اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع

ایران، تهران، خرداد ۱۳۸۸

تامین نیازهای سرمایشی و گرمایشی مناطق اطراف نیروگاهها با بکارگیری فناوری تولید همزمان برق و حرارت در کشور

محمد ابراهیم سربندی فراهانی، [۱]پریسا صیاد[۲] .

۱- مربی پژوهشی، پژوهشگاه نیرو، efarahani@nri.ac.ir

۲- شرکت فسان P-Sayyad@Fassan.com

چکیده

با افزایش قیمت حاملهای انرژی و محدودیتهای زیست محیطی استفاده از سوختهای فسیلی، ضرورت بکارگیری و بومی سازی فناوریهای انرژی کارا در کشور بخوبی احساس می گردد. با توجه به گستردگی مصرف سوختهای فسیلی در بخش تامین نیازهای حرارتی، برودتی و تهویه مطبوع و توسعه روزافزون آن، ضرورت بهینه سازی این بخش از مصرف بخوبی احساس می گردد. از طرف دیگر استفاده از فناوری تولید همزمان برق و حرارت پتانسیلهای صرفه جویی عظیمی در مصرف انرژی در کشور فراهم می سازد. به همین دلیل، بکارگیری سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت در نیروگاههای کشور با هدف کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی از جمله چالشهای مهم کشور هم در حوزه تولید و هم در حوزه مصرف محسوب می‌گردد. در مقاله حاضر به بررسی امکان بکارگیری سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت از دیدگاههای مختلف پرداخته شده است. در این راستا انواع واحدهای نیروگاهی کشور اعم از بخاری، گازی و سیکل ترکیبی از لحاظ پتانسیل بکارگیری سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که بکارگیری و بومی‌سازی فن‌آوری تولید همزمان حرارت و برق با هدف تامین نیازهای حرارتی و برودتی مناطق اطراف نیروگاهها به میزان قابل توجهی باعث صرفه جویی در مصرف سوختهای فسیلی در کشور شده و از جمله راهکارهای مواجهه با افزایش قیمت منابع انرژی فسیلی محسوب می‌گردد. علاوه براین استفاده از این فناوری می تواند در کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی ناشی از فرایند تولید برق و حرارت نقش موثری ایفا نماید. بکارگیری این فناوری به میزان قابل توجهی صنایع سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع را تحت تاثیر قرار خواهد داد. تدوین استراتژی برای ورود وبومی‌سازی این فناوری درکشور، یکی از اقدامات ضروری در بهینه‌سازی برنامه‌ریزی عرضه و مصرف انرژی در کشور محسوب گردیده و به لحاظ ابعاد ملی آن، نیازمند توجه ویژه دست اندر کاران ذیربط است.

کلمات کلیدی : تولید همزمان، گرمایشی، سرمایشی، تهویه مطبوع

۱- مقدمه

در راستای بهبود بازدهی انرژی در نیروگاهها از یک طرف، و تامین نیازهای سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع از طرف دیگر، استفاده از فناوری تولید همزمان قدرت و حرارت در بسیاری از نیروگاههای پیشرفته دنیا مرسوم گردیده است. به کمک این فناوری می‌توان از حرارت تولید شده در فرایند تولید برق به صورت مطلوبی استفاده و از تلف شدن آن جلوگیری به عمل آورد. بکارگیری، انتقال و بومی‌سازی فناوری تولید همزمان برق و حرارت به دلایل گوناگون نظیر افزایش تعداد واحدهای تولید برق، بهینه‌سازی مصرف سوخت، کاهش آلودگی محیط زیست و کاهش هزینه‌های تولید یک ضرورت ملی و یکی از چالشهای مهم بخش تولید و مصرف انرژی در کشور محسوب می گردد.

قابلیت یک نیروگاه معمول برای تبدیل به نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت از جنبه های مختلف بایستی مورد بررسی قرار گیرد. بررسی قابلیت برداشت حرارت از نیروگاههای کشور یکی از این جنبه ها است. مقدار حرارتی که می توان از هر نیروگاه در صورت تبدیل به سیستم تولید همزمان به صورت بخار یا آب داغ برداشت نمود، به پارامترهای مختلفی از جمله نوع سیکل نیروگاهی(.بخاری، گازی و سیکل ترکیبی)، راندمان نیروگاه ، تجهیزات نیروگاه ، توان تولیدی و ... بستگی دارد.

موضوع دیگری که بایستی در تبدیل نیروگاهها به سیستم تولید همزمان مورد توجه قرار گیرد، بررسی بار حرارتی مورد نیاز مناطق اطراف نیروگاهها اعم از خانگی، تجاری و صنعتی است. چرا که یکی از ملزومات ایجاد یک نیروگاه تولید همزمان، وجود تقاضا برای حرارت تولیدی آن نیروگاه در مناطق اطراف آن می‌باشد. در این راستا لازم است نحوه انتقال حرارت از نیروگاه به مناطق مجاور نیز از دید سیستمهای باز و بسته و همچنین مستقیم و غیر مستقیم مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت آنچه بایستی در پیاده سازی یک فناوری مورد توجه ویژه قرار گیرد، نسبت منافع به هزینه آن فناوری می‌باشد.

این پژوهش با هدف بررسی پتانسیل تبدیل نیروگاههای کشور به نیروگاههای تولید همزمان برق و بررسی اثرات آن بر صنایع سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع صورت گرفته است. جهت نیل به این هدف میزان کاهش مصرف سوخت و هزینه ناشی از بکارگیری سیستم تولید همزمان برق و حرارت و سایر عوامل موثر در این زمینه در تمام نیروگاههای کشور در دو سناریوی قیمت سوخت داخلی و قیمت فوب (FOB) خلیج فارس برای سوختهای گاز، گازوئیل و مازوت مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه تحلیل فنی و اقتصادی در مورد سه نیروگاه بخاری، گازی و سیکل ترکیبی نمونه که پتانسیل بیشترین هزینه کاهش مصرف سوخت را در صورت تبدیل به سیستم تولید همزمان خواهند داشت، در قالب دو سناریوی قیمت سوخت داخلی و قیمت قیمت فوب (FOB) خلیج فارس برای سوختهای گاز، گازوئیل و مازوت انجام شده است. در پایان بر اساس نتایج این طرح برای توسعه این فناوری در کشور راهکارهای پیشنهادی ارایه گردیده است. شایان ذکر است که این مقاله بر گرفته از مطالعات تفصیلی یک طرح تحقیقاتی می باشد که فرایند مطالعه و نتایج آن در مراجع[۱] الی [۳] ارایه شده است.

با توجه به نقش بارز فناوری تولید همزمان برق و حرارت در کاهش آلاینده‌های زیست محیطی فرایند تولید برق و حرارت، این موضوع در قالب یک مقاله پژوهشی در مرجع شماره[۴] ارایه گردیده است. ملاحظات صرفه جویی انرژی سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت از جمله مزیتهای این فناوری محسوب می‌گردد. به همین لحاظ در این مقاله تمرکز اصلی بر روی اثرات بکارگیری این فناوری در کاهش مصرف انرژی ناشی از تولید برق و حرارت در نیروگاههای حرارتی و به تبع آن تاثیر آن بر صنایع سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع کشور است.

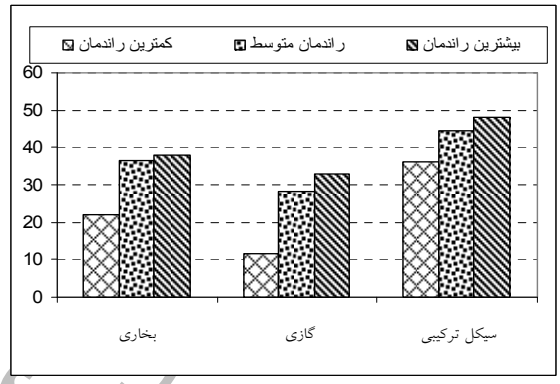
۲- بررسی نیروگاههای کشور ازنظر پتانسیل تجهیز به فن‌آوری تولید همزمان برق و حرارت

نیروگاههای حرارتی یکی از بخشهای انرژی بر در فرایند تامین برق با استفاده از سوختهای فسیلی محسوب می گردند. به گونه ای که در سال ۱۳۸۵سوخت مصرفی نیروگاهها برابر با ۳۰۲/۹ میلیون

Archive of SID

www.SID.ir

بشکه معادل نفت خام بوده است. از مقدار فوق به ترتیب ۸۰/۹ و ۲۲۲ میلیون بشکه معادل نفت خام به فراورده های نفتی و گاز طبیعی اختصاص داشته است. به عبارت دیگر حدود ۳۰/۵ درصد گاز مصرفی کشور و ۱۱ درصد فراورده های نفتی در سال ۱۳۸۵ در نیروگاهها به مصرف رسیده است. متوسط راندمان نیروگاههای کشور در سال پیش گفته حدود ۳۵/۸ درصد بوده است[۵]. در نمودار (۱) متوسط راندمان هر یک از انواع واحدهای نیروگاهی (گازی، سیکل ترکیبی و بخاری) به همراه کمترین و بیشترین راندمان واحدهای نیروگاهی کشور نمایش داده شده است.



نمودار (۱) راندمان متوسط، بیشینه و کمینه انواع واحدهای نیروگاهی

همانگونه که ملاحظه می گردد بین انواع واحدهای نیروگاهی کشور اختلاف راندمان قابل توجهی مشاهده می گردد (متوسط راندمان واحدهای سیکل ترکیبی ۴۴/۴ و متوسط راندمان واحدهای گازی ۲۸/۱ درصد است). رویکرد بخش تولید صنعت برق جهت توسعه بخش مهمی از ظرفیتهای نیروگاهی بر اساس واحدهای سیکل ترکیبی نشان از مزیت نسبی این نوع واحدهای نیروگاهی نسبت به واحدهای بخاری و گازی دارد که با افزایش قیمت سوخت، بر مزیت نسبی این نوع واحدها افزوده گردیده است. ترویج این الگو در تمام مناطق کشور مناسب نیست. به عنوان مثال در مناطق جنوبی کشور که با مشکل تامین آب و تامین نیازهای حرارتی و برودتی مواجه هستند استفاده از سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت با هدف تامین آب، برق و برودت نسبت به سیستمهای سیکل ترکیبی از بازدهی بالاتر (بالای ۸۰ درصد) و مزیت بیشتری برخوردار است.

با توجه به موارد پیش گفته و افزایش ارزش انواع سوختهای فسیلی و محدودیتهای کشور در تامین حاملهای انرژی، این ساختار در بخش تولید و مصرف در آینده شاهد چالشها وتحولات قابل توجهی خواهد بود. یکی از راههای مواجهه با این چالش بزرگ بکارگیری و بومی سازی فناوری سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت در بخشهای تولید و مصرف می باشد. به کمک این فناوری دستیابی به بازدهی کلی بالای ۸۰ درصد امکان پذیر می گردد [۶]

۲-۱- بررسی تجارب بخش تولید صنعت برق کشور در بکارگیری فناوری تولید همزمان برق و حرارت

اولین طرح تولید همزمان برق و حرارت در مقیاس نیروگاهی در کشور طرح" احداث بویلر بازیافت حرارت از توربینهای گازی جزیره کیش"می باشد. با نصب بویلر بازیافت در مسیر گازهای خروجی از واحدهای گازی از بازیافت حرارت اتلافی موجود در این گازها، بخشی از بخار مورد نیاز آب شیرین‌کن‌های جزیره کیش تامین می‌شود. کاهش شدید مصرف گازوئیل و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی از مزایای عمده این فعالیت می‌باشند. لازم به ذکر است که گازوئیل در جزیره کیش به دلیل بالا بودن هزینه حمل، قیمت قابل توجهی دارد. با انجام این پروژه مصرف روزانه بویلرهای کمکی (۷ بویلر هر یک به ظرفیت ۱۰ تن) معادل ۷۵۰۰۰ لیتر گازوئیل حذف گردید. به این ترتیب هزینه بویلر براساس نرخ گازوئیل در زمان انجام طرح که در حدود ۴ میلیون دلار بوده است ظرف مدت ۲/۵ سال بازگشت شده است. بدیهی است که با افزایش قیمت نفت در حال حاضر انجام طرحهایی از این قبیل از توجیه بسیار بالایی برخوردار گردیده است [۷]. با توجه به پایین بودن راندمان توربینهای گازی موجود در جزیره کیش و همچنین مقدار زیاد بخار تولیدی از بویلر بازیافت که بیش از حد مصرف آب شیرین‌کنها می‌باشد، مطالعاتی جهت استفاده از بخشی از این بخار به منظور تامین انرژی اولیه چیلرهای جذبی برای سرمایش هوای ورودی به توربین گازی انجام گردید. استفاده از چیلرهای جذبی جهت سرمایش هوای ورودی واحدهای گازی و یا تامین برودت مورد نیاز مناطق اطراف نیروگاه به عنوان روش مناسب انتخاب و مطالعات بر این اساس صورت گرفته است. چیلرهای جذبی انتخابی از نوع دو مرحله‌ای می‌باشند. برای واحد گازی مدل Frame-5 دو دستگاه چیلر با ظرفیت سرمایش ۷۰۰ تن و برای واحدهای گازی مدل Frame-6 دو دستگاه چیلر ۸۰۰ تن پیشنهاد شده است . در حال حاضر بویلر بازیاب در مدار قرار دارد و در حدود ۵۰ تن در ساعت بخار تولید می‌کند. با توجه به اینکه ظرفیت بویلر ۹۰ تن بخار در ساعت است در حدود ۴۰ تن در ساعت ظرفیت تولید بخار اضافه وجود دارد. تلاشهایی برای استفاده از این بخار اضافه صورت گرفته ولی هنوز طرحی برای استفاده از بخار اضافی عملی نشده است.

۲-۲- محاسبه توان حرارتی قابل تولید توسط نیروگاهها پس از تبدیل به نیروگاههای تولید همزمان

برای تعیین میزان تولید حرارت و برق پس از تبدیل سیکل‌های موجود به سیکل تولید همزمان، محاسبات با فرض ثابت بودن میزان سوخت مصرفی در نیروگاههای موجود انجام می شود. این فرض به این دلیل است که سوخت مصرفی در نیروگاههای موجود به دلیل ثابت بودن ظرفیت بویلرها یا محفظه‌های احتراق ثابت فرض می گردد. لذا در محاسبات انجام شده در این پژوهش، سوخت مورد نیاز در سیستم تولید همزمان برابر همان میزان سوخت سیکل تولید برق در حالت مجزا منظور شده است. شاخص بهره‌گیری انرژی (EUF-Energy Utilization Factor) یک معیار منطقی از کارایی سیستم تولید همزمان می‌باشد که مطابق رابطه(۱) تعریف می گردد:

$$EUF=\frac{W_{CG}+Q_{CG}}{F_{CG}} \qquad (۱)$$

که در آن W_{CG}، Q_{CG} و F_{CG} به ترتیب توان الکتریکی، بار حرارتی و سوخت مصرفی در نیروگاههای تولید همزمان می‌باشند. شاخص بهره‌گیری انرژی، یک پارامتر ترمودینامیکی است که نشان دهنده عملکرد سیستمهای تولید همزمان می باشد. این شاخص همواره قبل از طراحی تخمین زده می‌شود و طراحی براساس مقدار راندمان مورد نظر و به عبارتی میزان مورد انتظار بازدهی از سیستم، صورت می‌گیرد. پارامتر عملکردی دیگر سیستمهای تولید همزمان λ، نسبت حرارت به توان می باشد که توسط رابطه (۲) تعریف می‌گردد:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\lambda_{CG} = \frac{Q_{CG}}{W_{CG}} \qquad (۲)$$

با توجه به میزان سوخت مصرفی در نیروگاهها و مقادیر پارامترهای تعریف شده شاخص بهره‌گیری انرژی و λ_{CG} ، میزان بار حرارتی و الکتریکی قابل دستیابی از آنها در صورت تبدیل نیروگاههای کشور به سیستم تولید همزمان از روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌گردد:

$$W_{CG} = \frac{F_{CG} \cdot EUF}{(1 + \lambda_{CG})} \qquad (۳)$$

$$Q_{CG} = \lambda_{CG} \cdot W_{CG} \qquad (۴)$$

بایستی توجه داشت میزان توان الکتریکی قابل دستیابی در سیکل توربین گازی در صورت تجهیز به سیکل تولید همزمان کاهش نمی یابد. زیرا بار حرارتی، در سیکل تولید همزمان، از گازهای حاصل از محصولات احتراق در دودکش سیکل گازی بدست می آید. لذا تغییر حاصل از برداشت حرارت در عملکرد سیکل نسبت به سیکلهای دیگر قابل صرفنظر می باشد. نکته مهم آن است که در حال حاضر براساس استراتژی دریافت بیشترین توان الکتریکی از نیروگاهها، نیروگاههای بخاری و همچنین بخش بخار نیروگاههای سیکل ترکیبی بر مبنای توربین‌های بخاری از نوع تقطیری یا کندانس (Condensate) با زیرکش طراحی و ساخته می شوند. با توجه به اینکه میزان حرارت تولیدی در توربین‌های تقطیری نسبت به توربین‌های فشار پشت (Back Pressure) خیلی کمتر است، لذا در صورت تبدیل واحدهای بخاری و سیکل ترکیبی موجود باید نوع توربین از نوع تقطیری به فشارپشت تغییر نماید. به همین دلیل در این پژوهش برای نیروگاههای بخاری، علاوه بر محاسبه میزان تولید حرارت و توان در حالت توربین نوع تقطیری، برای حالتی که واحدهای بخاری به توربین فشارپشت تجهیز شوند نیز مقادیر حرارت و توان محاسبه شده است.

در واحدهای سیکل ترکیبی اگر توربین بخار نوع تقطیری باشد، میزان حرارت قابل برداشت ناچیز بوده و عملا تبدیل سیکل مجزا به سیستم تولید همزمان از توجیه مناسبی برخوردار نیست. لذا برای واحدهای سیکل ترکیبی محاسبه صورت گرفته فقط برای توربین فشار پشت انجام شده است.

با توجه به بازیافت حرارت در سیستم تولید همزمان جهت تولید حرارت برای تولید یک مقدار مشخص برق و حرارت، میزان مصرف سوخت نسبت به تولید مجزای همان مقدار برق و حرارت کاهش پیدا خواهد کرد. لذا در این بخش میزان برق و حرارت تولیدی در نیروگاههای کشور چنانچه مجهز به سیستم تولید همزمان گردند محاسبه و با میزان مصرف انرژی ناشی از آن در حالتی که برق و حرارت به صورت مجزا تهیه و استفاده شود مورد مقایسه قرار گرفته است. برای تولید حرارت در حالت مجزا فرض شده است که از بویلرهای گازسوز با راندمان ۸۰٪ استفاده شود[۳]. اطلاعات در نظر گرفته شده برای محاسبه میزان صرفه جویی سوخت سیستم تولید همزمان برق و حرارت در جدول (۱) ارائه شده است. شایان ذکر است که نسبت حرارت به توان یکی از مهمترین پارامترها جهت انتخاب انواع سیستمهای تولید همزمان در کاربردهای مختلف می باشد که در این مطالعه مقدار رایج آن مطابق اطلاعات مندرج در جدول (۱) در نظر گرفته شده است. از جمله پارامترهای تاثیر گذار در بررسی سیستم تولید همزمان صرفه جویی در مصرف سوخت است که از رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$\Delta F = (F_{SEP}^{Q} + F_{SEP}^{P}) - F_{CG} \qquad (۵)$$

اولین جمله در رابطه (۵) جمع مقدار سوخت مصرف شده با بویلر مرجع و مقدار سوخت مورد نیاز برای تولید برق در یک نیروگاه معمولی می باشد. جمله دوم سوخت مصرف شده در یک نیروگاه تولید همزمان می‌باشد.

برای تخمین میزان صرفه جویی در مصرف سوخت از شاخص نسبت صرفه‌جویی در مصرف سوخت – Fuel Energy Saving Ratio (FESR) استفاده می‌گردد. این شاخص معرف نسبت صرفه‌جویی سوخت است که به صورت نسبت یا کسر صرفه‌جویی سوخت (ΔF) به سوخت مورد نیاز در نیروگاههای مرسوم مطابق روابط (۶) الی (۸) تعریف می‌شود:

$$FESR = \frac{\Delta F}{\left(\frac{Q_U}{\eta_{B_H}} + \frac{W}{\eta_{o_C}}\right)} \qquad (۶)$$

$$FESR = 1 - \frac{\eta_{o_C} / \eta_{o_{CG}}}{\left[1 + \left(\lambda_{CG} \cdot \eta_{o_C} / \eta_{B_H}\right)\right]} \qquad (۷)$$

$$FESR = \frac{\Delta F}{F_{SEP}^{Q} + F_{SEP}^{P}} \qquad (۸)$$

که λ_{CG} نسبت حرارت به توان و $\eta_{o_{CG}}$ راندمان کلی سیستم تولید همزمان برق و حرارت می‌باشد. این معیار در برآورد عواید اقتصادی تبدیل نیروگاههای مجزا به نیروگاههای تولید همزمان برق و حرارت نقش اساسی ایفا می‌کند. به گونه‌ای که با محاسبه این شاخص و ضرب نمودن آن در مجموع سوخت مصرفی جهت تولید حرارت و تولید توان به صورت مجزا، میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت ناشی از تبدیل واحدهای نیروگاهی مرسوم به واحدهای نیروگاهی تولید همزمان (ΔF) محاسبه می‌گردد. در تمام سیستمهای تولید همزمان، این پارامتر می‌بایست بزرگتر از صفر باشد[۸].

قابل ذکر است که برای سیکل تولید همزمان برق و حرارت، نوع سیکل در نیروگاههای موجود به عنوان سیکل پایه در نظر گرفته شده است. تنها در نیروگاههای بخار، برای دو نوع توربین تقطیری و

جدول (۱) اطلاعات مورد استفاده برای محاسبه صرفه جویی سوخت سیستمهای تولید همزمان

نوع سیستم CHP	توضیحات	نسبت حرارت به توان	سوخت مصرفی	EUF
بخاری تقطیری	بویلر و توربین بخار تقطیری	۰/۲۶	گاز طبیعی	۰/۴۸
بخاری فشار پشت	بویلر و توربین بخار فشار پشت	۲/۴	گاز طبیعی	۰/۸۵
گازی	توربین گازی	۱/۸۳	گاز طبیعی	۰/۸۵
ترکیبی	توربین گازی با بویلر بازیاب	۱/۰۵	گاز طبیعی	/۸۲

Archive of SID

www.SID.ir

فشار پشت محاسبات صرفه جویی انرژی صورت گرفته است (جدول ۲). ولی به دلیل پتانسیل صرفه جویی کم واحدهای نیروگاهی با توربین تقطیری تحلیل اقتصادی برای نیروگاههای بخاری فقط بر اساس توربین های فشار پشت انجام شده است.

۲-۳- برآورد مصارف انرژی مناطق اطراف نیروگاههای کشور و بررسی پتانسیل نیروگاههای تولید همزمان در تامین مصارف مذکور

میزان بار حرارتی مورد تقاضا در سمت مصرف‌کننده به عنوان پارامتری تعیین‌کننده در راستای تبدیل سیستم نیروگاههای موجود به نیروگاههای سیکل تولید همزمان مطرح می‌باشد. مراکز عمده مصرف‌کننده انرژی حرارتی را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم نمود. دسته اول مراکز صنعتی مصرف کننده انرژی حرارتی واقع در مناطق اطراف نیروگاه و دسته دوم شامل مناطق مسکونی، تجاری و اداری می‌باشند. این مصرف کننده ها انرژی حرارتی را جهت تامین گرمایش، سرمایش و آب گرم مصرفی مورد استفاده قرار می‌دهند. آنچه مناطق صنعتی را از مراکز مسکونی، تجاری و اداری متمایز می نماید میزان نیازمندی به انرژی حرارتی آب داغ در دمای بالا و یا ترجیحاً بخار می‌باشد. بار حرارتی و برودتی مورد تقاضا توسط مراکز مسکونی، تجاری و اداری اطراف نیروگاههای کشور نیز منطبق بر استانداردهای موجود تخمین زده شده است. برای دسترسی به نقشه نیروگاههای کشور از نرم افزار آرک ویو (ArcView) استفاده شده است. علاوه بر این انتخاب نوع سیکل شبکه انتقال سیال حامل انرژی حرارتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. شبکه انتقال سیال حامل انرژی حرارتی قابل تقسیم به دو نوع مستقیم (Direct) و غیر مستقیم (Indirect) می‌باشد. هر کدام از شبکه‌های مستقیم و غیر مستقیم خود به سیکلهای باز (Open -Cycle) و بسته (Closed – Cycle) قابل تقسیم است. برای هر یک از انتخابهای پیش گفته مزایا و محدودیتهایی وجود دارد که در مرجع [۳] به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس معیارهای تاثیر گذار، برای هر یک از نیروگاههای کشور سیستم انتقال سیال بهینه انتخاب می گردد. جهت نیل به این هدف نرم افزاری تهیه که با توجه به میزان بار حرارتی مورد تقاضا، بار حرارتی تولیدی و همچنین سیکل نیروگاهی نوع سیستم انتقال نوع مستقیم و غیر مستقیم همچنین مسیرهای باز و بسته را در حالت بهینه پیشنهاد می نماید[۳]. بر اساس ملاحظات پیش گفته برای تمامی نیروگاههای کشور اعم از ساخته شده، در دست ساخت و پیش بینی شده برای آینده، میزان مصارف انرژی مناطق اطراف نیروگاهها تخمین زده شده است. در شکل(۲) میزان مصارف انرژی مناطق اطراف نیروگاه سیکل ترکیبی گیلان (مجموع آب گرم، سرمایش، گرمایش شهری و مصارف صنعتی) و پتانسیل تولید حرارت توسط آن نیروگاه ارایه شده است. نظیر این نمودار برای تمامی نیروگاههای کشور در مرجع[۳] ارایه شده است.

همانگونه که ملاحظه می‌گردد نیروگاه مذکور در صورتی که توربین آن به نوع فشار پشت تبدیل شود، پتانسیل قابل توجهی در تامین انرژی مورد نیاز صنایع و مناطق اطراف آن نیروگاه دارد.

۳- بررسی فنی و اقتصادی تجهیز سه نیروگاه بخاری، گازی و سیکل ترکیبی کشور به سیستم تولید همزمان

بر اساس الگوی به دست آمده در قدم اول میزان کاهش مصرف سوخت بخش تولید و مصرف در صورت تجهیز به سیستم تولید همزمان برق و حرارت محاسبه گردید. نتیجه محاسبات صورت گرفته در مرجع [۳] ارایه شده است. بر اساس نوع سوخت مصرفی برای هر یک از نیروگاهها و مناطق اطراف آن، هزینه کاهش مصرف سوخت ناشی از بکارگیری سیستم تولید همزمان برق و حرارت بر اساس قیمت داخلی و قیمت فوب (FOB) خلیج فارس برای سوختهای گاز، گازوئیل و مازوت محاسبه گردید. بایستی توجه داشت که هزینه مصرف سوخت از یک سو تابع میزان کاهش مصرف سوخت و از سوی دیگر وابسته به قیمت سوخت نیروگاهها می‌باشد. از آنجا که سوخت مصرفی در نیروگاههای مختلف ترکیبهای متفاوتی از سه سوخت گاز طبیعی، گازوئیل و مازوت می‌باشد لذا قیمت تمام شده سوخت هر نیروگاه را بایستی بر آن اساس محاسبه کرد. بر این اساس سه نیروگاه ۱) بخاری شهید منتظری، ۲) گازی ری و ۳) سیکل ترکیبی گیلان به عنوان نیروگاههای با بیشترین پتانسیل کاهش هزینه سوخت ناشی از تجهیز به سیستم تولید همزمان برای بررسی موردی انتخاب گردیدند. در جدول (۳) میزان کاهش مصرف سوخت و کاهش هزینه سوخت در دو حالت پیش گفته ارایه شده است.

برای تحلیل اقتصادی پروژه تبدیل نیروگاههای کشور به سیستم تولید همزمان لازم است هزینه‌ها و منافع تولید برق و حرارت در چنین سیستمی با هزینه‌ها و منافع همان میزان برق و حرارت در دو واحد مجزا مقایسه گردد. جهت بررسی اقتصادی، هزینه‌های سیستمهای تولید همزمان، شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، سوخت مصرفی سالانه و تعمیرات و نگهداری می‌باشد. در واقع افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری ناشی از تجهیز به سیستم تولید همزمان به عنوان هزینه سیستم و هزینه‌های کاهش یافته سوخت سالانه به عنوان منفعت سیستم مطرح می‌باشند. بنابراین با در نظر گرفتن معادل سالانه هزینه سرمایه‌گذاری می‌توان هزینه کلی تولید توان در سیستم تولید همزمان را بدست آورد. انواع روشهای تحلیل اقتصادی و مزایا محدودیتهای هر یک از آنها در مرجع [۳] ارایه شده است. با توجه به ماهیت مساله روش تبدیل به ارزش حال برای تحلیل مساله برگزیده شد.

یک واحد تولید همزمان بجز تامین بار الکتریکی، انرژی حرارتی نیز تولید می‌کند که تولید این میزان حرارت بصورت مجزا مستلزم بهره‌گیری از بویلرهای صنعتی یا گرمایش خانگی است که مسلماً هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر نگهداری و سوخت مربوط به خود را دارا می‌باشد. استفاده از سیستم تولید همزمان منجر به حذف این هزینه‌ها خواهد شد. در روش ارزش فعلی خالص بایستی سه پارامتر ΔC (افزایش هزینه سرمایه‌گذاری)، ΔM (کاهش هزینه سالانه سوخت)، $\Delta(OM)$ (تغییر در هزینه‌های تعمیر و نگهداری) در اثر تبدیل یک نیروگاه به سیستم تولید همزمان و یا ساخت نیروگاه جدید محاسبه گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

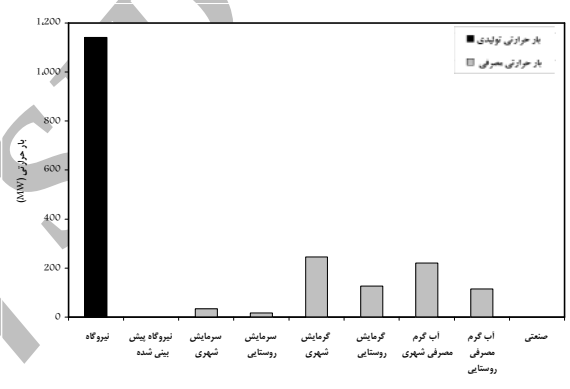
جدول (۲) برآورد میزان تولید حرارت و توان و صرفه جویی سوخت درتعدادی از نیروگاههای بخاری کشور پس از تبدیل به سیستم تولید همزمان

				توربین بخار فشار پشت							توربین بخار تقطیری						
نام نیروگاه	مصرف سوخت سالیانه (MWh حرارتی)	راندمان الکتریکی (مجزا)	EUF	FESR	انرژی الکتریکی همزمان (MWh)	توان الکتریکی همزمان (MWh)	انرژی حرارتی همزمان(MWh)	توان حرارتی همزمان (MWh)	انرژی الکتریکی تولیدی (MWh)	EUF	FESR	انرژی الکتریکی همزمان (MWh)	توان الکتریکی همزمان (MWh)	انرژی حرارتی همزمان (MWh)	توان حرارتی همزمان(MWh)	انرژی الکتریکی تولیدی (MWh)
منتظر قائم	۹۸۹۳۳۶۸	۳۳،۹۴	۰،۷۲	۰/۱۶	۱۳۸۴۹۷	۳۷۶	۵۰۳۶۶۸۵	۹۰۳	۱۲۵۹۱۷۱	۰،۴۱	۰/۰۴	۳۱۹۷۸۹۵	۵۷۳	۸۳۱۴۵۳	۱۴۹	۱۵۹۸۹۵
بهشتی	۳۹۸۸۹۶۲	۳۵،۰۳	۰،۷۴	۰/۱۷	۱۳۸۴۹۷	۱۵۰	۲۰۹۶۰۶۹	۳۶۱	۵۲۴۰۱۷	۰،۴۲	۰/۰۵	۱۳۳۰۸۳۷	۲۲۹	۳۴۶۰۱۸	۶۰	۶۶۵۴۲
مشهد	۲۳۹۶۹۳۱	۲۸،۸۹	۰،۶۱	۰/۱	۱۳۸۴۹۷	۷۵	۱۰۳۸۸۱۲	۱۸۰	۲۵۹۷۰۳	۰،۳۵	۰/۰۳	۶۵۹۵۶۳	۱۱۵	۱۷۱۴۸۶	۳۰	۳۲۹۷۸
سلیمی	۳۱۸۹۲۳۵۵	۳۵،۷۸	۰،۷۶	۰/۱۸	۱۳۸۴۹۷	۱۰۷۱	۱۷۱۱۸۲۴۲	۲۵۷۱	۴۲۷۹۵۶۰	۰،۴۳	۰/۰۵	۱۰۸۶۸۷۲۵	۱۶۳۳	۲۸۲۵۸۶۸	۴۲۴	۵۴۳۴۳۶
بندر عباس	۲۱۱۰۶۲۸۱	۳۴،۴۸	۰،۷۳	۰/۱۷	۱۳۸۴۹۷	۷۷۷	۱۰۹۱۶۱۹۰	۱۸۶۵	۲۷۲۹۰۴۸	۰،۴۱	۰/۰۵	۶۹۳۰۹۱۴	۱۱۸۴	۱۸۰۲۰۳۸	۳۰۸	۳۴۶۵۴۶
منتظری	۳۱۲۴۲۹۳۳	۳۵،۹۸	۰،۷۶	۰/۱۸	۱۳۸۴۹۷	۹۹۴	۱۶۸۶۳۴۹۵	۲۳۸۵	۴۲۱۵۸۷۴	۰،۴۳	۰/۰۵	۱۰۷۰۶۹۸۱	۱۵۱۵	۲۷۸۳۸۱۵	۳۹۴	۵۳۵۳۴۹
توس	۱۱۰۹۷۵۱۱	۳۴،۹۸	۰،۷۴	۰/۱۷	۱۳۸۴۹۷	۳۷۶	۵۸۲۲۹۱۸	۹۰۲	۱۴۵۵۷۲۹	۰،۴۲	۰/۰۵	۳۶۹۷۰۹۰	۵۷۳	۹۶۱۲۴۴	۱۴۹	۱۸۴۸۵۵
تبریز	۱۲۲۹۳۶۵۲	۳۵،۶۱	۰،۷۶	۰/۱۸	۱۳۸۴۹۷	۴۳۹	۶۵۶۶۲۰۵	۱۰۵۳	۱۶۴۱۵۵۱	۰،۴۳	۰/۰۵	۴۱۶۹۰۱۹	۶۶۸	۱۰۸۳۹۴۵	۱۷۴	۲۰۸۴۵۱
رجایی	۱۶۳۵۰۲۸۴	۴۰،۵۹	۰،۸۶	۰/۲۳	۱۳۸۴۹۷	۶۲۶	۹۹۵۴۵۹۰	۱۵۰۳	۲۴۸۸۶۴۷	۰،۴۹	۰/۰۶	۶۳۲۰۳۷۴	۹۵۴	۱۶۴۳۲۹۷	۲۴۸	۳۱۶۰۱۹
بیستون	۱۱۴۵۹۵۴۱	۳۶،۸۱	۰،۷۸	۰/۱۹	۱۳۸۴۹۷	۴۰۱	۶۳۲۶۶۲۵	۹۶۳	۱۵۸۱۶۵۶	۰،۴۴	۰/۰۵	۴۰۱۶۹۰۵	۶۱۱	۱۰۴۴۳۹۵	۱۵۹	۲۰۰۸۴۵
مفتح	۱۳۷۳۶۶۹۰	۳۶،۵۷	۰،۷۸	۰/۱۹	۱۳۸۴۹۷	۶۲۷	۷۵۳۴۳۴۶	۱۵۰۴	۱۸۸۳۵۸۶	۰،۴۴	۰/۰۵	۴۷۸۳۷۱۱	۹۵۵	۱۲۴۳۷۶۵	۲۴۸	۲۳۹۱۸۶
ایرانشهر	۵۱۱۱۲۷۸	۲۹،۰۲	۰،۶۲	۰/۱	۱۳۸۴۹۷	۱۵۶	۲۲۲۵۱۳۹	۳۷۵	۵۵۶۲۸۵	۰،۳۵	۰/۰۳	۱۴۱۲۷۸۷	۲۳۸	۳۶۷۳۲۵	۶۲	۷۰۶۳۹

www.SID.ir

جدول (۳) نیروگاههای گازی، بخاری و سیکل ترکیبی با بیشترین کاهش هزینه سوخت

نام نیروگاه	نوع نیروگاه	کاهش مصرف سوخت			کاهش هزینه سوخت قیمت قیمت فوب خلیج فارس (میلیون ریال در سال)	کاهش هزینه سوخت قیمت داخلی (میلیون ریال در سال)
		گاز (میلیون متر مکعب)	مازوت (میلیون لیتر)	گازوئیل (میلیون لیتر)		
ری	گازی	۳۷۳/۷	۰	۶۷/۷	۳۱۶۲۲۰	۱۵۰۷۳
منتظری	بخاری	۴۲۶/۶	۱۲۴/۵	۰	۳۶۴۵۳۷	۱۶۵۳۹
گیلان	سیکل ترکیبی	۳۸۳/۸	۰	۳۵/۶	۳۱۲۲۰۰	۱۳۴۱۴



شکل (۲): میزان مصارف انرژی مناطق اطراف نیروگاه سیکل ترکیبی گیلان (مجموع آب گرم، سرمایش، گرمایش شهری و مصارف صنعتی) و پتانسیل تولید حرارت توسط آن نیروگاه

هزینه سرمایه‌گذاری یک نیروگاه تولید همزمان تابع پارامترهای مختلفی از جمله نوع نیروگاه، نوع تجهیزات نیروگاه، شرکت سازنده و ... می‌باشد. بنابراین تعیین دقیق آن بایستی بصورت موردی صورت پذیرد. در این گزارش حداکثر افزایش هزینه سرمایه‌گذاری یک نیروگاه مرسوم در تبدیل به حالت نیروگاه تولید همزمان به نحوی که پروژه از توجیه اقتصادی برخوردار باشد $(NPV\rangle o)$ مبنای محاسبه قرار گرفت.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری، سوخت و تعمیرات و نگهداری برای نیروگاههای مرسوم با استفاده از اطلاعات فنی و اقتصادی نیروگاههای کشور و اطلاعات تکمیلی مندرج در مرجع[۳] ، برحسب دلار برای سه نیروگاه مربوطه محاسبه شده است . همچنین هزینه‌های مربوط به واحد مستقل تولید حرارت (بویلر) نیز با استفاده از قیمت بویلرهای صنعتی آب گرم محاسبه شده است. شایان ذکر است که تحلیل اقتصادی نیروگاههای بخاری با فرض تبدیل به سیستم تولید همزمان فشارپشت مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

با توجه به فرضیات مذکور، تحلیل اقتصادی در سه نیروگاه پیش گفته بر اساس روش ارزش فعلی خالص برای هر نیروگاه به ازای هزینه‌های سرمایه‌گذاری تولید همزمان محاسبه و در قالب نمودارهای (۳) تا (۸) ارائه شده است.

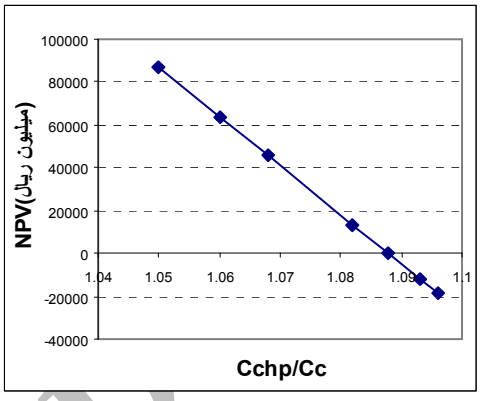
همانگونه که ملاحظه می شود چنانچه قیمت سوخت مطابق با قیمت داخلی در نظر گرفته شود(سناریوی اول)، محدوده سوددهی سیستمهای تولید همزمان در بازه کوچکی از هزینه سرمایه‌گذاری برقرار خواهد بود. زیرا سوددهی سیستمهای تولید همزمان در اثر کاهش هزینه مصرف سوخت می‌باشد. از آنجا که قیمت سوخت در کشور ایران نسبت به سایر کشورها بسیار پایین می‌باشد، بنابراین کاهش هزینه مصرف سوخت در مقایسه با افزایش هزینه سرمایه‌گذاری مقدار کمی خواهد داشت. مقدار ارزش فعلی خالص (NPV) برابر با صفر، در مورد سه نیروگاه فوق به نوعی بیانگر مرز سوددهی اقتصادی پروژه در صورت تبدیل آنها به تولید همزمان برق و حرارت است. بطور کلی چنانچه نسبت هزینه سرمایه‌گذاری نیروگاه تولید همزمان به هزینه سرمایه‌گذاری نیروگاه مرسوم از مقدار متناظر با NPV=o در هر یک از سه نیروگاه نمونه کمتر باشد، پروژه از توجیه اقتصادی برخوردار است. بر اساس قیمت سوخت داخلی در نیروگاه بخاری شهید منتظری چنانچه هزینه سرمایه‌گذاری تولید همزمان کمتر از ۱/۰۸ برابر هزینه سرمایه‌گذاری نیروگاه مرسوم باشد، پروژه سودآوری اقتصادی خواهد داشت. این ضریب در مورد نیروگاه گازی ری۱/۰۸و در مورد نیروگاه ترکیبی گیلان ۱/۰۳ می‌باشد.

با بررسی نمودارهای (۶) تا (۸) ملاحظه می شود چنانچه قیمت سوخت مطابق با قیمت فوب (FOB) خلیج فارس [۹] برای سوختهای گاز، گازوئیل و مازوت آن در نظر گرفته شود، مقدار پارامتر ارزش فعلی خالص به ازای مقدارهای بزرگتر هزینه سرمایه گذاری، مثبت خواهد بود. بنابراین ملاحظه می‌شود که در نیروگاه بخاری شهید منتظری چنانچه هزینه سرمایه‌گذاری تولید همزمان کمتر از۲/۴۳ برابر هزینه سرمایه‌گذاری نیروگاه مرسوم باشد، پروژه سودآوری اقتصادی خواهد داشت. این ضریب در مورد نیروگاه گازی ری، ۱/۸۱ و در مورد نیروگاه ترکیبی گیلان ۱/۳۷ می‌باشد.

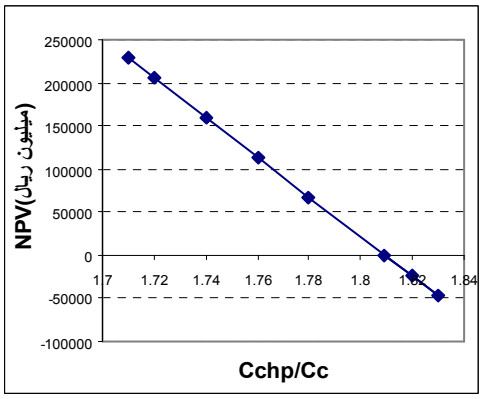
افزایش مقدار این ضریب نسبت به سناریوی اول بیانگر این است که در این حالت سیستمهای تولید همزمان در بازه وسیعتری از هزینه سرمایه‌گذاری، از توجیه اقتصادی برخوردار خواهند بود. این امر سودآوری این سیستمها را از دیدگاه ملی تایید می نماید. بدیهی است که با افزایش قیمت سوخت بر مزیت نسبی سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت بیش از پیش افزوده می گردد. بدین ترتیب به نظر می‌رسد استفاده از این فناوری در کشور چشم انداز روشنی را در پیش روی خود می بیند.

Archive of SID

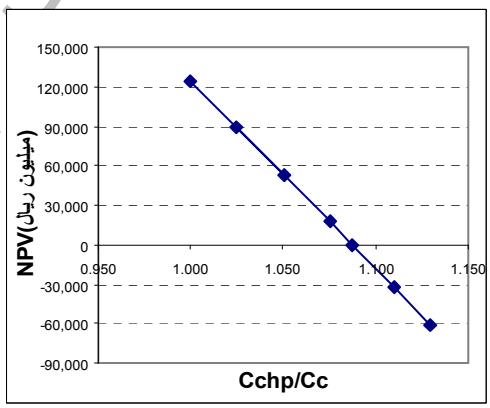
www.SID.ir



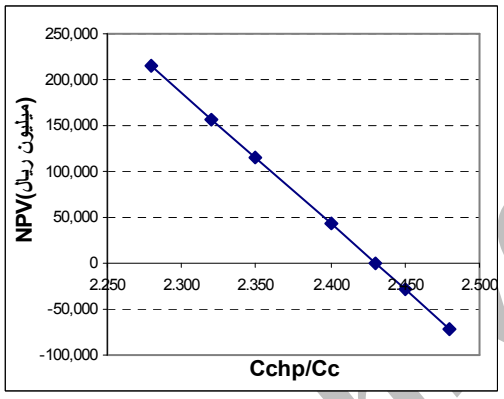
شکل(۳) نمودار NPV بر حسب Cchp/Cc سیکل گازی
(قیمت داخلی سوخت)



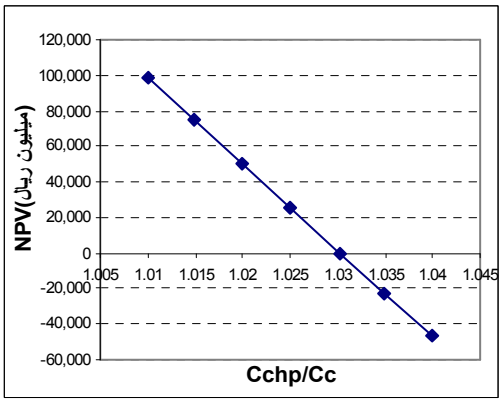
شکل(۶) نمودار NPV بر حسب Cchp/Cc سیکل گازی
(قیمت فوب خلیج فارس برای سوختهای گاز، گازوئیل)



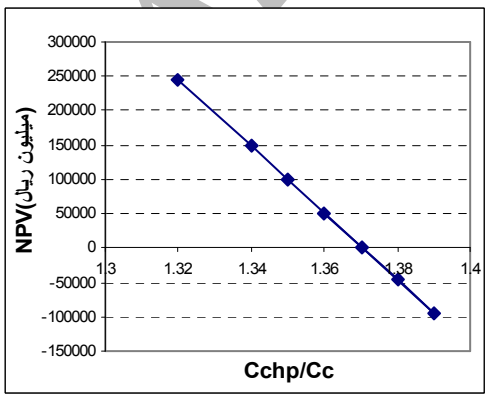
شکل(۴) نمودار NPV بر حسب Cchp/Cc سیکل بخاری
(قیمت داخلی سوخت)



شکل(۷) نمودار NPV بر حسب Cchp/Cc سیکل بخاری
(قیمت فوب خلیج فارس برای سوختهای گاز، مازوت)



شکل(۵) نمودار NPV بر حسب Cchp/Cc سیکل ترکیبی
(قیمت داخلی سوخت)



شکل(۸) نمودار NPV بر حسب Cchp/Cc سیکل ترکیبی
(قیمت فوب خلیج فارس برای سوختهای گاز، گازوئیل)

Archive of SID

www.SID.ir

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در یک بررسی اجمالی اهم نتایج به دست‌آمده از این پژوهش به شرح زیر قابل جمع‌بندی است:

- اصولاً دیدگاهها و اهدافی که از ارزیابی به کارگیری سیستمهای تولید همزمان حرارت و برق از سوی سازمانها و مراکز تصمیم‌گیری مختلف دنبال می‌گردد متفاوت می‌باشد. از دیدگاه وزارت نیرو به عنوان متولی ایجاد ظرفیتهای نیروگاهی دیدگاه برنامه‌ریزی با محوریت تامین برق مورد نیاز کشور با حداقل هزینه و رعایت الزامات زیست محیطی در اولویت کاری قرار دارد. از دیدگاه وزارت صنایع و وزارت مسکن ایجاد بسترهای لازم جهت ایجاد انگیزه لازم صنایع سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع به سرمایه گذاری در پروژه های تولید همزمان برق و حرارت از اهمیت ویژه ای برخودار است. از دیدگاه وزارت نفت و سازمانهای مسئول ذیربط در آن وزارت‌خانه برنامه‌ریزی با محوریت تامین حرارت مورد نیاز با حداقل مصرف سوخت و رعایت الزامات زیست محیطی در اولویت قرار دارد. از دیدگاه سازمان حفاظت محیط زیست رعایت استانداردهای زیست محیطی و حداقل سازی آلاینده‌های زیست محیطی در فرایند تولید برق و حرارت در اولویت قرار داشته و سایر ملاحظات در رده‌های بعدی قرار دارند. از دیدگاه مصرف کننده ارائه خدمات و تامین سرما و گرما با کیفیت و قیمت مناسب از الویت بالایی برخوردار است. از دیدگاه ملی حداقل‌سازی هزینه کل عرضه حرارت و برق با توجه به جمیع جهات در اولویت قرار دارد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد اهدافی که از بررسی امکان بکارگیری فناوری تولید همزمان برق و حرارت دنبال می‌گردد، لزوماً به نتایج واحدی منتهی نمی گردد
- تدوین استراتژی با هدف بهینه کردن منافع ملی و ایجاد سازگاری و هم جهت نمودن منافع ذینفعان به کارگیری فناوری تولید همزمان برق و حرارت از جمله ضروریاتی است که بایستی مورد توجه قرار گیرد. اهداف متفاوت و عدم هماهنگی بین وزارتخانه‌های صنایع، مسکن، نفت، نیرو و سازمان محیط زیست باعث می گردد که عملا مدیریت طرحهای تولید همزمان برق و حرارت در راستای اهداف ملی حرکت نکند. بررسی سابقه فعالیتهای اینچنینی در کشورهای دیگر ضرورت نهادی مسئول و دارای اختیارات مناسب را تایید می کند.
- با توجه به عدم لحاظ نمودن پیش‌نیازهای لازم جهت تولید همزمان حرارت و برق در احداث نیروگاههای ساخته شده و واحدهای صنعتی و مسکونی مناطق اطراف نیروگاههای موجود، اجرای طرحهای تکمیلی جهت تجهیز نیروگاهها به واحدهای تولید همزمان با محدودیتها و موانع زیادی همراه خواهد بود. به همین دلیل اجرای طرحهای تولید همزمان بر روی نیروگاههای پیش‌بینی شده برای آینده و در حال احداث نسبت به نیروگاههای ساخته شده از توجیه مناسبتری برخوردار است. زیرا امکان فراهم آوردن پیش‌نیازهای تجهیز نیروگاههای در حال ساخت و پیش‌بینی شده برای آینده به سیستم تولید همزمان به مراتب ساده‌تر از عملیات اعمال اصلاحات بر روی نیروگاههای موجود جهت تجهیز به سیستم تولید همزمان حرارت و برق می‌باشد. مشابه موارد فوق‌الذکر در بالا در بخش مصرف نیز ملاحظات مورد اشاره صادق است.
- از جمله پیش نیازهای تجهیز نیروگاهها به سیستم تولید همزمان وجود پتانسیل و تناسب تولید حرارت و مصرف آن در بخشهای مختلف مصرف‌کننده می‌باشد. مروری بر نمودارهای پیش گفته نشان می‌دهد که در بسیاری از نیروگاه‌ها عدم تناسب بین مصرف و تولید حرارت مشاهده می‌شود. عدم تناسب بین مصرف و تولید حرارت توجیه اقتصادی به کار گیری فناوری تولید همزمان حرارت و برق را تضعیف می نماید. براساس نتایج این طرح سه نیروگاه گازی بوشهر، بخاری طوس و سیکل ترکیبی منتظر قائم به عنوان نیروگاههایی که تناسب خوبی بین تولید حرارت توسط آنها و مصرف حرارت مناطق اطراف آنها وجود دارد انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند
- با جدی شدن بکارگیری این فناوری در بخش تولید صنعت برق پیش بینی می شود تحقق این فرایند به میزان قابل توجهی صنایع سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع را تحت تاثیر قرار دهد. ایجاد بسترهای لازم از سوی دست اندر کاران توسعه بخش عرضه انرژی در کشور و آمادگی مناسب صنایع مرتبط جهت مواجهه با این تحول بزرگ از جمله اقدامات ضروری در این زمینه است.

مراجع

[۱] گزارش"بررسی روشها و کاربردهای مختلف تولید همزمان برق و حرارت در انواع نیروگاههای کشور"، گروه بهره‌برداری، پژوهشکده تولید، پژوهشگاه نیرو، تیر ماه ۱۳۸۴

[۲] گزارش"بررسی اجمالی پتانسیل نیروگاهها، جهت تجهیز به سیستم تولید همزمان و اثرات زیست محیطی حاصل از آن"، گروه بهره‌برداری، پژوهشکده تولید، پژوهشگاه نیرو، آبان ماه ۱۳۸۴

[۳]گزارش"بررسی فنی-اقتصادی بکارگیری سیستم تولید همزمان برق و حرارت نیروگاههای کشور و تدوین استراتژی بومی‌سازی این فناوری در صنعت برق"، گروه بهره‌برداری، پژوهشکده تولید، پژوهشگاه نیرو، بهمن ماه ۱۳۸۴

[۴]سربندی فراهانی محمد ابراهیم، صیاد پریسا، "بررسی اثرات بکارگیری سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت در کاهش آلودگی هوای ناشی از تولید برق در نیروگاههای کشور" ، همایش ملی سوخت، انرژی و محیط زیست، خرداد ماه ۱۳۸۷

[۵] شرکت مادر تخصصی توانیر، آمار تفصیلی صنعت برق ایران- تولید نیروی برق در سال ۱۳۸۵

[6] www.eere.energy.gov

[۷] گزارش "بررسی عملکرد پروژه‌های بهینه‌سازی نمونه و تجزیه و تحلیل نتایج" گروه بهره‌برداری، پژوهشکده تولید، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۷

[8] J.H.Horlock,"Cogeneration: Combined Heat and Power-Thermodynamics and Economics" 1987, Pergamon Books Ltd

[۹] زعفرانچی زاده مقدم محمد تقی، رسولی کوهی مجتبی، "برآورد قیمت برق انرژیهای تجدید پذیر بر اساس هزینه سوخت مصرفی سوختهای فسیلی" نشریه اقتصاد انرژی، شماره ۱۰۴، تیر ۱۳۸۷

Archive of SID

www.SID.ir