. مطابق این نمودار، متوسط راندمان این نوع نیروگاه‌ها در دهه هفتاد تا حدود ۵/۵ درصد افزایش را تجربه نموده است، اما پس از آن رشد منظمی نداشته و بین ۳۵/۵ تا ۳۷ درصد در نوسان بوده است. بیشترین میزان رشد در این دوره مربوط به سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۷۹ و علت اصلی آن هم راه‌اندازی میزان قابل توجهی نیروگاه سیکل ترکیبی برای اولین بار در آن دوره زمانی می‌باشد.



نمودار (۱) - روند بهبود متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی ایران [۲۱]

علی‌رغم بهبود نسبی راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور طی دو دهه اخیر، همچنان فاصله زیادی با کشورهای پیشرفته وجود دارد (حدود ده درصد). مطابق اطلاعات آژانس محیط زیست اروپا (European Environment Agency)، راندمان نیروگاه‌های حرارتی در اتحادیه اروپا از ۴۲/۲ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۴۷/۶ درصد در سال ۲۰۱۲ افزایش یافته است [۳].

به منظور نشان دادن درجه اهمیت راندمان بر میزان مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها یک مثال ساده بررسی می‌شود. میزان برق تولیدی کشور از محل نیروگاه‌های فسیلی در سال ۹۳ حدود ۲۵۷ تراوات ساعت و متوسط راندمان تولید آن ۳۷ درصد بوده است [۲]. با در نظر گرفتن مفروضات جدول (۱)، متوسط مصرف روزانه سوخت، ۱۸۷ میلیون متر مکعب معادل گاز طبیعی و کل انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف این میزان

سوخت فسیلی در سال ۹۳ حدود ۱۸۸ میلیون تن بوده است. حال اگر فرض شود این میزان برق با راندمان ۳۸ درصد قابل تأمین می‌بود، متوسط مصرف روزانه سوخت به ۱۸۴ میلیون متر مکعب معادل گاز طبیعی و کل انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف این میزان سوخت فسیلی به کمتر از ۱۸۳ میلیون تن می‌رسید. جزئیات محاسبات در جدول (۲) منعکس شده است. در مجموع این محاسبات نشان می‌دهد که یک درصد افزایش راندمان، بیش از ۳ میلیون متر مکعب معادل گاز طبیعی در روز صرفه‌جویی در مصرف سوخت به همراه خواهد داشت که با فرض قیمت ۲۰ سنت بر متر مکعب گاز طبیعی، ارزش این میزان صرفه‌جویی به بیش از ۲۵۰ میلیون دلار در سال می‌رسد. علاوه بر این، حدود ۵ میلیون تن در سال از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کاسته خواهد شد.

جدول (۱) - ارزش حرارتی و ضریب انتشار دی اکسید کربن

نفت گاز	مازوت	گاز طبیعی	
۸۶۰۰	۹۲۰۰	۸۶۰۰	ارزش حرارتی ^۱ (کیلوکالری بر متر مکعب یا بر لیتر) [۲]
۷۴/۳۵	۷۷/۶۵	۵۶/۱۵	ضریب انتشار دی اکسید کربن (گرم بر مگاژول) [۴]

(۱) برای گاز طبیعی کیلوکالری بر متر مکعب و برای سایرین کیلوکالری بر لیتر می‌باشد.

جدول (۲) - مقایسه مصرف سوخت و انتشار دی اکسید کربن در دو راندمان متفاوت

متوسط راندمان	میزان مصرف سوخت و انتشار			
	نفت گاز	مازوت	گاز طبیعی	مجموع
۳۷ درصد	۹۲۳۱	۱۰۲۸۱	۴۸۹۷۸	مصرف سوخت ^۱ (میلیون متر مکعب یا میلیون لیتر)
	۷۹،۳۵۰	۹۴،۶۴۶	۴۲۹،۴۹۳	مصرف سوخت (میلیارد کیلوکالری)
	۲۴/۷	۲۹/۴	۱۳۳/۶	انتشار دی اکسید کربن (میلیون تن)
۳۸ درصد	۸۹۸۸	۱۰۰۱۰	۴۷۶۸۹	مصرف سوخت ^۱ (میلیون متر مکعب یا میلیون لیتر)
	۷۷،۴۳۸	۹۲،۰۱۷	۴۱۸،۲۶۰	مصرف سوخت (میلیارد کیلوکالری)
	۲۴/۱	۲۸/۷	۱۳۰/۱	انتشار دی اکسید کربن (میلیون تن)

(۱) برای گاز طبیعی میلیون متر مکعب و برای فرآورده‌های نفتی میلیون لیتر می‌باشد.

قوانین و اسناد بالادستی مختلف از جمله سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف، قانون هدفمند کردن یارانه‌ها و قانون برنامه پنج ساله پنجم به موضوع افزایش راندمان عرضه برق پرداخته و با توجه به اهمیت مساله

به نظر می‌رسد که وزارت نیرو بایستی گام‌های مؤثرتری را در این زمینه بردارد. بر این اساس، در کنار احداث و راه‌اندازی نیروگاه‌های جدید پربازده، بهبود ترکیب فعلی نیروگاه‌های کشور از طریق حذف نیروگاه‌های کم بازده، بازتوانی نیروگاه‌های بخاری و تبدیل آنها به نیروگاه‌های با راندمان بالاتر از جمله راهکارهای مؤثر خواهد بود. هدف اصلی این مطالعه، اولویت‌بندی روش‌های بهبود راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور بر مبنای یک شاخص مناسب می‌باشد. شاخص مزبور در این مطالعه، نسبت منافع حاصل از صرفه‌جویی سوخت بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌باشد. این شاخص برای هر طرح به صورت جداگانه محاسبه شده و طرحی که بالاترین میزان را به خود اختصاص دهد از اولویت بیشتری در مقایسه با سایرین برخوردار می‌گردد.

در مجموع، ۶ روش برای بهبود بازده نیروگاه‌های حرارتی در این گزارش مورد بررسی قرار می‌گیرند. مقایسه تمامی این روش‌ها بر مبنای تولید انرژی الکتریکی یکسان خواهد بود. این بدان معناست که فرض شده اجرای کلیه روش‌های مورد نظر، تولید انرژی الکتریکی از نیروگاه‌های حرارتی را از میزان ۲۵۷ تراوات ساعت در سال ۹۳، به ۲۶۸ تراوات ساعت افزایش خواهد داد.^۱ به بیان دیگر فرض شده که روش‌های تحت بررسی دفعتهاً بتوانند به مجموعه نیروگاه‌های سال ۹۳ اضافه شوند و آرایش جدیدی را ایجاد نمایند (از اثر دوره احداث صرف‌نظر شده است).

- ۱) بازتوانی نیروگاه‌های بخاری موجود
- ۲) تبدیل نیروگاه‌های گازی بزرگ به سیکل ترکیبی
- ۳) احداث نیروگاه‌های سیکل ترکیبی
- ۴) احداث نیروگاه‌های گازی^۲
- ۵) جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با نیروگاه‌های گازی بزرگ
- ۶) جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با نیروگاه‌های سیکل ترکیبی

۱ - بازتوانی ۱۰۰۰ مگاوات نیروگاه بخاری به عنوان مبنای محاسبات لحاظ شده است. اجرای این طرح حدود ۱۰ تراوات ساعت برق تولیدی را افزایش داده و از این رو تولید برق به ۲۶۸ تراوات ساعت خواهد رسید.

۲- این روش منجر به افزایش راندمان نیروگاهی کشور نمی‌شود و صرفاً جهت مقایسه با سایر روش‌ها ارائه شده است.

برخی از مفروضات اصلی محاسبات، شامل اطلاعات فنی - اقتصادی نیروگاه‌های حرارتی، قیمت انواع سوخت‌ها و سهم آنها در بخش نیروگاهی در جداول (۳) و (۴) ملاحظه می‌شود.

جدول (۳) - اطلاعات فنی - اقتصادی نیروگاه‌های موجود و جدید

نوع نیروگاه	هزینه سرمایه‌گذاری [۱۰]	متوسط راندمان موجود [۲]	راندمان نیروگاه جدید	ضریب تولید (درصد) [۲]	
	دلار بر کیلووات ^۱	درصد	درصد	بر مبنای قدرت نامی ^۲	بر مبنای قدرت عملی
گازی بزرگ	۴۴۰	۳۱/۷	۳۴	۳۳	۴۰
گازی کوچک	-	۲۴/۴	-	۲۵	۳۴
بخاری	-	۳۶/۵	-	۶۲	۶۵
سیکل ترکیبی	۶۰۰	۴۴/۲	۵۰	۶۰	۷۳
بازتوانی	۷۰۰	-	۵۰	۶۰	-

(۱) هزینه احداث نیروگاه‌های گازی بزرگ و سیکل ترکیبی از مرجع [۱۰] استخراج شده است. در همان مرجع هزینه احداث بخش بخار نیروگاه سیکل ترکیبی حدود ۹۰۰ دلار بر کیلووات (۸۲۹ یورو بر کیلووات) در نظر گرفته شده است.

(۲) بر مبنای عملکرد سال ۹۳، استخراج شده از اطلاعات مرجع شماره [۲]. به عنوان نمونه مجموع ظرفیت نامی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در انتهای سال ۹۳، معادل ۱۸۴۹۴ مگاوات و تولید ناویژه مربوط به این نوع نیروگاه‌ها در همان سال ۹۶۸۶۸ میلیون کیلووات ساعت بوده است. بنابراین میانگین ضریب تولید حدود ۶۰ درصد می‌باشد. اگر مبنای محاسبات میانگین قدرت عملی در همان سال (۱۵۱۰۵ مگاوات) باشد، ضریب تولید معادل ۷۳ درصد خواهد بود.

جدول (۴) - قیمت سوخت‌ها و سهم آنها در مصرف در سال ۹۳

قیمت (سنت دلار بر متر مکعب گاز طبیعی یا لیتر فرآورده) ^۱	گاز طبیعی	مازوت	نفت گاز
سهم سوخت‌ها در سال ۱۳۹۳ (درصد) [۲]	۷۱	۱۶	۱۳

(۱) قیمت گاز طبیعی بر مبنای متوسط قیمت گاز صادراتی (بر اساس مطالعات امکان‌سنجی مربوط به طرح‌های که می‌توانند از ظرفیت بند ق تبصره ۲ قانون بودجه سال ۹۳ استفاده کنند - شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت) و قیمت فرآورده‌های نفتی بر مبنای متوسط قیمت فوب خلیج فارس در فوریه ۲۰۱۵ مندرج در مرجع [۱۱] در نظر گرفته شده‌اند.

در ادامه، ضمن تشریح مختصر هر یک از روش‌های فوق، محاسبات مربوطه به اثر اجرای هر روش بر متوسط راندمان نیروگاهی، صرفه‌جویی سوخت و هزینه‌های مورد نیاز ارائه می‌گردد.

۱- بازتوانی نیروگاه‌های بخاری موجود

بازتوانی نیروگاه‌های بخاری دو دسته اصلی را در بر می‌گیرد: ۱- بازتوانی کامل^۱ و ۲- بازتوانی جزئی^۲. در این مطالعه بازتوانی کامل، یعنی جایگزینی بویلر موجود با یک بویلر بازیافت حرارت^۳ (تبدیل سیکل بخار به سیکل ترکیبی) به عنوان متداول‌ترین روش بازتوانی مد نظر قرار می‌گیرد. غالباً نیروگاه‌هایی مورد بازتوانی کامل قرار می‌گیرند که دارای عمر بالای ۲۵ سال باشند [۹].

بازتوانی کامل هر مگاوات نیروگاه‌های بخاری موجود، نیازمند احداث حداقل ۲ مگاوات نیروگاه گازی می‌باشد. از جمله پروژه‌های بازتوانی کامل در سطح بین‌المللی، تبدیل یک نیروگاه ۱۲۵ مگاواتی توربین بخار به یک نیروگاه ۴۳۲ مگاواتی سیکل ترکیبی توسط کمپانی میتسوبیشی- هیتاچی می‌باشد. در این پروژه ظرفیت توربین بخار از ۱۲۵ مگاوات به ۱۴۰ مگاوات افزایش یافته و دو واحد توربین گاز با ظرفیت هر کدام ۱۴۶ مگاوات به آن اضافه شده است [۵]. نمونه اجرا شده دیگر مربوط به تبدیل ۶۴۰ مگاوات نیروگاه بخاری به نیروگاه سیکل ترکیبی پیشرفته در کشور هلند توسط کمپانی آلتستوم می‌باشد. زمان اجرای این پروژه سه سال و متوسط راندمان از ۳۸ درصد قبل از اجرای طرح، به حدود ۵۹ درصد بعد از اجرای طرح افزایش یافته است [۶]. مثال‌های دیگری از این قبیل پروژه‌های در مراجع [۷-۸] ملاحظه می‌شوند. در این مطالعه فرض می‌شود همان نسبت دو به یک (دو واحد گازی به همراه یک واحد بخار) برای اجرای بازتوانی کامل برقرار باشد.

بر این اساس، ۱۰۰۰ مگاوات نیروگاه بخاری موجود (با متوسط راندمان ۳۶/۵ درصد و ضریب تولید ۶۲/۴ درصد) نیازمند اضافه کردن ۲۰۰۰ مگاوات نیروگاه گازی بوده و در نهایت خروجی این طرح ۳۰۰۰ مگاوات نیروگاه بخاری بازتوانی شده خواهد بود. جزئیات محاسبات مربوط به تولید، راندمان مجموعه و میزان سوخت مصرفی قبل و بعد از اجرای طرح در جداول (۵) و (۶) ملاحظه می‌شود. به طور خلاصه می‌توان گفت که اجرای این طرح ۰/۶ درصد متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور را افزایش می‌دهد. هزینه اجرای این طرح ۱۴۰۰ میلیون دلار برآورد می‌گردد.

¹ Full Repowering

² Partial Repowering

³ Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

جدول (۵) - افزایش راندمان ناشی از اجرای طرح بازتوانی نیروگاه‌های بخاری

سخت مصرفی (گیگاوات ساعت)	راندمان (%)	تولید (گیگاوات ساعت)	
۶۹۵۹۴۱	۳۷/۰	۲۵۷۴۹۸	انتهای سال ۹۳
۶۸۰۹۶۵	۳۷/۰۱	۲۵۲۰۳۲	وضعیت پس از حذف ۱۰۰۰ مگاوات بخاری
۳۱۵۳۶	۵۰	۱۵۷۶۸	اجرای بازتوانی (۳۰۰۰ مگاوات بخاری بازتوانی شده)
۷۱۲۵۰۱	۳۷/۵۹	۲۶۷۸۰۰	مجموع پس از اجرای طرح
۱۶۵۶۰	۰/۵۹	۱۰۳۰۲	افزایش ناشی از اجرای طرح

جدول (۶) - میزان و هزینه سالانه سوخت مصرفی قبل و بعد از طرح بازتوانی^۱

هزینه سوخت	مصرف سوخت			تولید برق تراوات ساعت	
	نفت گاز	مازوت	گاز طبیعی		
میلیون دلار	میلیون لیتر	میلیون لیتر	میلیون متر مکعب		
۱۶۹۱۶	۹۰۴۷	۱۰۴۱۲	۴۸۴۶۹	۲۵۷	قبل از اجرای طرح
۱۷۳۱۹	۹۲۶۳	۱۰۶۶۰	۴۹۶۲۳	۲۶۸	پس از اجرای طرح

۱- در محاسبات این جدول و جداول مشابه سایر طرح‌ها فرض شده که نسبت سوخت‌های مصرفی بلا تغییر باقی بماند (۷۱٪ گاز طبیعی، ۱۶٪ مازوت و ۱۳٪ گازوییل).

۲- تبدیل نیروگاه گازی بزرگ به سیکل ترکیبی

برای آنکه تولید برق در این طرح مشابه طرح قبلی باشد، افزودن ۱۰۳۲ مگاوات بخش بخار به ۲۰۶۳ مگاوات نیروگاه گازی موجود در شبکه نیروگاهی باید صورت پذیرد.^۱ بنابراین خروجی این طرح، حذف ۲۰۶۳ مگاوات نیروگاه گازی از مجموع حدود ۲۶۰۰۰ مگاوات ظرفیت موجود توربین گاز و اضافه شدن ۳۰۹۵ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی به مجموع نیروگاه‌های موجود از این دست خواهد بود. محاسبات مربوط به تولید، راندمان مجموعه و میزان سوخت مصرفی قبل و بعد از اجرای طرح در جداول (۷) و (۸) منعکس شده است. به طور خلاصه می‌توان گفت که اجرای این طرح ۰/۷۴ درصد متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور را افزایش می‌دهد. هزینه اجرای این طرح نیز ۹۲۸ میلیون دلار برآورد می‌گردد.

جدول (۷) - افزایش راندمان ناشی از اجرای طرح تبدیل گازی به سیکل ترکیبی

سخت مصرفی (گیگاوات ساعت)	راندمان (%)	تولید (گیگاوات ساعت)	
۶۹۵۹۴۱	۳۷/۰	۲۵۷۴۹۸	انتهای سال ۹۳
۶۷۷۱۲۶	۳۷/۱۵	۲۵۱۵۳۴	وضعیت پس از حذف ۲۰۶۳ مگاوات گازی
۳۲۵۳۲	۵۰	۱۶۲۶۶	احداث ۳۰۹۵ مگاوات سیکل ترکیبی
۷۰۹۶۵۸	۳۷/۷۴	۲۶۷۸۰۰	مجموع پس از اجرای طرح
۱۴۴۱۷	۰/۷۴	۱۰۳۰۲	افزایش ناشی از اجرای طرح

جدول (۸) - میزان و هزینه سالانه سوخت مصرفی قبل و بعد از طرح تبدیل گازی به سیکل ترکیبی

هزینه سوخت	مصرف سوخت			تولید برق	تراوات ساعت
	نفت گاز	مازوت	گاز طبیعی		
میلیون دلار	میلیون لیتر	میلیون لیتر	میلیون متر مکعب		
۱۶۹۱۶	۹۰۴۷	۱۰۴۱۲	۴۸۴۶۹	۲۵۷	قبل از اجرای طرح
۱۷۲۴۹	۹۲۲۶	۱۰۶۱۷	۴۹۴۲۵	۲۶۸	پس از اجرای طرح

۱- ۱۰۳۲ مگاوات بخش بخار برابر با نصف ظرفیت ۲۰۶۳ مگاوات نیروگاه گازی در نظر گرفته شده تا مجموعاً ۳۰۹۵ مگاوات سیکل ترکیبی جدید احداث شده باشد. این ظرفیت با توجه به ضریب تولید ۰/۶۰، به همراه حذف ۲۰۶۳ مگاوات گازی با ضریب تولید ۰/۳۳، جمعاً انرژی الکتریکی مورد نظر (حدود ۱۰ تراوات ساعت) را تأمین می‌کند.

۳- احداث نیروگاه سیکل ترکیبی

در این روش، بدون تغییر آرایش فعلی نیروگاه‌های کشور، احداث ۱۹۶۰ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی باید صورت پذیرد تا میزان تولید برق مشابه روش‌های قبلی به همان میزان ۲۶۸ تراوات ساعت برسد^۱. محاسبات مربوط به تولید، راندمان مجموعه و میزان سوخت مصرفی قبل و بعد از اجرای طرح در جداول (۹) و (۱۰) نشان داده شده است. اجرای این طرح ۰/۳۷ درصد متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور را افزایش می‌دهد و هزینه اجرای آن نیز ۱۱۷۶ میلیون دلار تخمین زده می‌شود.

جدول (۹)- افزایش راندمان ناشی از احداث سیکل ترکیبی جدید

سوخت مصرفی (گیگاوات ساعت)	راندمان (%)	تولید (گیگاوات ساعت)	
۶۹۵۹۴۱	۳۷/۰	۲۵۷۴۹۸	انتهای سال ۹۳
۲۰۶۰۴	۵۰/۰	۱۰۳۰۲	احداث ۱۹۶۰ مگاوات سیکل ترکیبی
۷۱۶۵۴۴	۳۷/۳۷	۲۶۷۸۰۰	مجموع پس از اجرای طرح
۲۰۶۰۴	۰/۳۷	۱۰۳۰۲	افزایش ناشی از اجرای طرح

جدول (۱۰)- میزان و هزینه سالانه سوخت مصرفی قبل و بعد از طرح احداث سیکل ترکیبی

هزینه سوخت	مصرف سوخت			تولید برق تراوات ساعت	
	نفت گاز	مازوت	گاز طبیعی		
میلیون دلار	میلیون لیتر	میلیون لیتر	میلیون متر مکعب		
۱۶۹۱۶	۹۰۴۷	۱۰۴۱۲	۴۸۴۶۹	۲۵۷	قبل از اجرای طرح
۱۷۴۱۷	۹۳۱۵	۱۰۷۲۰	۴۹۹۰۴	۲۶۸	پس از اجرای طرح

۱- تولید انرژی الکتریکی ناشی از احداث ۱۹۶۰ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی با ضریب تولید ۶۰٪ حدود ۱۰ تراوات ساعت می‌باشد.

۴- احداث نیروگاه گازی بزرگ

در این روش نیز بدون تغییر ترکیب فعلی نیروگاه‌های کشور، نیازمند افزودن ۳۵۶۴ مگاوات نیروگاه توربین گازی بزرگ به شبکه هستیم تا میزان تولید برق به ۲۶۸ تراوات ساعت برسد^۱. محاسبات مربوط به تولید، راندمان مجموعه و میزان سوخت مصرفی قبل و بعد از اجرای طرح در جداول (۱۱) و (۱۲) ملاحظه می‌شود. در صورت اجرای این طرح، متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور، ۰/۱۳ درصد افت می‌نماید و هزینه اجرای آن نیز ۱۵۶۸ میلیون دلار تخمین زده می‌شود.

جدول (۱۱)- افزایش راندمان ناشی از احداث نیروگاه گازی بزرگ

سخت مصرفی (گیگاوات ساعت)	راندمان (%)	تولید (گیگاوات ساعت)	
۶۹۵۹۴۱	۳۷/۰	۲۵۷۴۹۸	انتهای سال ۹۳
۳۰۲۹۹	۳۴/۰	۱۰۳۰۲	احداث ۳۷۴۵ مگاوات سیکل ترکیبی
۷۲۶۲۴۰	۳۶/۸۷	۲۶۷۸۰۰	مجموع پس از اجرای طرح
۳۰۲۹۹	- ۰/۱۳	۱۰۳۰۲	افزایش ناشی از اجرای طرح

جدول (۱۲)- میزان و هزینه سالانه سوخت مصرفی قبل و بعد از طرح احداث نیروگاه گازی بزرگ

هزینه سوخت	مصرف سوخت			تولید برق تراوات ساعت	
	نفت گاز	مازوت	گاز طبیعی		
میلیون دلار	میلیون لیتر	میلیون لیتر	میلیون متر مکعب		
۱۶۹۱۶	۹۰۴۷	۱۰۴۱۲	۴۸۴۶۹	۲۵۷	قبل از اجرای طرح
۱۷۶۵۲	۹۴۴۱	۱۰۸۶۵	۵۰۵۸۰	۲۶۸	پس از اجرای طرح

۱- این میزان نیروگاه گازی با ضریب تولید ۳۳٪ حدود ۱۰ تراوات ساعت برق تولید می‌نماید.

۵- جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با گازی بزرگ و سپس احداث گازی بزرگ

در این طرح ابتدا فرض می‌شود ۳۲۴۱ مگاوات نیروگاه گازی کوچک با ضریب تولید ۲۵ درصد و متوسط راندمان ۲۴/۴ درصد از شبکه کنار گذشته شود و به جای آن ۲۴۵۵ مگاوات نیروگاه گازی بزرگ با ضریب تولید ۳۳ درصد و راندمان ۳۴ درصد جایگزین شود. سپس احداث ۳۵۶۴ مگاوات نیروگاه توربین گازی بزرگ باید صورت پذیرد تا میزان تولید برق به همان ۲۶۸ تراوات ساعت برسد. مجموعاً ۶۰۱۹ مگاوات توربین گازی بزرگ بایستی احداث گردد. محاسبات مربوط به تولید، راندمان مجموعه و میزان سوخت مصرفی قبل و بعد از اجرای طرح در جداول (۱۳) و (۱۴) ارائه شده است. در صورت اجرای این روش، متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور، ۰/۲۹ درصد بهبود می‌یابد. مجموع هزینه اجرای آن هم ۲۶۴۸ میلیون دلار برآورد می‌شود.

جدول (۱۳)- افزایش راندمان ناشی از جایگزینی گازی کوچک با بزرگ و سپس احداث نیروگاه گازی بزرگ

سخت مصرفی (گیگاوات ساعت)	راندمان (%)	تولید (گیگاوات ساعت)	
۶۹۵۹۴۱	۳۷	۲۵۷۴۹۸	انتهای سال ۹۳
۲۹۰۸۹	۲۴/۴	۷۰۹۸	حذف ۳۲۴۱ مگاوات گازی کوچک
۶۶۶۸۵۱	۳۷,۵۵	۲۵۰۴۰۰	وضعیت پس از حذف گازی کوچک
۵۱۱۷۵	۳۴/۰	۱۷۴۰۰	احداث ۶۰۱۹ مگاوات گازی بزرگ
۷۱۸۰۲۶	۳۷/۳۰	۲۶۷۸۰۰	مجموع پس از اجرای طرح
۲۲۰۸۶	۰/۳۰	۱۰۳۰۲	افزایش ناشی از اجرای طرح

جدول (۱۴)- میزان و هزینه سالانه سوخت مصرفی قبل و بعد از اجرای طرح جایگزینی گازی کوچک با بزرگ و سپس احداث نیروگاه گازی بزرگ

هزینه سوخت	مصرف سوخت			تولید برق تراوات ساعت	
	نفت گاز	مازوت	گاز طبیعی		
میلیون دلار	میلیون لیتر	میلیون لیتر	میلیون متر مکعب		
۱۶۹۱۶	۹۰۴۷	۱۰۴۱۲	۴۸۴۶۹	۲۵۷	قبل از اجرای طرح
۱۷۴۵۳	۹۳۳۴	۱۰۷۴۲	۵۰۰۰۸	۲۶۸	پس از اجرای طرح

۱- ۳۲۴۱ مگاوات نیروگاه گازی کوچک با ضریب تولید ۲۵ درصد حدود ۷ تراوات ساعت برق تولید می‌کند. کاهش تولید برق ناشی از حذف این میزان نیروگاه گازی کوچک با ۲۴۵۵ مگاوات نیروگاه گازی بزرگ با ضریب تولید ۳۳ درصد جبران می‌شود. همچنین ۳۵۶۴ مگاوات نیروگاه گازی بزرگ دیگر با ضریب تولید ۳۳ درصد احداث می‌شود که این میزان نیز حدوداً ۱۰ تراوات ساعت برق تولید می‌نماید.

۶- جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با سیکل ترکیبی

در این طرح ابتدا فرض می‌شود ۳۲۴۱ مگاوات نیروگاه گازی کوچک با ضریب تولید ۲۵ درصد و متوسط راندمان ۲۴/۴ درصد از شبکه کنار گذشته شود و به جای آن ۱۳۵۰ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی با ضریب تولید ۶۰ درصد و راندمان ۵۰ درصد جایگزین شود. سپس، نیازمندی‌ها با ۱۹۶۰ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی دیگر بوده تا کل تولید برق با حالات قبلی یکسان گردد^۱. محاسبات مربوط به تولید، راندمان مجموعه و میزان سوخت مصرفی قبل و بعد از اجرای طرح در جداول (۱۵) و (۱۶) نمایش داده شده است. در صورت اجرای این روش، متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور، ۱/۱۷ درصد بهبود می‌یابد. مجموع هزینه اجرای این روش ۱۹۸۶ میلیون دلار تخمین زده می‌شود.

جدول (۱۵) - افزایش راندمان ناشی از جایگزینی گازی کوچک با بزرگ و سپس احداث نیروگاه سیکل ترکیبی

سخت مصرفی (گیگاوات ساعت)	راندمان (%)	تولید (گیگاوات ساعت)	
۶۹۵۹۴۱	۳۷	۲۵۷۴۹۸	انتهای سال ۹۳
۲۹۰۸۹	۲۴/۴	۷۰۹۸	حذف ۳۲۴۱ مگاوات گازی کوچک
۶۶۶۸۵۱	۳۷,۵۵	۲۵۰۴۰۰	وضعیت پس از حذف گازی کوچک
۱۴۱۹۶	۵۰/۰	۷۰۹۸	احداث ۱۳۵۰ مگاوات سیکل ترکیبی
۲۰۶۰۴	۵۰/۰	۱۰۳۰۲	احداث ۱۹۶۰ مگاوات سیکل ترکیبی دیگر
۷۰۱۶۵۰	۳۸,۱۷	۲۶۷۸۰۰	مجموع پس از اجرای طرح
۵۷۱۰	۱/۱۷	۱۰۳۰۲	افزایش ناشی از اجرای طرح

جدول (۱۶) - میزان و هزینه سالانه سوخت مصرفی قبل و بعد از اجرای طرح جایگزینی گازی کوچک با بزرگ و سپس احداث نیروگاه سیکل ترکیبی

هزینه سوخت	مصرف سوخت			تولید برق	
	نفت گاز	مازوت	گاز طبیعی		
میلیون دلار	میلیون لیتر	میلیون لیتر	میلیون متر مکعب	تراوات ساعت	
۱۶۹۱۶	۹۰۴۷	۱۰۴۱۲	۴۸۴۶۹	۲۵۷	قبل از اجرای طرح
۱۷۰۵۵	۹۱۲۱	۱۰۴۹۷	۴۸۸۶۷	۲۶۸	پس از اجرای طرح

۱- ۳۲۴۱ مگاوات نیروگاه گازی کوچک با ضریب تولید ۲۵ درصد حدود ۷ تراوات ساعت برق تولید می‌کند. کاهش تولید برق ناشی از حذف این میزان نیروگاه گازی کوچک با احداث ۱۳۵۰ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی با ضریب تولید ۶۰ درصد جبران می‌شود. همچنین ۱۹۶۰ مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی با ضریب تولید ۶۰ درصد ایجاد می‌شود که این میزان نیز حدوداً ۱۰ تراوات ساعت برق تولید می‌نماید.

نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج اجرای طرح‌های فوق

نتایج اجرای طرح‌های مختلف در جدول (۱۷) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بر مبنای اطلاعات این جدول و نمودار (۲)، صرفاً از منظر شاخص بهبود راندمان، اجرای طرح شماره (۶) یعنی "جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با سیکل ترکیبی"، راندمان مجموعه نیروگاه‌های حرارتی کشور را بیش از سایر طرح‌ها افزایش خواهد داد. اجرای طرح‌های شماره (۲) و (۱) یعنی تبدیل "نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی" و "بازتوانی نیروگاه‌های بخاری" به ترتیب در رده‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند.

اما به نظر می‌رسد این شاخص نمی‌تواند به تنهایی ملاک مناسبی جهت تعیین گزینه برتر باشد. از این رو، شاخص نسبت صرفه‌جویی سوخت به هزینه اجرای طرح به عنوان معیار اصلی برای اولویت‌بندی در این مطالعه در نظر گرفته می‌شود.

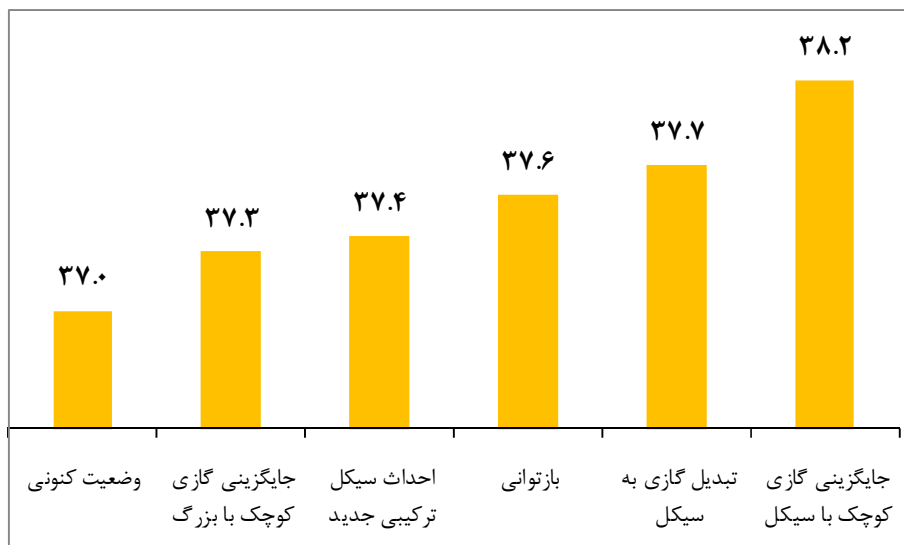
نمودار (۳) طرح‌های مختلف را از منظر این شاخص اولویت‌بندی می‌نماید. اطلاعات این نمودار حاکی از آن است که اجرای طرح "تبدیل نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی" بیشترین مزیت را به لحاظ اقتصادی خواهد داشت. طرح‌های "جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با نیروگاه‌های سیکل ترکیبی" و "بازتوانی نیروگاه‌های بخاری" نیز به ترتیب در رده‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند.

جدول (۱۷) - مقایسه نتایج حاصل از روش‌ها

شاخص‌ها شماره و نوع طرح	راندمان (درصد)	هزینه اجرا (میلیون دلار)	هزینه مصرف سوخت در یک دوره ۱۵ ساله (میلیون دلار) ^۲	صرفه‌جویی سوخت در مقایسه با ادامه وضعیت فعلی (میلیون دلار)	نسبت صرفه‌جویی سوخت به هزینه اجرای طرح
	a	b	c	d	e = d / b
حالت پایه: ادامه وضعیت فعلی ^۱	۳۷/۰	-	۱۴۷۱۹۳	-	-
۱- بازتوانی	۳۷/۵۹	۱۴۰۰	۱۴۴۸۹۹	۲۲۹۵	۱/۶
۲- تبدیل گازی موجود به سیکل ترکیبی	۳۷/۷۴	۹۲۸	۱۴۴۳۲۱	۲۸۷۳	۳/۱
۳- احداث سیکل ترکیبی جدید	۳۷/۳۷	۱۱۷۶	۱۴۵۷۲۱	۱۴۷۲	۱/۳
۴- احداث نیروگاه‌های گازی	۳۶/۸۷	۱۵۶۸	۱۴۷۶۹۳	-۵۰۰	-۰/۳
۵- جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با گازی بزرگ	۳۷/۳۰	۲۶۴۸	۱۴۶۰۲۲	۱۱۷۱	۰/۴
۶- جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با سیکل ترکیبی	۳۸/۷۳	۱۹۸۶	۱۴۲۶۹۲	۴۵۰۱	۲/۳

(۱) با فرض آنکه تأمین برق بدون تغییر آرایش فعلی، صرفاً از طریق افزایش ضریب تولید نیروگاه‌های فعلی قابل حصول باشد.

(۲) معادل ارزش حال سوخت مصرفی در دوره ۱۵ ساله، با فرض نرخ تنزیل ۱۰٪ و ثابت بودن قیمت‌های سوخت طی این دوره محاسبه شده است.



نمودار (۲) - مقایسه راندمان طرح‌های مختلف



نمودار (۳) - نسبت صرفه‌جویی سوخت به هزینه اجرا در طرح‌های مختلف (اولویت بندی نهایی)

جمع‌بندی

نتایج این مطالعه به طور خلاصه عبارتند از:

- بهبود و اصلاح آرایش فعلی نیروگاه‌های کشور بر ایجاد و ساخت نیروگاه‌های جدید ارجحیت دارد.
- بهترین گزینه‌ها برای بهبود آرایش فعلی به ترتیب عبارتند از: ۱- تبدیل نیروگاه‌های گازی موجود به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، ۲- جایگزینی نیروگاه‌های گازی کوچک با نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و ۳- بازتوانی نیروگاه‌های بخاری موجود

مراجع

- [۱] شرکت توانیر، چهل و هفت سال صنعت برق ایران در آینه آمار، ۱۳۹۳.
- [۲] شرکت توانیر، آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی در سال ۱۳۹۳.
- [3] Available from: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/efficiency-of-conventional-thermal-electricity-generation-3/assessment#toc-8> [Accessed 18 April 2015].
- [4] IPCC (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. Available from: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> [Accessed 4 May 2015].
- [5] Mitsubishi Hitachi Power systems. Available from: <https://www.mhps.com/en/technology/business/power/service/repowering/index.html> [Accessed 4 May 2015].
- [6] Alstom (2012). Case study: Gas product solutions- Cluas C: The Netherlands repowering.
- [7] Fränkle M. (2006). SRS: The standardized repowering solution for 300 MW steam power plants in Russia. Siemens Power Generation, Germany.
- [8] Mehrpanahi et al. (2013). Investigation of the effects of repowering options on electricity generation cost on Iran steam power plants. International Journal of Sustainable Energy, 32:4, 229-243.
- [۹] حسینعلی پور و مهرپناهی. (۱۳۸۸). بررسی اقتصادی بازتوانی نیروگاه‌های بخار در مقایسه با احداث نیروگاه‌های گازی. مجله انرژی، شماره ۳۲.
- [۱۰] معاونت برنامه‌ریزی و توسعه شبکه شرکت توانیر. (۱۳۹۳). برنامه توسعه ظرفیت نیروگاه‌های کشور تا انتهای برنامه پنج ساله ششم.
- [11] 6th OPEC International Seminar. (2015). Petroleum: An Engine for Global Development.