

مقایسه اقتصادی ۱۰ راهکار تأمین برق جایگزین به منظور مقابله با پیک تابستانه در صنایع لاستیک ایران

پیمان نجاری^{۱*} و مهدی شفیعی^۲

۱- دانشجوی دکتری مهندسی برق قدرت، بیرجند

۲- کارشناس ارشد مهندسی برق قدرت، بیرجند

peyman.bb.1997@gmail.com

چکیده: ناترازی برق در ایران طی ماه‌های گرم، صنایع فرایند ۲۴ ساعته مانند کارخانجات تایرسازی را ناچار به کاهش بار یا پذیرش خاموشی می‌کند. پیامد مستقیم، کاهش تولید، افت بهره‌وری و افزایش هزینه‌های پنهان است. این مقاله با تکیه بر داده‌های فرضی برای یک کارخانه تایرسازی (میانگین توان مصرفی ۶ مگاوات با تولید ماهانه ۴ میلیون کیلوگرم) مجموعه‌ای از راهبردها را به صورت اقتصادی فنی مقایسه می‌کند که عبارت‌اند از: کاهش بار مستقیم، تولید خودتأمین (دیزل ژنراتور و نیروگاه خورشیدی/هیبرید)، تأمین برق با سوخت آزاد، خرید برق از بورس انرژی و بازار انرژی تجدیدپذیر (تابلوی سبز)، خرید گواهی ظرفیت، برون سپاری بخش انرژی بر مواد (مانند خرید کامپاند)، مدیریت بار داخلی کارخانه، احداث نیروگاه اختصاصی گازی/CHP و افزایش ظرفیت تجهیزات (مانند خرید بنبوری جدید). در تحلیل‌های پایه، خاموشی/کاهش بار ۱۰۰ ساعت در ماه در نظر گرفته شده است که معادل ۶۰۰ مگاوات ساعت کمبود انرژی و حدود ۵۵۵,۰۰۰ کیلوگرم افت تولید است. نتایج نشان می‌دهد که کاهش مستقیم بار از طریق کاهش تولید ساده‌ترین، اما زیان‌بارترین گزینه است. تولید برق از طریق دیزل ژنراتور با سوخت آزاد از نظر هزینه انرژی رقابتی است، اما ریسک دسترسی به سوخت، نگهداری و ملاحظات زیست‌محیطی و هزینه‌های تولید برق را در پی دارد. خرید برق تجدیدپذیر (تابلوی سبز) با مزیت حقوقی (پوشش مقرراتی و تضمین تحویل/جبران) در دوران پیک مصرف، می‌تواند گزینه‌ای مطمئن برای استمرار تولید باشد. گواهی ظرفیت ابزار مکمل حقوقی برای معافیت و کاهش ریسک مدیریت بار است. در بلندمدت، نیروگاه اختصاصی گازی یا CHP و همچنین افزایش ظرفیت تجهیزات، کم‌هزینه‌ترین کلاف سطحی انرژی و پر قدرت‌ترین سپر ناترازی است، اما نیازمند سرمایه‌گذاری و صرف زمان است.

واژه‌های کلیدی: ناترازی انرژی، کاهش بار، برق خودتأمین، دیزل ژنراتور، برق تجدیدپذیر، بورس انرژی، گواهی ظرفیت، مدیریت بار

مقدمه

صنعت تأیر به دلیل پیوستگی فرایند، حساسیت کیفی و سهم بالای بارهای ضربی (بنبوری‌ها، کمپرسورها، خطوط حرارتی و تهویه) به برق پایدار و قابل پیش‌بینی وابسته است. در سال‌های اخیر، وزارت نیرو برای گذر از اوج بار تابستانه، «برنامه‌های مدیریت بار صنایع» را ابلاغ کرده که چارچوب همکاری، زمان‌بندی‌ها و مشوق/جرائم را مشخص می‌کند. این برنامه‌ها از سوی دفتر معاونت برق و انرژی، برای تابستان ۱۴۰۳ به صورت رسمی به صنایع ابلاغ و توسط شرکت‌های برق منطقه‌ای و توزیع به اجرا گذاشته شد؛ ماهیت برنامه، کاهش یا جابجایی بار در پنجره‌های پیک است و برای مشتریان بزرگ، مکانیسم‌های مکمل مانند «بورس انرژی/تابلوی سبز» و «گواهی ظرفیت» نیز پیش‌بینی شده است [۱].

به موازات، مسیرهای حقوقی جدیدی برای تأمین برق از خارج زنجیره سنتی باز شده است: «ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش‌بنیان و آیین‌نامه اجرایی آن» صنایع بالای ۱ مگاوات را به تأمین تدریجی بخشی از برق از منابع تجدیدپذیر مکلف می‌کند و سازوکار قیمت‌گذاری/تسویه «برق سبز» را تعریف می‌کند؛ «دستورالعمل توسعه مبادلات برق در بورس انرژی» نیز ابزار خرید مستقیم برق، و تضمین تحویل/جبران خسارت در صورت عدم تحویل را برای صنایع فراهم می‌کند. هم‌زمان، تفاهم‌نامه وزارت نیرو و وزارت صمت برای احداث ۱۰,۰۰۰ مگاوات نیروگاه خودتأمینی صنایع، مسیر بلندمدتی برای رهایی از ناترازی ترسیم کرده است.

کارخانه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، میانگین بار الکتریکی در بازه ۵ تا ۷ مگاوات نوسان می‌کند و با این فرض که برنامه‌های مدیریت پیک در تابستان، کارخانجات را ناگزیر می‌کند که ماهانه مجموعاً حدود ۱۰۰ ساعت بار الکتریکی خود را کاهش دهند یا برخی بخش‌ها را خاموش کنند؛ در این مقاله از نظر فنی و اقتصادی رویکردهای مختلف مواجهه با این چالش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بخش تجربی

روش تحلیل و فرضیه‌های پایه

فرض شود کارخانه در ماه موردنظر به دلیل مدیریت پیک، ۱۰۰ ساعت کاهش خاموشی دارد. کمبود انرژی معادل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta E = P_{avg} \times t_{peak} = 600 MWh \quad (1)$$

فرض می‌شود تولید ماهانه ۴,۰۰۰,۰۰۰ کیلوگرم تأیر است. با توجه به این که ۱۰۰ ساعت از حدود ۷۲۰ ساعت کاری ماهانه معادل ۱۳.۹٪ زمان است، افت تولید به صورت تقریبی معادل ۵۵۵,۰۰۰ کیلوگرم خواهد بود. از این رو، زیان اقتصادی ناشی از کاهش بار به صورت پارامتری $X \times ۵۵۵,۰۰۰$ ریال است (که در آن X سود از دست‌رفته به ازای هر کیلوگرم تأیر است).

برای سایر سناریوها، هزینه انرژی را برحسب تومان به ازای kWh و سپس برای ۶۰۰,۰۰۰ kWh محاسبه می‌کنیم. قیمت‌ها براساس داده‌های عملیاتی این چنین در نظر گرفته شده‌اند: گازوئیل یارانه‌ای هر لیتر معادل ۳۰۰۰ ریال (دسترس‌ی بسیار دشوار)، گازوئیل آزاد هر لیتر ۱۲۰,۰۰۰ ریال؛ برق تجدیدپذیر (تابلوی سبز) در تابستان هر کیلووات ساعت ۵۵,۰۰۰ تا ۸۰,۰۰۰ ریال. مصرف ویژه سوخت دیزل ژنراتور ۰.۲۴ تا ۰.۳۰ لیتر (میانگین ۰.۲۷) لیتر به ازای هر کیلووات و هزینه نگهداری آن متغیر ۴,۰۰۰ تا ۷,۰۰۰ ریال به ازای هر کیلووات در نظر گرفته می‌شود.

سناریوها و فرایند اجرایی

سناریوی کاهش بار مستقیم

در چارچوب برنامه مدیریت پیک شرکت برق منطقه‌ای/توزیع، کارخانه تأیر به کاهش بار در ساعات اوج متعهد می‌شود؛ این کاهش می‌تواند خاموشی کامل زیرسیستم‌های انرژی بر (بنبوری/کمپرسورها/کوره‌های گرمایی) یا کاهش نرخ

برق از این روش به شرح زیر است:

$$C_{re} = \frac{70000 \times 24 \times 30 \times 6000}{\text{price}(\text{ang}) \times t \times P} = 302400000000 \quad (5)$$

خرید کامپاند نیمه‌فرآوری شده به جای کائوچو خام

با برون سپاری اختلاط، بار بنبوری در ساعات اوج از داخل کارخانه حذف می‌شود. بهای کامپاند را δ ریال/کیلوگرم گران‌تر از کائوچو خام فرض می‌کنیم. اگر در ۱۰۰ ساعت پیک، به اندازه q کیلوگرم از بیرون کامپاند بخریم، هزینه اضافی $\delta \times q$ است؛ در مقابل، انرژی اختلاط و ریسک کیفی/توقف داخل کارخانه کاهش می‌یابد. این سناریو برای ماه‌های اوج، ابزار عمل‌گرایانه‌ای است.

سناریوی خرید گواهی ظرفیت

«اوراق گواهی ظرفیت» ابزار سیاستی بازار برق ایران است که از ۱۳۹۸ فعال شده و حجم معاملات آن تا ۱۴۰۳ از ۲,۳۶۰ تا ۲,۴۴۰ مگاوات گزارش شده است؛ این اوراق برای تضمین ظرفیت تأمین و کاهش ریسک مدیریت بار مشترکین بزرگ به کار می‌رود. قیمت این اوراق، تابع بازار است؛ شایان‌ذکر است این ابزار، بیمه‌ی حقوقی مکمل خرید انرژی از شبکه/بورس است (نه جایگزین انرژی).

مدیریت بار داخلی (DSM)

بازطراحی برنامه تولید (تعویق بچ‌های بنبوری به ساعات غیرپیک)، جابجایی شیفت‌ها، بهینه‌سازی کمپرسورها (خاموشی کمپرسورهای مازاد، کنترل فشار بهینه)، قطعی روشنایی/تهویه در خطوط غیرفعال، و اجرای اینترلاک زمانی برای جلوگیری از هم‌پوشانی راه‌اندازی‌های بزرگ، می‌تواند توان مصرفی در زمان پیک را بین ۱۰ تا ۲۰٪ کاهش دهد. هزینه سرمایه‌ی این سناریو ناچیز است (زیرا تنها مستلزم بهره‌گیری از نرم‌افزارها، زمان‌بندی دقیق، آموزش و تدوین دستورالعمل است)، اما نیازمند انضباط بهره‌برداری و همراهی منابع انسانی است. این روش به‌تنهایی پاسخگوی مدیریت مصرف انرژی در ایام پیک مصرف نیست، اما مکمل قدرتمند سایر سناریوها است.

احداث نیروگاه اختصاصی گازی/CHP (راهبرد بلندمدت)

مبتنی بر برنامه ۱۰,۰۰۰ مگاوات صنعتی و مقررات «قانون مانع‌زدایی از توسعه صنعت برق»، صنایع می‌توانند نیروگاه‌های اختصاصی بسازند (ازجمله نیروگاه‌های گازی ساده/ترکیبی یا CHP). هزینه هم‌تراز انرژی (که نشان می‌دهد هزینه تولید هر کیلووات‌ساعت برق از یک منبع مشخص (مثلاً نیروگاه گازی، بادی یا خورشیدی) در طول کل عمر مفید آن نیروگاه چقدر خواهد بود) با گاز طبیعی نیروگاهی، بسته به نرخ سوخت/ظرفیت‌کار/هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، در بازه‌ی ۵۰۰ دلار به ازای هر کیلووات برآورد می‌شود [۲]؛ CHP با بازیافت حرارت (مثلاً برای بخار/روغن داغ کلندر) می‌تواند هزینه مؤثر را اندکی پایین‌تر هم بیاورد. مزیت‌های این روش استقلال پایدار از ناترازی شبکه، امکان فروش مازاد در بورس انرژی/بازار و هم‌افزایی حرارتی (CHP) است. از چالش‌ها نیز می‌توان به سرمایه‌گذاری سنگین، زمان اخذ مجوز/اتصال، نیاز به قرارداد سوخت پایدار و دانش O&M نیروگاهی اشاره کرد.

سناریوی احداث نیروگاه خورشیدی اختصاصی

احداث یک نیروگاه خورشیدی در مجاورت کارخانه یا بر روی بام سوله‌ها، یکی از گزینه‌های پایدار برای مقابله با ناترازی انرژی در صنعت تایرسازی است. با توجه به پتانسیل تابش خورشید در ایران که به‌طور متوسط سالانه بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع برآورد می‌شود، امکان تولید برق پایدار در ساعات روز فراهم است. براساس مصوبه‌های اخیر وزارت نیرو و «تابلوی سبز بورس انرژی»، صناعی که ۱۰٪ برق خود را از منابع تجدیدپذیر تأمین کنند، از محدودیت‌های قطع یا کاهش بار در ساعات اوج مصرف تابستان معاف خواهند شد. این ویژگی باعث می‌شود که کارخانه بتواند در کل سال تولید مداوم داشته باشد و از زیان‌های هنگفت ناشی از توقف ماشین‌آلات جلوگیری کند.

تولید باشد. فرایند اجرایی شامل: دریافت برنامه‌ی هفتگی/روزانه، برنامه‌ریزی تولید، هم‌زمان‌سازی با زنجیره‌ی تأمین، و ثبت همکاری برای دریافت پاداش/تخفیف احتمالی است. پیامد اقتصادی، کاهش مستقیم تولید و افزایش ضایعات نیمه‌ساخته است؛ همچنین در کارخانجات تایرسازی، توقف‌های مقطعی بنبوری و تغییرات دمایی می‌تواند منجر به عدم یکنواختی اختلاط و کاهش کیفیت شود که ریسک مرجوعی/ضایعات را بالا می‌برد. باتوجه به فرضیات، زیان ماهانه این روش به‌صورت پارامتری معادل $555,000 \times X$ ریال است و افزون‌بر آن، ضایعات کیفی در اختلاط (به‌دلیل وقفه‌های مکرر و شوک‌های حرارتی) هزینه‌های پنهان بیشتری تحمیل می‌کند. همچنین از منظر عملیاتی، برنامه‌ریزی تولید، جابجایی بچ‌ها، مدیریت مواد و کنترل کیفیت، پیچیده و پرهزینه می‌شود. لذا کاهش تولید فقط هنگامی قابل قبول است که گزینه‌ی جایگزین عملیاتی/حقوقی در دسترس نباشد.

سناریوی تولید خودتأمین با دیزل ژنراتور (و هیبرید دیزل - خورشیدی)

این سناریو بر اکوسیستم اضطراری موجود در اغلب صنایع تکیه دارد. برای جبران ۶ MW توان کاهش‌یافته در ساعات پیک، ترکیبی از چند دستگاه دیزل ژنراتور موردنیاز است. با فرض استفاده از سوخت یارانه‌ای و مصرف ۲۷۰ لیتر در هر ساعت (جهت تولید هر مگاوات برق)، هزینه تأمین سوخت از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$C_{fuel} = \frac{270 \times 6}{\text{fuel for } 6MW} \times 100 \times \frac{3000}{t_{peak} \times price} = 486000000 \quad (2)$$

همچنین هزینه‌های مربوط به تعمیرات و نگهداری این سناریو از رابطه (۳) محاسبه می‌شود که معادل ۲۳ تا ۲۹ میلیارد ریال است.

$$C_{O\&M} = (4000 \leftrightarrow 7000) \times 600^{MWh} = (2.4 \leftrightarrow 4.2) \times 10^9 \quad (3)$$

مزیت اصلی این سناریو، آمادگی فوری و استقلال نسبی از شبکه است؛ اما ریسک‌های عدم قطعیت تخصیص سوخت، لجستیک، نگهداشت سنگین و آلاینده‌ی زیست‌محیطی باید در نظر گرفته شود. به‌منظور توسعه و افزایش راندمان این سناریو، می‌توان به‌صورت ترکیبی از دیزل ژنراتور و نیروگاه خورشیدی بهره گرفت و این امر می‌تواند در ساعات روز مصرف سوخت را ۱۵ تا ۳۰٪ کاهش دهد؛ با این حال در باقی ساعات نیاز به دیزل ژنراتور باقی می‌ماند.

سناریوی تأمین سوخت آزاد

در عمل، بخش مهمی از ریسک سناریوی استفاده از دیزل ژنراتور، دسترسی به سوخت یارانه‌ای است. در مواقع عدم تأمین گازوئیل یارانه‌ای و وجود چالش در تأمین آن، برخی صنایع ناچار به استفاده از سوخت آزاد می‌گردند. ویژگی‌های این روش مشابه همان سناریوی قبل است؛ با این تفاوت‌ها که: الف) ریسک توقف تولید به علت نرسیدن یا تأمین نشدن سوخت، خود به هزینه‌ی مؤثر اضافه می‌شود (وقفه‌ی ثانویه) و ب) هزینه‌های تأمین سوخت آزاد که به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$C_{fuel} = \frac{270 \times 6}{\text{fuel for } 6MW} \times 100 \times \frac{120000}{t_{peak} \times price} = 19440000000 \quad (4)$$

خرید برق از بورس انرژی/تابلوی سبز و قراردادهای سبز

«دستورالعمل توسعه مبادلات برق در بورس انرژی» مسیر خرید مستقیم برق را به روی مشترکان صنعتی بالای ۱ مگاوات باز کرده است و قواعد تضمین تحویل/جبران را صریحاً معین می‌کند (در صورت عدم تحویل، مکانیسم جبران مالی پیش‌بینی شده است). در تابلوی سبز، برق تجدیدپذیر عرضه می‌شود و قیمت تابستانی هر کیلووات ساعت از آن تقریباً ۵۵,۰۰۰ تا ۸۰,۰۰۰ تومان است. مزیت کلیدی این سناریو، پوشش حقوقی (کاهش ریسک اعمال مدیریت بار از سوی شبکه در زمانی که برق پیش‌خرید شده است و سازوکار جبران عدم تحویل وجود دارد) و عدم نیاز به O&M است. نوسان قیمت بازار، نیاز به قراردادهای حقوقی و مدیریت ریسک قیمت از ریسک/چالش‌های این روش است. هزینه‌های تأمین

توصیه اجرایی

الف) کوتاهمدت (تابستان جاری): ترکیب «خرید برق از تابلوی سبز برای ساعات پریسک + DSM + خرید گواهی ظرفیت» ریسک توقف و اعمال مدیریت پیک را بهطور چشمگیری کاهش می‌دهد؛ در صورت کمبود عرضه، دیزل آزاد صرفاً بهعنوان پشتیبان محدود استفاده شود.

ب) میانمدت: برون‌سپاری هوشمند اختلاط در پیک مصرف (خرید کامپاند منتخب)، افزودن PV پشت‌متر برای کاهش مصرف سوخت دیزل در روز، تداوم خرید گواهی ظرفیت در قیمت مناسب.

ج) بلندمدت: نیروگاه اختصاصی گازی/CHP بهعنوان سپر ساختاری، و سناریوی ۹ (بنبوری جدید) برای انتقال بار به غیرپیک و حذف افت تولید؛ ترکیب این دو، انعطاف عملیاتی و پایداری اقتصادی را به سطحی می‌رساند که نوسانات شبکه تأثیر حداقلی بر تولید داشته باشد.

نتیجه‌گیری

برای کارخانه‌ی تیرسازی با بار ۶ MW و ۱۰۰ ساعت پیک ماهانه، «کاهش بار» عملاً گران‌ترین مسیر است؛ زیرا زبان آن تابع X است و معمولاً از کل گزینه‌های انرژی فراتر می‌رود. «دیزل با سوخت آزاد» از نظر اسمی ارزان‌تر از «برق سبز» است، اما ریسک سوخت/نگهداشت می‌تواند هزینه‌ی مؤثر را بالا ببرد. «برق سبز» با پوشش قراردادی تحویل/جبران، گزینه‌ای ایمن و پیش‌بینی‌پذیر برای استمرار تولید است. «گواهی ظرفیت» بیمه‌ی مقرراتی کم‌هزینه‌ای است و باید همراه خرید انرژی به‌کار رود. در افق بلندمدت، CHP و افزایش ظرفیت تجهیزات انعطاف ساختاری و پوشش ریسک را به‌طور پایدار ارتقاء می‌دهند. توصیه می‌شود با مقارن‌دهی واقعی X و δ و γ مرزهای بی‌تفاوتی و ترکیب بهینه‌ی ویژه‌ی کارخانه تعیین و در قالب برنامه‌ی اجرایی سه‌افقی (کوتاه/میان/بلندمدت) مصوب شود.

از منظر اقتصادی، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث یک نیروگاه خورشیدی حدود ۴۰۰ دلار بر کیلووات تخمین زده می‌شود. در مقایسه با زبان کاهش بار و همچنین خرید برق آزاد، این سناریو در بلندمدت اقتصادی‌تر خواهد بود. همچنین افزون‌بر صرفه‌جویی مستقیم، کاهش آلاینده‌ی محیط‌زیستی و بهبود تصویر برند سبز کارخانه نیز از مزایای مهم این سناریو به‌شمار می‌آیند [۳].

سناریوی افزایش ظرفیت تجهیزات (خرید بنبوری جدید برای انتقال بار به غیرپیک)

راهکار بلندمدت دیگر، افزایش ظرفیت تولید با نصب تجهیزات اضافه (مثلاً یک بنبوری جدید) است تا در ساعات غیر پیک تولید بیشتری صورت گیرد و در ساعات پیک برخی خطوط خاموش بمانند. این روش هزینه سرمایه‌گذاری بالایی دارد، اما در بلندمدت انعطاف‌پذیری زیادی برای مدیریت انرژی فراهم می‌کند. از نظر فرایندی، این راهکار مستلزم تعیین ظرفیت هدف (مثلاً ۱۵ تا ۲۵٪ ظرفیت اختلاط در ساعات غیرپیک)، جانمایی، تقویت تابلو/ترانس، همسان‌سازی با پایین‌دست (کلندر/اکسترودر/پخت) و بازمهندسی برنامه تولید و مدیریت مصرف داخلی است [۴].

جدول مقایسه‌ی یکپارچه سناریوها

برای آن که تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب راهبرد مناسب در مواجهه با ناترازی انرژی در صنعت تیرسازی شفاف‌تر شود، لازم است تمامی سناریوهای مطرح‌شده نه‌تنها از نظر فنی، بلکه از جنبه‌های اقتصادی، اجرایی و ریسک‌های احتمالی در یک نگاه مقایسه شوند. به همین منظور، جدول ۱ به‌عنوان یک خلاصه تحلیلی جامع ارائه‌شده است که ویژگی‌ها، هزینه‌ها، مزایا و معایب ده سناریوی پیشنهادی را در کنار هم نشان می‌دهد.

جدول ۱-

سناریو	فرآیند اجرایی	هزینه‌های مستقیم	هزینه‌های تبعی	مزایا	معایب و ریسک‌ها
۱) کاهش تولید	تبعیت از برنامه پیک، خاموشی/کاهش نرخ	-	$555,000 \times X$	بدون سرمایه‌گذاری، فوری	بیشترین زیان تولید/کیفیت، ریسک زنجیره‌ای
۲) بهره‌گیری از دیزل ژنراتور (سوخت یارانه‌ای)	ژنراتورها + سوخت‌رسانی	۴/۴ تا ۲/۴ میلیارد ریال	PM، لجستیک، آلاینده‌ی	آماده‌به‌کار، مستقل از شبکه	ریسک سوخت/خرابی؛ مجوزهای زیست‌محیطی
۳) بهره‌گیری از دیزل ژنراتور با سوخت آزاد	خرید گازوئیل آزاد	۱۹ میلیارد ریال	PM، لجستیک، آلاینده‌ی، ریسک وقفه سوخت	راهکار فوری	نوسان قیمت/دسترسی؛ ایمنی ذخیره
۴) خرید برق سبز یا برق آزاد	قرارداد تابلوی سبز	۳۰۰ میلیارد ریال	O&M ≈ صفر	تضمین تحویل/جبران؛ پیش‌بینی‌پذیری	نوسان قیمت؛ نیاز به قرارداد
۵) خرید کامپاند فرآوری‌شده	برون‌سپاری اختلاط	$\delta \times q$	کاهش ریسک کیفی/ضایعات	حذف پیک بنبوری در اوج	وابستگی تأمین؛ افزایش بهای ماده
۶) خرید گواهی ظرفیت	خرید اوراق ظرفیت	متغیر	-	روش حقوقی	محدودیت عرضه؛ مکمل انرژی
۷) DSM کارخانه	زمان‌بندی، اینترلاک، بهینه‌سازی	-	اندک (سازمانی)	کم‌هزینه، سریع و مکمل	اثر محدود؛ نیاز به انضباط
۸) احداث نیروگاه گازی/CHP	سرمایه‌گذاری اختصاصی	۳ میلیون دلار	هزینه اولیه و زمان اجرا	پایداری بلندمدت؛ امکان فروش مازاد	سرمایه‌بر؛ نیاز به سوخت پایدار
۹) احداث نیروگاه خورشیدی	سرمایه‌گذاری اختصاصی	۲,۵ میلیون دلار	اندک	صرفه‌جویی مستقیم، کاهش آلاینده‌ی محیط‌زیستی	عدم تولید برق در شب
۱۰) افزایش ظرفیت ماشین‌آلات	افزایش ظرفیت اختلاط و انتقال بار	متغیر	هزینه اولیه و زمان اجرا	حذف افت تولید؛ انعطاف تولید	گلوگاه پایین‌دست؛ فضا/برق

مراجع

- [۱] آیین‌نامه‌ها و ابلاغیه‌های مدیریت پیک صنایع، وزارت نیرو ۱۴۰۳.
- [۲] دستورالعمل/قراردادهای خرید برق از بورس انرژی (تابلوی سبز)، آخرین ویرایش‌های ابلاغ‌شده.
- [۳] برنامه‌ی توسعه‌ی خودتأمینی صنایع (۱۰,۰۰۰ مگاوات) و مستندات اجرایی مرتبط.
- [۴] فهرست‌های فنی و استعلامات تأمین‌کنندگان بنبوری صنعتی (کلاس L۲۷۰ و هم‌رده) برای تخمین مهندسی CAPEX.