



وزارت نیرو
پژوهشگاه نیرو

NRI

Niroy Research Institute



بروندادهای تخصصی

گروه پژوهشی سیکل و مبدل های حرارتی

شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵

- بهینه سازی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) در نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار
- بررسی فنی اقتصادی بازتوانی یک نیروگاه بخار قدیمی در ایران
- الکتروهیدرودینامیک (EHD)، روشی فعال برای کنترل جریان - بخش اول





برونداهای تخصصی

گروه پژوهشی سیکل و مبدل های حرارتی

شماره ۲، تابستان ۹۵

صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیر مسئول: فرشته رحمانی

سر دبیر: فرشته رحمانی

مدیر اجرایی: حمید معصومی

ویراستار و صفحه آرا: حمید معصومی

اعضای هیئت تحریریه:

مهندس فرشته رحمانی، مهندس شبنم منصوری،

مهندس محمد تاجیک منصوری، مهندس اکبر

نمازی، مهندس حمید معصومی



اهداف:

«برونداهای تخصصی گروه پژوهشی سیکل و مبدل های حرارتی» با هدف معرفی و ترویج دانش تخصصی گروه، مستندسازی یافته های نوین پژوهشی و انتشار به موقع دستاوردهای علمی و عملی گروه، به صورت داخلی منتشر می شود.

ناشر:

نشانی الکترونیکی: TC&HX @nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان،

پژوهشگاه نیرو، گروه سیکل و مبدل های حرارتی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۵۹۰۱۷۲

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۵۹۰۱۷۱

همکاران این شماره:

مهندس فرشته رحمانی، مهندس محمد ابراهیم سربندی

فراهانی، مهندس محمد تاجیک منصوری، مهندس اکبر

نمازی، مهندس حمید معصومی، مهندس حسین رضا زاده



۱	سخن سردبیر
۲	بهینه سازی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) در نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار / حمید معصومی، حسین رضا زاده
۲۰	بررسی فنی اقتصادی بازتوانی یک نیروگاه بخار قدیمی در ایران / محمد ابراهیم سربندی فراهانی- فرشته رحمانی- حمید آبروشن
۳۳	آشنایی با سندیکای صنعت برق ایران
۳۶	الکتروهیدرودینامیک (EHD)، روشی فعال برای کنترل جریان - بخش اول / حمید معصومی
۵۱	گزارش یازدهمین همایش بین المللی انرژی
۵۳	واژه های علمی



سخن سردبیر

حدود ۹۳٪ برق کشور در سال گذشته به وسیله نیروگاه‌های حرارتی تولید شده است بنابراین اهمیت بالا بردن راندمان این نیروگاه‌ها کاملاً واضح است. افزایش راندمان علاوه بر کاهش مصرف سوخت سبب کاهش میزان آلاینده‌گی نیروگاه نیز می‌گردد. به دلیل اهمیت موضوع بازده نیروگاه‌های کشور، در سال ۱۳۹۳ تدوین سند راهبردی و نقشه راه فناوریهای نوین افزایش راندمان در گروه پژوهشی سیکل و مبدلهای حرارتی آغاز شد. ضرورت پرداختن به این موضوع در اسناد بالادستی نیز مشهود است. مطابق قانون هدفمند کردن یارانه‌ها دولت مکلف بود تا پایان سال ۹۲ بازده نیروگاه‌ها را به ۴۵٪ برساند. بر اساس بند ۴-۵ نظام‌نامه افزایش راندمان و تولید نیروگاه‌های کشور نیز مقرر شده بود تا پایان برنامه پنجم توسعه کشور (پایان سال ۹۴) راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور به ۴۱٪ برسد. اما بر اساس آمار تفصیلی توانیر در سال ۹۴ راندمان کل نیروگاه‌های حرارتی کشور تنها ۳۷/۴٪ بوده است. با توجه به اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها در دوفاز و عدم اختصاص بودجه لازم به طرح‌های افزایش راندمان عملاً اهداف مقرر شده در قانون، محقق نشده است. اخیراً دو مصوبه در شورای اقتصاد به تصویب رسیده است که می‌تواند کمک بزرگی در راستای افزایش بازده تولید برق در کشور باشد. شورای اقتصاد در شهریور ۹۵ مجوز بازسازی نیروگاه‌های فرسوده را صادر کرد و در آذر ماه نیز طرح احداث نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با راندمان بالا با استفاده از تسهیلات مالی خارجی را به تصویب رساند.

از جمله طرح‌هایی که در سند افزایش راندمان پیشنهاد شده است، طرح بازتوانی واحدهای بخاری قدیمی است که سهم بزرگی در افزایش راندمان نیروگاه‌ها خواهد داشت. با توجه به این که تعداد قابل توجهی از واحدهای بخاری کشور عمر مفید خود را سپری کرده‌اند، لزوم اهمیت دادن به بازتوانی آنها بیشتر مشخص می‌گردد. برخی نیروگاه‌های خصوصی مانند نیروگاه مشهد، شهید منتظری و منتظر قائم اقداماتی را جهت اجرای بازتوانی انجام داده‌اند ولی تا کنون هیچ نیروگاهی در ایران وارد مرحله اجرایی آن نشده است. اجرای بازتوانی در کشور با توجه به مزایای فراوان آن (افزایش بازده، افزایش توان و کاهش آلاینده‌ها) نیازمند عزمی جدی از سوی سیاست‌گذاران و صاحبان نیروگاه‌ها می‌باشد که امید است هر چه زودتر شاهد تحقق آن باشیم.



بهینه سازی سیستم تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP) در نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار

حمید معصومی، حسین رضا زاده

پژوهشگاه نیرو، گروه سیکل و مبدل های حرارتی

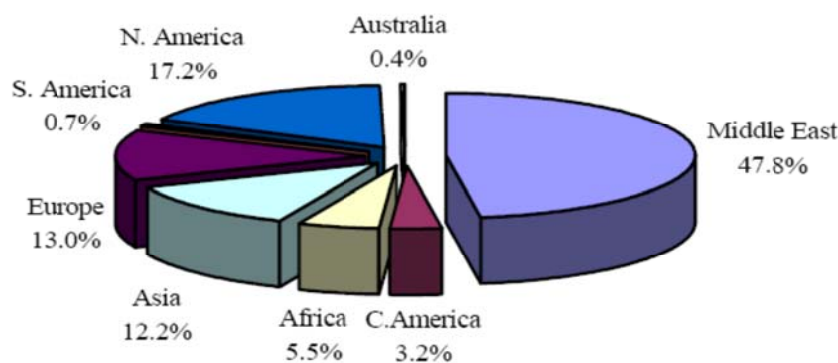
چکیده

در پژوهش حاضر طرح تولید همزمان برق حرارت و برودت در نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار مورد بررسی قرار گرفته است. در این طرح با استفاده از اطلاعات آب و هوایی محل سایت نیروگاه در طول سال ظرفیت بهینه چیلر جذبی برای خنک کاری هوای ورودی به توربین گاز با استفاده از تحلیل اقتصادی انتخاب شده است. در ادامه طرح های قابل اجرا برای تولید همزمان برق و آب شیرین و خنک کاری هوای ورودی به توربین در نیروگاه چابهار در سناریوهای مختلف از قبیل توربین تقطیری یا پس فشار و سناریوهای مختلف خنک کاری هوای ورودی و ذخیره سازی سرما مطالعه گردیده و مشخصات فنی و هزینه اجرای طرح های مختلف برآورد گردیده است. در نهایت بهترین طرح برای نیروگاه چابهار با در نظر گرفتن تحلیل اقتصادی و شرایط محل معرفی شده است.

واژه های کلیدی: تولید همزمان، خنک کاری هوای ورودی، تولید آب شیرین، CCHP

۱- مقدمه

روش هایی که منجر به تولید همزمان حرارت، برودت و توان در نیروگاه می شود به اسم روش های تولید همزمان CCHP شناخته می شوند. عدم امکان استفاده از سیستم خنک کن تبخیری هوای ورودی به توربین گاز و کمبود منابع آب شیرین از مشکلات مختص مناطق گرم و مرطوب حاشیة خلیج فارس می باشد سیستم CCHP یا سرمایش هوای ورودی به توربین گاز با استفاده از چیلر جذبی و تولید آب شیرین با استفاده از بخار زیرکش شده از سیکل ترکیبی امکان پاسخ گویی همزمان به هر دو نیاز ذکر شده در این مناطق را دارد. از این رو بیشترین استفاده از این سیستم در کشورهای خاورمیانه در حاشیه خلیج فارس صورت گرفته است. با توجه به شباهت مناطق جنوبی کشور از لحاظ شرایط آب و هوایی و منابع تامین آب با کشورهای عربی حاشیة خلیج فارس استفاده کننده از این سیستم ها مشخص است که پتانسیل زیادی برای استفاده از سیستم CCHP در این مناطق وجود دارد و درحالی که استفاده از این سیستم ها برای تامین آب شیرین و جبران افت توان خروجی در ساعات پیک در کشورهای هم جوار عربی به بیش از ۳۰ سال پیش باز می گردد در کشور ما تا به حال به جز پروژه های کوچک تولید همزمان آب شیرین مانند آب شیرین کن جزیره کیش با استفاده از دود خروجی از توربین های گاز Frame6 اقدامی قابل مقایسه با کشورهای هم جوار که قابلیت مرتفع نمودن نیاز به آب شیرین در منطقه و برق در ساعات پیک را داشته باشد انجام نشده است.



شکل ۱: سهم مناطق مختلف جهان در بکارگیری فن آوری آب شیرین کن تا سال ۲۰۰۰ [۱]

در شکل ۱ سهم استفاده از تولید همزمان برق و آب شیرین در مناطق مختلف جهان نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود بیشترین سهم استفاده از این سیستم مربوط به خاورمیانه و پس از آن مربوط به آمریکا می باشد.

۲- انتخاب نیروگاه نمونه برای بررسی طرح

۲-۱- نیروگاه های موجود در حاشیه خلیج فارس

با بررسی نیروگاه های موجود در مناطق حاشیه خلیج فارس در کشور. به جز واحدهای کوچک گازی Frame5 و Frame6 که واحدهای قدیمی با راندمان کمتر از ۲۵٪ می باشند و عمر مفید خود را سپری کرده اند واحدهای گازی دیگری که بتوان طرح مورد نظر را بر روی آن پیاده نمود واحدهای نیروگاه خلیج فارس و نیروگاه چابهار می باشند. در حال حاضر بخش بخار سیکل ترکیبی نیروگاه آبادان در حال احداث می باشد و نیروگاه خلیج فارس با توجه به فاصله ۳۵ کیلومتری از دریا و ارتفاع ۶۰ متری از سطح دریا گزینه مناسبی برای طرح آب شیرین کن نمی باشد لذا در حال حاضر تنها گزینه موجود برای بررسی طرح CCHP نیروگاه چابهار می باشد. هر چند این نیروگاه نیز برای اجرای این طرح با مشکلاتی چون فاصله ۱۰ کیلومتری از دریا و عدم وجود سوخت گاز مواجه می باشد اما در حال حاضر بهترین گزینه موجود برای بررسی به شمار می رود. همچنین در صورت مشخص شدن یک طرح CCHP برای نیروگاه چابهار، واحدهای گازی دیگری که در برنامه احداث قرار دارند مانند واحدهای ماهشهر، هرمزگان، خرمشهر و قشم نیز هر یک می تواند به جای تبدیل شدن به سیکل ترکیبی خالص به طرح CCHP پیشنهاد شده برای نیروگاه چابهار تبدیل شود.

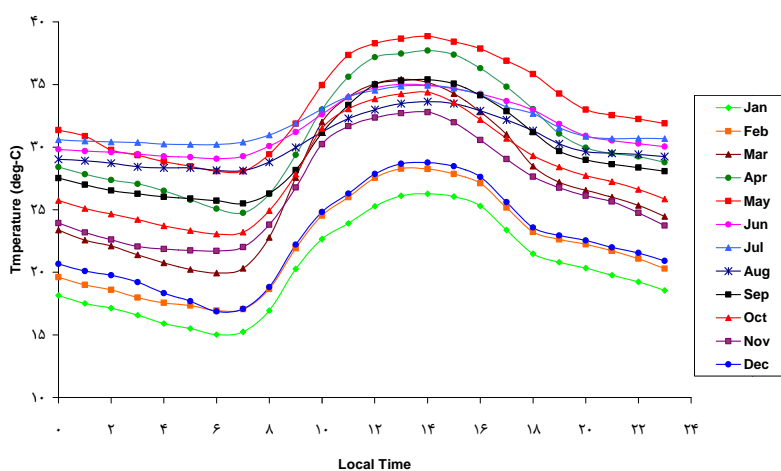
جدول ۱: واحدهای گازی موجود و برنامه آینده وزارت نیرو برای مناطق جنوبی [۲]

ردیف	نام نیروگاه	مدل توربین گاز	سال راه اندازی
۱	آبادان	4xGe9171E	۱۳۸۱
۲	خلیج فارس	6xGT13E2	۱۳۸۴
۳	چابهار	2xV94.2	۸۸ - ۱۳۸۷
۴	ماهشهر	4xV94.2	۹۱ - ۱۳۹۰
۵	هرمزگان	4xV94.2	۹۱ - ۱۳۹۰
۶	خرمشهر	4xV94.2	۹۳ - ۱۳۹۲
۷	پاسارگاد قشم	2xV94.2	۹۳ - ۱۳۹۲

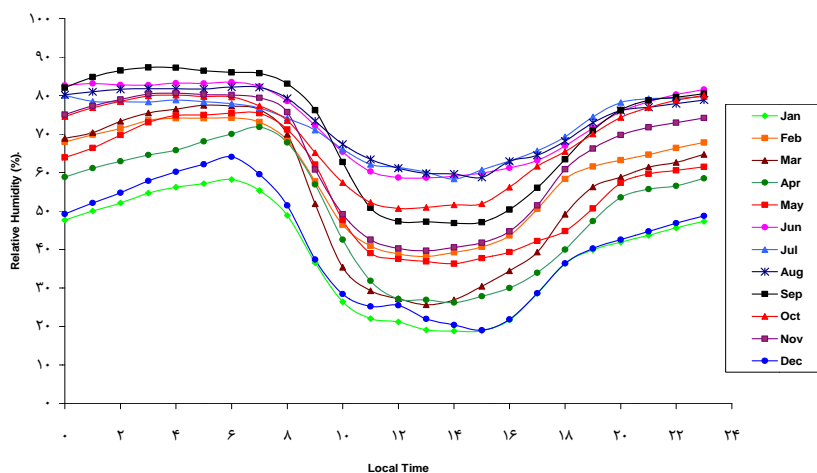
در پژوهش حاضر امکان استفاده از گرمای هدررفت نیروگاه گازی چابهار به عنوان یک واحد نمونه برای تبدیل آن به نیروگاه سیکل ترکیبی و همچنین خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور و تولید آب شیرین از آب دریا مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲-۲- شرایط نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار

نیروگاه چابهار در جنوب شرقی کشور در فاصله ۱۰ کیلومتری از دریای عمان واقع شده است. شرایط آب و هوایی شهرستان چابهار از لاگ شیت سایت نیروگاه دریافت گردید. میانگین دما و رطوبت نسبی محل در هر ساعت برای تمام ماه های سال ۲۰۱۰ در شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده است. واحدهای گازی نیروگاه چابهار از دو واحد ۷۹۴.۲ تشکیل شده است که در سال ۱۳۸۷ وارد مدار گردیده اند و ساعت کارکرد آنها تاکنون ۱۲۰۰۰ ساعت می باشد. با توجه به منحنی های عملکرد واحدها بر حسب ساعات کارکرد، این موضوع منجر به کاهش ضریب توان به میزان ۰/۹۷۲ می شود. شکل (۴) منحنی عملکرد این واحدها بر حسب دمای هوای ورودی به کمپرسور را نشان می دهد.

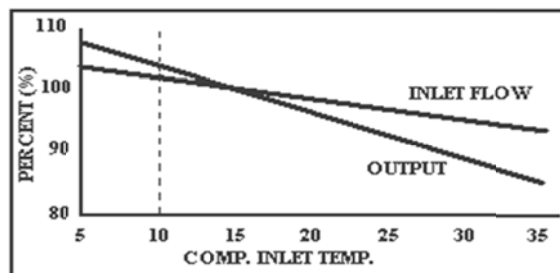


شکل ۲: میانگین دمای سایت نیروگاه چابهار در هر ساعت در طول سال [۳]



شکل ۳: میانگین رطوبت نسبی سایت نیروگاه چابهار در هر ساعت در طول سال [۳]

این منحنی ها بیان می کنند که در نیروگاه گازی چابهار هر یک درجه سانتیگراد افزایش دمای هوای ورودی به کمپرسور نسبت به شرایط استاندارد (15°C) سبب 0.36% کاهش دبی هوای ورودی و 0.74% کاهش توان خروجی می گردد.



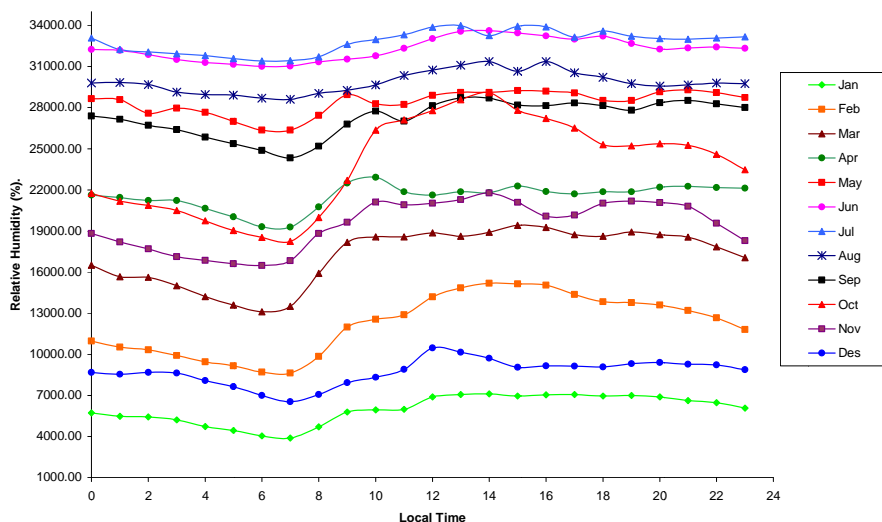
شکل ۴: منحنی عملکرد توربین های گازی چابهار [۴]

۳- بررسی انتخاب های طراحی سیستم CCHP

۳-۱- سرمایه های ورودی با چیلر جذبی

با توجه به آب و هوای گرم و مرطوب شهر چابهار که استفاده از روش های خنک کاری تبخیری را عملاً غیر ممکن می سازد و همچنین وجود انرژی حرارتی هدر رفته در نیروگاه، استفاده از چیلر های جذبی بهترین گزینه برای خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور می باشد. پارامتر های مورد نیاز برای محاسبه ظرفیت اسمی چیلر، بار سرمایشی لازم برای رساندن دمای هوا به مقدار مورد نظر و شرایط آب و هوایی محیط می باشد. حداقل دمای هوای ورودی به کمپرسور برای جلوگیری از یخزدگی به میزان 7°C درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. بار سرمایشی براساس قانون اول ترمودینامیک و استفاده از نمودار رطوبت سنجی برای رساندن دمای هوای محیط به 7°C درجه سانتیگراد در هر ساعت از شبانه روز در طول سال محاسبه شده و در شکل (۵) قابل مشاهده است. بیشترین بارهای سرمایشی مورد نیاز مربوط به ماه های ژوئن و جولای و کمترین آن مربوط به ماه های ژانویه و دسامبر می باشد. همچنین بیشترین بار سرمایشی محاسبه شده برای هر توربین گاز برابر 9693 تن مربوط به ساعت 13 ماه جولای و کمترین آن برابر 1226 تن برای هر توربین گاز مربوط به ساعت 7 ماه ژانویه است. بنابراین در صورت انتخاب ظرفیت چیلر براساس بار سرمایشی ماکزیمم ظرفیت اسمی 25780 تن تعیین می گردد. با انتخاب چیلر بر اساس بار حداکثر محاسبه شده برای گرمترین ماه سال، تنها در تعداد معدودی از ساعات سال از حداکثر ظرفیت چیلر نصب شده استفاده می شود و در بیشتر ساعات ظرفیت نصب شده بیکار خواهد ماند. انتخاب بار سرمایشی

حداکثر به عنوان ظرفیت چیلر ضمن اینکه هزینه سرمایه گذاری را بالا می برد، تغییر چندانی در مقدار توان اضافی تولید شده در اثر سرمایش هوای ورودی در طول سال ایجاد نمی کند. لذا انتخاب بار ماکزیمم به عنوان ظرفیت چیلر اقتصادی نمی باشد.



شکل ۵: بار های سرمایشی متوسط مورد نیاز برای رساندن دمای هوا ورودی به ۷ درجه سانتیگراد

۳-۲- تعیین ظرفیت بهینه خنک کاری

مهمترین پارامتر فنی در طراحی چیلر جذبی در سرمایش هوای ورودی تعیین ظرفیت بهینه آن می باشد زیرا این پارامتر تأثیر مستقیم بر ابعاد چیلر، مبدل حرارتی، بویلر بازیافت، سیستم کولینگ کندانسور و آب خنک کننده مصرفی و سایر اجزاء مرتبط با آن و امکان سنجی اقتصادی طرح دارد. در تعیین ظرفیت بهینه چیلر ابتدا ظرفیت اسمی مورد نیاز برای رساندن دمای هوای 7°C در هر ماه تعیین می گردد سپس به ازای هر یک از ظرفیت های تعیین شده به عنوان ظرفیت اسمی ورودی به چیلر، میزان سود حاصل از فروش برق در طول سال محاسبه می گردد.

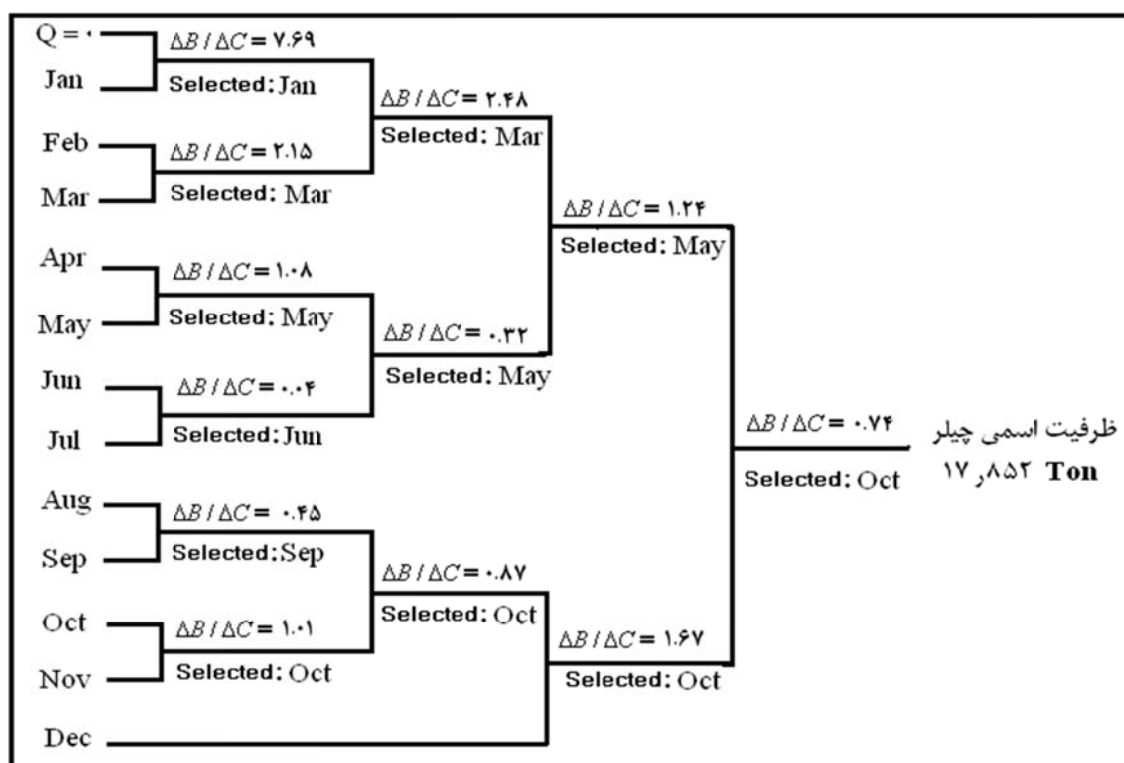
هزینه چیلر با احتساب طول عمر ۲۵ سال و نرخ بهره ۱۰٪ بصورت سالانه به عنوان هزینه سرمایه گذاری تعیین می گردد. گزینه های فوق از نظر اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده و گزینه بهینه مشخص می شود. مقادیر محاسبه شده برای ظرفیت اسمی چیلر برای دو واحد گازی در هر ماه بر حسب تن در جدول ۱ نشان داده شده است. برای مقایسه اقتصادی بین چند طرح از اصول روش سرمایه گذاری اضافی استفاده می شود [۵]. با محاسبه سود B و هزینه C برای هر دو طرح نسبت $\Delta B / \Delta C$ محاسبه شده و در صورتی که $\Delta B / \Delta C \geq 1$ باشد، طرحی که دارای هزینه اولیه بیشتر است و در غیره این صورت طرحی که دارای



هزینه اولیه کمتر است به عنوان طرح بهینه انتخاب می شود. میزان سود حاصل از فروش برق با محاسبه توان خروجی از نیروگاه با محاسبه ساعت به ساعت در طول سال با استفاده از دما و رطوبت نسبی محل تعیین می شود و به منظور تعیین طرح بهینه از نمودار درختی شکل ۶ که بر مبنای مقایسه نسبت های $\Delta B/\Delta C$ برای طرح های مختلف رسم شده است استفاده می شود.

جدول ۲: ظرفیت چیلر برای هر یک از ماه های طراحی (تن تبرید)

ظرفیت اسمی	ماه	ردیف	ظرفیت اسمی	ماه	ردیف
۲۵۷۸۰	Jul	۷	۴۷۹۵	Jan	۱
۲۱۷۱۸	Aug	۸	۷۴۹۲	Feb	۲
۱۸۵۳۲	Sep	۹	۹۶۹۸	Mar	۳
۱۷۸۵۲	Oct	۱۰	۱۱۹۴۶	Apr	۴
۱۶۱۸۰	Nov	۱۱	۱۸۹۷۰	May	۵
۵۴۱۶	Dec	۱۲	۲۵۲۶۰	Jun	۶



شکل ۶: انتخاب ظرفیت بهینه چیلر با استفاده از اصول روش سرمایه گذاری اضافی

در مقایسه بین هر دو طرح مقدار $\Delta B/\Delta C$ و طرح اولویت دار در شکل ۶ نشان داده شده است و در نهایت ظرفیت بهینه طراحی بر اساس ماه اکتبر ۱۷۸۵۲ تن انتخاب می شود.

۳-۳- ذخیره سازی سرما

راهکار یکنواخت کردن تقاضای انرژی در مصارف سرمایشی، ذخیره سازی سرما می باشد. اصول روش های ذخیره سازی سرما برای سرمایش هوای ورودی در نیروگاه ها بر انتقال تمام یا بخشی از بار ساعات پیک به ساعات غیر پیک استوار است. بکارگیری ذخیره سازی سرما در ابتدا برای انتقال بار سرمایشی در مصارف تهویه مطبوع از ساعات پیک به ساعات غیرپیک معمول شد و پس از آن برای مصارف سرمایش هوای ورودی توربین نیز بکار گرفته شد. در طراحی سیستم های ذخیره سازی سرما می توان از حرارت محسوس یا حرارت نهان ماده به عنوان منبع انرژی حرارتی استفاده کرد. بر این اساس آب سرد، یخ و نمک های یوتکتیک موادی هستند که برای ذخیره سازی سرما مناسب می باشند. گزینه های عملکردی سیستم های ذخیره سازی معمولاً در قالب ذخیره سازی کامل یا جزئی طبقه بندی می شوند. در ذخیره سازی کامل کل بار برودت از ساعات پیک به ساعات غیر پیک انتقال می یابد به این ترتیب که در ساعات غیر پیک چیلر به شارژ مخزن ذخیره می پردازد و در ساعات پیک بار سرمایشی مورد نیاز به طور کامل توسط مخزن ذخیره ساز تأمین می گردد. در ذخیره سازی جزئی چیلر در تمام طول روز کار می کند و بخشی از بار توسط ذخیره ساز و مابقی توسط چیلر به صورت سرمایش مستقیم تأمین می گردد. به این ترتیب در حالت ذخیره سازی کامل در ساعات پیک که قیمت برق بیشتر است از چیلر استفاده نمی شود و واحد به حداکثر ظرفیت ممکن خود می رسد. در این حالت ظرفیت چیلر نسبت به حالت ذخیره سازی جزئی بیشتر می شود. ذخیره سازی جزئی به دو صورت ذخیره سازی با تراز بار و یا ذخیره سازی با دیماند محدود انجام می شود. در حالت ذخیره سازی با تراز بار چیلر در طول روز با ظرفیت کامل و یکنواخت کار می کند و در ذخیره سازی جزئی با دیماند محدود چیلر در ساعات پیک با ظرفیت نصف طراحی و در ساعات غیر پیک با ظرفیت کامل کار می کند. در اینجا محاسبات ذخیره سازی بر مبنای ۸ ساعت خنک کاری در روز در ساعات پیک (۱۶-۲۴) انجام می شود. محاسبات فوق برای تعیین سود حاصل از فروش برق در طول سال توسط نرم افزار ترموفلو انجام می شود و با در نظر گرفتن هزینه سرمایه گذاری برای نصب چیلر و مخزن ذخیره سازی، میزان سود و هزینه مشخص شده و با استفاده از شاخص سرمایه گذاری اضافی طرح های مختلف ذخیره سازی مقایسه می شوند. در حالت ذخیره سازی یخ، از آنجا که چیلر با ضریب عملکرد پایین تری کار می کند ظرفیت اسمی چیلر نسبت به حالت ذخیره سازی آب سرد بیشتر می باشد و حجم فضای اشغال شده توسط مخزن ذخیره کمتر می گردد. نتایج نشان می دهد اقتصادی ترین



حالت برای ذخیره سازی سرما حالت ذخیره سازی آب سرد با تراز بار می باشد که ظرفیت چیلر و تجهیزات در آن پایین ترین مقدار می باشد.

۳-۴- تولید همزمان برق و آب شیرین

۳-۴-۱- بررسی وضعیت آب شیرین در چابهار

طبق اطلاعات آماری ارائه شده توسط شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان جمعیت شهرستان های چابهار و کنارک در سال ۱۴۰۵ برابر ۲۹۳۲۳۸ نفر خواهد بود. که با در نظر گرفتن مصرف سرانه ۲۱۵ لیتر در روز ۱۸/۷۷ میلیون متر مکعب نیاز مصرف سالانه و ۸۹۳ لیتر در ثانیه مصرف حداکثر لحظه ای آب شیرین برای این دو شهرستان می باشد. و با احتساب آب مورد نیاز منطقه آزاد و صنایع پیش بینی شده این میزان به ۱۲۹۴ لیتر در ثانیه می رسد [۶]. در حال حاضر آب مصرفی شهرستان های کنارک و چابهار از طریق دو آب شیرین کن به روش اسمز معکوس و تبخیر مکرر آنی به ترتیب با ظرفیت ۱۵۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ متر مکعب در روز تامین می شود و مردم این دو شهرستان هفته ای یک بار به آب لوله کشی دسترسی دارند. طرح کوتاه مدت آب رسانی به این منطقه شامل احداث آبگیر جدید در پایین دست پیشین و احداث تصفیه خانه جدید جهت انتقال ۱۰۰۰ متر مکعب در ساعت آب با هزینه ۳۰ میلیارد تومان و طرح بلند مدت آبرسانی به این دو شهرستان از سد کهپرو زیردان به ترتیب به ظرفیت ۱۰ و ۱۵ میلیون متر مکعب در سال با هزینه ۱۳۰ میلیارد تومان در نظر گرفته شده است. با توجه به اطلاعات آماری فوق و وضعیت موجود آب شرب در شهرستان های کنارک و چابهار از قبیل سهمیه بندی آب شیرین تولیدی و عدم وجود آب لوله کشی قابل آشامیدن، کمبود آب شیرین در این دو شهرستان حداقل در میان مدت و تا پیش از به تحقق پیوستن طرح های بزرگ آبرسانی در نظر گرفته شده در بلند مدت وجود دارد. لذا بررسی طرح تولید همزمان برق و آب شیرین در نیروگاه چابهار به عنوان یک منبع تامین آب فارغ از میزان بارش سالیانه و آب موجود در سدها و بدون نیاز به طرح های بزرگ آبرسانی و سدسازی و بدون تهدید اکوسیستم منطقه از طریق خشک شدن رودخانه های موجود مفید می باشد.

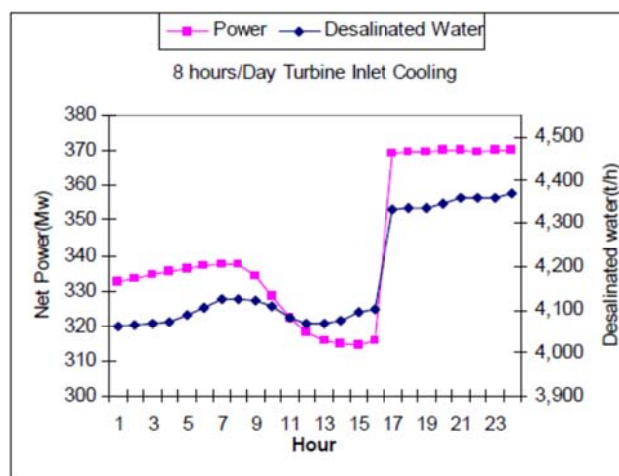
۳-۴-۲- طرح های آب شیرین کن

برای تولید همزمان برق و آب دو روش سری و موازی وجود دارد. در تولید همزمان به صورت موازی قسمتی از بخار تولید شده از مولد بازیاب حرارتی و یا بویلر وارد آب شیرین کن و قسمتی از آن وارد توربین می گردد و در نتیجه محصول برق در کنار آب شیرین به صورت جداگانه توسط یک بویلر

مشترک تولید می گردند. در این روش قابلیت انعطاف نیروگاه بیشتر می باشد اما میزان مصرف انرژی مشابه حالتی است که هر یک از محصولات در واحدهای تک منظوره تولید شوند. از نظر ترمودینامیکی حالتی که ابتدا انرژی بخار در توربین به انرژی مکانیکی تبدیل شود و سپس به عنوان سیال گرم کننده در آب شیرین کن برای تولید آب شیرین استفاده شود دارای راندمان بالاتری می باشد. در تولید همزمان به صورت سری، بخار تولید شده ابتدا در توربین بخار منبسط می گردد و سپس وارد آب شیرین کن می شود. در این حالت اگرچه قابلیت انعطاف واحد کاهش می یابد اما میزان مصرف سوخت نسبت به حالت پیش کمتر می شود. تولید همزمان به صورت سری به دو طریق با استفاده از توربین تقطیری و توربین پس فشار انجام می شود که در اینجا به نتایج مدل سازی هر یک از این حالت ها و مزایا و معایب آنها اشاره می شود.

۳-۴-۳- تولید همزمان با استفاده از توربین پس فشار

در نیروگاه هایی با نسبت تقاضای برق به آب (PW) پایین تر استفاده از توربین پس فشار مناسب می باشد. در این حالت همه بخار تولید شده در بویلر یا مولد بازیاب حرارتی در توربین پس فشار منبسط می گردد سپس بخار فشار پایین خروجی از توربین وارد گرمکن آب دریا می گردد و با کندانس شدن در آن گرمای مورد نیاز برای تبخیر آب دریا را تامین می نماید. آب کندانسه از گرمکن آب شور در آب شیرین کن به دی اریاتور رفته و پس از هوازدایی مجددا وارد سیکل می گردد. در این ترکیب امکان تغییر نسبت PW وجود ندارد و توربین بخار و واحد آب شیرین کن بصورت سری با یکدیگر کوپل می باشند. در صورت خارج شدن هر یک از این دو واحد از مدار واحد دیگر نیز از مدار خارج می شود. نتایج مدل سازی تولید همزمان با توربین پس فشار و خنک کاری هوای ورودی با استفاده از ذخیره سازی سرما در نرم افزار ترموفلو در شکل ۷ نشان داده شده است.

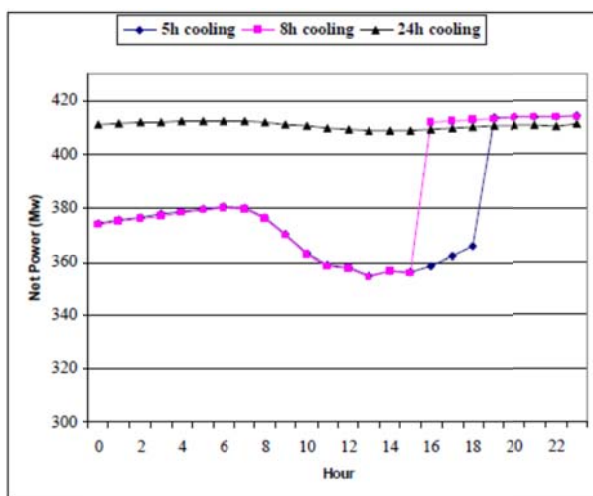


شکل ۷: مدل سازی طرح CCHP با استفاده از توربین پس فشار در چابهار

با استفاده از سیستم سرمایش هوای ورودی به توربین گاز با ذخیره سازی سرما در ساعات غیر پیک و خنک کاری هوای ورودی در ساعات پیک همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است به طور میانگین ۵۰ مگاوات توان خروجی در ساعات پیک افزایش می یابد.

۳-۴-۴- تولید همزمان با استفاده از توربین تقطیری

در این حالت آب شیرین کن توسط بخار کم فشار زیرکش شده از توربین بخار تغذیه می گردد و حداکثر میزان آب شیرین قابل تولید به میزان نصف حالت قبل برابر ۲۰۰۰ تن در ساعت در نظر گرفته می شود. این میزان می تواند در تابستان که نیاز به تولید برق بیشتر است کاهش یابد و توربین بخار با حداکثر ظرفیت خود کار کند. در این حالت در صورتی که آب شیرین کن از مدار خارج گردد و یا نیاز به تولید برق بیشتری وجود داشته باشد با بسته شدن زیرکش بخار توان خروجی می تواند به حداکثر برسد. بنابراین در این حالت قابلیت دسترسی و قابلیت انعطاف بیشتری نسبت به حالت توربین پس فشار وجود خواهد داشت.



شکل ۸: مدل سازی طرح CCHP با استفاده از توربین تقطیری در نیروگاه چابهار

۴- مقایسه اقتصادی طرح های CCHP

به منظور برآورد اقتصادی طرح های ارائه شده هزینه احداث و تعمیرات و نگهداری بخش بخار سیکل ترکیبی با استفاده از اطلاعات اخذ شده از دفتر برنامه ریزی توانیر محاسبه شده است. برآورد هزینه های تجهیزات و تعمیرات و نگهداری سیستم خنک کن هوای ورودی و آب شیرین کن با استفاده از نرم افزار ترموفلو انجام شده است. هزینه تجهیزات لوله و پمپ جهت انتقال آب از دریا به سایت با استفاده از

لیست قیمت تجهیزات نیروگاهی و هزینه اجرای خط لوله با استفاده از فهرست بهای رشته خطوط انتقال آب برآورد شده است [۷]. مفروضات اقتصادی در نظر گرفته شده مطابق جدول ۲ می باشد. با در نظر گرفتن مفروضات اقتصادی ذکر شده، ۹ طرح زیر به عنوان راهکارهای ممکن برای نیروگاه چابهار بررسی شده است.

جدول ۲: مفروضات اقتصادی

مقدار	واحد	پارامتر اقتصادی
۲	سال	مدت زمان احداث
۲۵	سال	طول دوران بهره برداری
۱۰	درصد	نرخ تنزیل ریالی
۳	درصد	نرخ تنزیل ارزی
۴	درصد در سال	نرخ استهلاك
۳۵۰۰	ریال به ازای لیتر	قیمت گازوئیل
۸۰۰	ریال به ازای متر مکعب	قیمت گاز
۲۰۰۰۰	ریال به ازای متر مکعب	قیمت آب
۱۱۰۰	ریال به ازای کیلووات ساعت	قیمت برق با سوخت گازوئیل
۲۰۰	ریال به ازای کیلووات ساعت	قیمت برق با سوخت گاز ساعت غیر پیک
۴۰۰	ریال به ازای کیلووات ساعت	قیمت برق با سوخت گاز ساعت میان پیک
۸۰۰	ریال به ازای کیلووات ساعت	قیمت برق با سوخت گاز ساعت پیک

طرح شماره ۱: سیکل ترکیبی خالص که دارای بالاترین راندمان الکتریکی می باشد. در این طرح فرض می شود که واحدهای گازی V94.2 موجود به سیکل ترکیبی تبدیل شود.

طرح شماره ۲ (CC+TIC): سیکل ترکیبی به همراه خنک کاری هوای ورودی به مدت ۲۴ ساعت در روز به وسیله چیلر جذبی با استفاده از زیرکش بخار از توربین. این حالت دارای بیشترین میزان تولید برق می باشد.

طرح های شماره ۳ و ۴ (CC+5h,8h TIC+Des Con): سیکل ترکیبی با خنک کاری هوای ورودی هر یک به ترتیب با ۵ و ۸ ساعت خنک کاری در روز و سیستم ذخیره سازی سرما و تولید ۲۰۰۰ تن بر ساعت آب شیرین با استفاده از زیرکش توربین بخار.



طرح شماره ۵: (CC+24h TIC+Des (Con)): سیکل ترکیبی با خنک کاری هوای ورودی به طور پیوسته به میزان ۲۴ ساعت در روز و تولید ۲۰۰۰ تن بر ساعت آب شیرین با استفاده از زیرکش توربین بخار.

طرح شماره (CC+Des): سیکل ترکیبی و تولید آب شیرین با استفاده از بخار خروجی از توربین پس فشار به میزان ۴۵۰۰ تن بر ساعت بدون خنک کاری هوای ورودی.

طرح های شماره ۷ و ۸ (BP) (CC+5h,8h TIC+Des): سیکل ترکیبی و تولید آب شیرین و خنک کاری هوای ورودی هر یک به ترتیب با ۵ و ۸ ساعت در روز در ساعات پیک و سیستم ذخیره سازی سرما با استفاده از بخار خروجی از توربین پس فشار.

طرح شماره ۹ (BP) (CC+24hTIC+Des): سیکل ترکیبی و تولید آب شیرین و خنک کاری هوای ورودی به طور پیوسته به میزان ۲۴ ساعت در روز با استفاده از بخار خروجی از توربین پس فشار.

نتایج حاصل از مدل سازی همه حالت های ذکر شده فوق در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود با افزایش تعداد ساعات کاری تولید الکتریسیته افزایش و راندمان تولید همزمان به علت مصرف بخار در چیلر جذبی کاهش می یابد لذا بالاترین راندمان الکتریکی مربوط به سیکل ترکیبی خالص و بالاترین راندمان تولید همزمان مربوط به تولید همزمان برق و آب شیرین بدون خنک کاری هوای ورودی با راندمان ۸۰٪ می باشد. برای مقایسه بهتر حالت های فوق تحلیل اقتصادی برای همه حالت های فوق با برآورد هزینه سرمایه گذاری و در نظر گرفتن مفروضات جدول ۲ انجام شده است.

هزینه کل سرمایه گذاری C	راندمان CHP net	راندمان الکتریکی net	آب شیرین	خالص برق تولیدی در سال	دبی آب دریا	ظرفیت ذخیره سازی	ظرفیت اسمی چیلر	
\$	%	%	M ³ /yr	Kwh/yr	m ³ /h	Tonh	Ton	
۱۷۰.۰۰۰.۰۰۰	---	۴۶.۲۲%	-	۲.۲۴۷.۸۴۷.۹۸۸	-	-	-	CC (Base Case) ۱
۱۸۸.۱۵۱.۸۹۰	---	۴۵.۸۳%	-	۲.۵۹۵.۴۲۱.۷۵۱	۱۳.۰۰۰	-	-	CC+TIC (24h cooling) ۲
۲۴۷.۴۰۲.۳۰۰	۵۸.۶۲%	۴۳.۶۴%	۱۲.۰۰۰.۹۶۰	۲.۲۵۹.۱۸۷.۰۶۶	۱۷.۰۰۰	۷۰.۶۶۴	۳.۷۱۹	TIC+Des (5hcooling) con ۳
۲۵۰.۱۱۳.۰۲۸	۵۸.۲۳%	۴۳.۶۱%	۱۲.۰۰۰.۹۶۰	۲.۲۹۳.۴۱۳.۵۳۵	۱۸.۵۰۰	۹۵.۲۱۱	۵.۹۵۱	TIC+Des (8hcooling) con ۴
۲۵۸.۲۸۱.۴۳۱	۵۷.۰۱%	۴۳.۴۴%	۱۲.۰۰۰.۹۶۰	۲.۴۵۶.۱۰۹.۳۰۸	۲۷.۵۰۰	-	۱۷.۸۵۲	TIC+Des (24hcooling) con ۵
۲۸۲.۸۲۴.۵۶۴	۷۹.۹۴%	۳۸.۲۳%	۲۷.۰۶۴.۴۶۰	۱.۹۶۸.۲۶۱.۱۸۶	۳۳.۰۰۰	-	-	CC+Des BP ۶
۲۸۵.۴۹۸.۵۶۱	۷۶.۷۸%	۳۸.۵۴%	۲۵.۲۸۴.۳۰۸	۱.۹۹۴.۶۸۶.۵۰۰	۳۴.۵۰۰	۷۰.۶۶۴	۳.۷۱۹	TIC+Des (5hcooling) BP ۷
۲۸۸.۳۱۰.۵۸۰	۷۵.۷۲%	۳۸.۶۱%	۲۵.۰۵۲.۳۵۲	۲.۰۲۹.۸۲۳.۳۷۷	۳۶.۰۰۰	۹۵.۲۱۱	۵.۹۵۱	TIC+Des (8hcooling) BP ۸
۲۹۶.۳۷۰.۵۴۱	۷۰.۸۶%	۳۸.۹۰%	۲۳.۷۲۸.۶۵۸	۲.۲۰۲.۲۲۹.۸۷۶	۴۵.۰۰۰	-	۱۷.۸۵۲	TIC+Des (24hcooling) BP ۹

جدول ۳: نتایج مدل سازی طرح های مختلف CCHP

از آنجا که نتیجه تحلیل اقتصادی نیروگاه تولید همزمان به میزان قیمت فروش برق و آب بستگی دارد. قیمت تمام شده آب شیرین تولیدی به این روش با سوخت گاز برابر ۱۱۰۰۰ ریال و با سوخت گازوئیل برابر ۱۹۵۰۰ برای هر متر مکعب می باشد. با توجه به کمبود آب در منطقه چابهار و تولید آب شیرین به روش های پرهزینه تر از جمله تولید در کارخانه تک منظوره آب شیرین چابهار با استفاده از سوخت مازوت ارزش آب شیرین در این منطقه بیشتر از حداقل مقادیر گزارش شده جهانی برای تولید آب در حدود (1\$/m³) می باشد. آنالیز حساسیت انجام شده نسبت به قیمت آب برای شاخص های اقتصادی در صورت استفاده از سوخت گازوئیل در جدول ۴ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود احداث واحد آب شیرین کن با استفاده از زیرکش بخار از توربین برای فروش آب به قیمت بالاتر از ۲۲۰۰۰ ریال بر متر مکعب توجیه پذیر می شود و استفاده از توربین پس فشار برای فروش آب به قیمت بالاتر از ۳۰۰۰۰ ریال بر متر مکعب به صرفه می باشد. در حال حاضر قیمت فروش آب شیرین پایین تر از قیمت تولید آن می باشد. تعیین انتخاب بهینه برای نیروگاه چابهار می بایست با در نظر گرفتن مزایا و معایب هر یک از حالت های توربین پس فشار و توربین تقطیری و شرایط منطقه انجام پذیرد. مزایای استفاده از توربین تقطیری با زیرکش بخار شامل عدم تداخل سیستم تولید آب شیرین در تولید برق در صورت خارج شدن آب شیرین کن از مدار و امکان تغییر نسبت PW بر حسب نیاز می باشد که باعث بالاتر بودن قابلیت دسترسی و قابلیت انعطاف سیستم می گردد. این امر با توجه به اولویت دار بودن تولید برق نسبت به آب در دیدگاه وزارت نیرو دارای اهمیت می باشد. از مزایای بکارگیری توربین پس فشار دستیابی به راندمان بالای تولید همزمان تا ۸۰٪ صرفه جویی در هزینه سرمایه گذاری در بخش کندانسور و سیستم خنک کن واحد تولید برق و کاهش هزینه تولید آب می باشد. با در نظر گرفتن مزایا و معایب هر یک از طرح های فوق و در نظر گرفتن برخی شرایط سایت که باعث افزایش هزینه تولید آب شیرین در نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار نسبت به نیروگاه های معمول تولید همزمان برق و آب شیرین می گردد، از قبیل عدم وجود سوخت گاز در نیروگاه و بالاتر بودن هزینه تولید آب با استفاده از سوخت گازوئیل و وجود فاصله ۱۰ کیلومتری سایت از محل نیروگاه که نیازمند احداث خطوط انتقال رفت و برگشت آب خنک کننده از دریا به سایت و برگشت آب بلودان به دریا می باشد. همچنین وجود طرح های بلند مدت آب رسانی به شهرستان چابهار و کنارک از سدهای کهیر و زبردان تا سال ۱۴۱۵ که در صورت تحقق نیاز منطقه به تولید آب در نیروگاه سیکل ترکیبی با ظرفیت حداکثر وجود نخواهد داشت به نظر می رسد انتخاب توربین تقطیری با ظرفیت تولید آب شیرین ۲۰۰۰ تن بر ساعت و خنک کاری هوای ورودی به مدت ۸ ساعت در روز با استفاده از ذخیره سازی آب سرد به عنوان اولین طرح نمونه CCHP در کشور مناسب باشد.



جدول ۴: انتخاب طرح اقتصادی بر اساس قیمت فروش آب

قیمت آب (مترمکعب / ریال)	طرح الویت دار بر اساس شاخص اقتصادی	
	$\Delta B/\Delta C$	NPV
۱۰۰۰۰	CC+TTC	CC+TTC
۱۲۰۰۰	CC+TTC	CC+TTC
۱۴۰۰۰	CC+TTC	CC+TTC
۱۶۰۰۰	CC+TTC	CC+TTC
۱۸۰۰۰	CC+TTC	CC+TTC
۲۰۰۰۰	CC+TTC	CC+TTC
۲۲۰۰۰	CC+24h TIC+Des(Con)	CC+24h TIC+Des(Con)
۲۴۰۰۰	CC+24h TIC+Des(Con)	CC+24h TIC+Des(Con)
۲۶۰۰۰	CC+24h TIC+Des(Con)	CC+24h TIC+Des(Con)
۲۸۰۰۰	CC+24h TIC+Des(Con)	CC+24h TIC+Des(Con)
۳۰۰۰۰	CC+24h TIC+Des(Con)	CC+24h TIC+Des(Con)
۳۲۰۰۰	CC+Des (BP)	CC+Des (BP)
۳۴۰۰۰	CC+Des (BP)	CC+Des (BP)
۳۶۰۰۰	CC+Des (BP)	CC+Des (BP)
۳۸۰۰۰	CC+Des (BP)	CC+Des (BP)
۴۰۰۰۰	CC+Des (BP)	CC+Des (BP)

جدول ۵: مشخصات طرح انتخاب شده

ساعات ۱۷-۲۳	ساعات ۰-۱۶	واحد	
۱۲۸	۱۱۷	Mw	توان بخش بخار
۲۹۷/۵	۲۵۱	Mw	توان بخش گازی با سیستم خنک
جذبی یک اثره خنک شونده با آب		-	نوع سیستم خنک کن هوای ورودی
۵/۹۵۱		Ton	ظرفیت اسمی چیلر
۹۵/۲۱۱		Ton.h	ظرفیت سیستم ذخیره سازی سرما
MSF			نوع سیستم نمک زدایی
۲۰۰۰		Ton/h	ظرفیت تولید آب شیرین
۵۸/۳۲		درصد	راندمان CHP

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق یک طرح نمونه CCHP برای نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار بررسی شده است که در صورت اجرا می تواند باعث افزایش ظرفیت تولید برق در ساعات پیک از طریق ذخیره سازی سرما در ساعات غیر پیک و سرمایش هوای ورودی در ساعات پیک شود و همزمان به نیاز منطقه به آب شیرین پاسخ گوید. برای تعیین ظرفیت بهینه خنک کاری سیستم با توجه به این که بار برودتی در طول سال متغیر می باشد از تحلیل اقتصادی به روش سرمایه گذاری اضافی استفاده شده است. تولید همزمان برق و آب شیرین به دو شیوه با استفاده از توربین پس فشار و توربین تقطیری امکان پذیر است. در استفاده از توربین تقطیری، آب شیرین کن توسط بخار کم فشار زیرکش شده از توربین کم فشار تغذیه می گردد. در این حالت امکان تغییر نسبت آب به برق تولیدی وجود دارد و سیستم دارای قابلیت انعطاف بیشتری می باشد. در حالت توربین پس فشار همه بخار خروجی از توربین بخار صرف تولید آب شیرین می شود. در این حالت با توجه به مشترک بودن هزینه کندانسور برای نیروگاه و آب شیرین کن در هزینه سرمایه گذاری صرفه جویی می شود. حداکثر ظرفیت تولید آب در این حالت برابر ۴۲۰۰ تن بر ساعت می باشد و راندمان تولید همزمان به ۸۰٪ می رسد. در تحلیل اقتصادی انجام شده مشخص گردید در صورت مصرف سوخت گازی در نیروگاه و فروش آب شیرین به قیمت کمتر از ۲۲۰۰۰ ریال به ازای متر مکعب احداث آب شیرین کن اقتصادی نمی باشد. در صورت فروش آب شیرین به قیمت بالاتر از ۲۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ ریال به ازای متر مکعب احداث آب شیرین کن با ظرفیت 2000 t/h با استفاده از زیرکش بخار امکان پذیر بوده و در صورت فروش آب به قیمت بالا تر از ۳۰۰۰۰ ریال به ازای متر مکعب امکان احداث واحد آب شیرین کن با ظرفیت حداکثر و توربین پس فشار وجود دارد. با توجه به شرایط مناطق حاشیه خلیج فارس از جمله دما و رطوبت بالا و عدم امکان استفاده از سیستم های تبخیری خنک کن هوای ورودی و همچنین کمبود منابع آب آشامیدنی در این منطقه، اجرای طرح های CCHP بر روی واحدهای گازی V94.2 که در برنامه آینده وزارت نیرو برای نصب در این منطقه قرار دارند می تواند به جای احداث سیکل ترکیبی خالص مورد توجه قرار گیرد. در حال حاضر به جز واحدهای گازی کوچک Frame5 و Frame6 در این منطقه و واحدهای دیگری که بتواند برای اجرای طرح CCHP مورد توجه قرار گیرد واحدهای نیروگاه خلیج فارس و نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار می باشند که به ترتیب در فاصله ۳۵ و ۱۰ کیلومتری از دریا قرار دارند. احداث واحدهای گازی جدید در مجاورت دریا به منظور دسترسی آسان به آب دریا جهت تهیه آب خنک کننده برای سیستم خنک کاری جذبی هوای ورودی به توربین گاز، خنک کاری کندانسور سیکل ترکیبی و تهیه آب مورد نیاز برای آب شیرین کن در آینده جهت تبدیل آنها به واحدهای تولید همزمان باید در برنامه توسعه مورد توجه قرار گیرد. در حال حاضر با بررسی اقتصادی طرح های مختلف و میزان آب



شیرین مورد نیاز منطقه چابهار و طرح های میان مدت و بلند مدت آب رسانی و شرایط دیگری از قبیل فاصله از دریا و عدم وجود سوخت گاز طرح تولید آب شیرین به ظرفیت ۲۰۰۰ متر مکعب در ساعت با استفاده از زیرکش بخار و خنک کاری هوای ورودی به توربین گاز به مدت ۸ ساعت در روز با استفاده از سیستم ذخیره سازی سرما به عنوان طرح نمونه برای نیروگاه چابهار مناسب می باشد.

۶- مراجع

[1] RosTek Associates, Inc., Tampa, Florida, Desalting handbook for planners, third edition. Desalination Research and Development Program Report No. 72, 2003.

[۲] سازمان توسعه برق ایران، گزارش برنامه و عملکرد راه اندازی طرح های نیروگاه های حرارتی ۱۳۸۹

[۳] لاگ شیت نیروگاه سیکل ترکیبی چابهار

[4] Gas Turbine performance, Acceptance test, Chabhar Gas Turbine Power Plant

[۵] اقتصاد مهندسی یا ارزیابی پروژه های صنعتی، دکتر محمد مهدی اسکونژاد

[۶] استعلام از شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان

[۷] فهرست بهای رشته خطوط انتقال آب در سال ۱۳۸۸



Optimization of CCHP System for Chabahar Combined Cycle Power Plant

H. Masoumi¹, H. Rezazadeh²

1, 2: Thermal Cycles and Heat Exchangers

Abstract

Selecting an optimized capacity for the cooling and heating parts in a CCHP system calls for taking in to account a variety of factors from local fuel, power and water prices to capital and O&M costs as well as regional water and electricity demand. The combined heating, cooling and power (CCHP) plan for Chabahar power plant located in south east of Iran has been studied in this paper. The optimum chiller capacity for turbine inlet cooling has been calculated using the local weather information and on the economic analysis basis. Different applicable plans for combined power and desalinated water production plan have been evaluated using condensing or back pressure steam turbine with different scenarios for turbine inlet cooling and thermal storage system. The technical specifications and capital cost for each configuration has been estimated and the negative and positive points of each option was verified. The most preferred plan for Chabahar power plant is introduced considering the economic analysis and local circumstances generation equipments has been investigated thoroughly and principles and standards of proper implementation of RCM have been described. Finally, challenges through the implementation of RCM have been explored.

بررسی فنی اقتصادی بازتوانی یک نیروگاه بخار قدیمی در ایران

محمد ابراهیم سربندی فراهانی - فرشته رحمانی - حمید آب روشن

پژوهشگاه نیرو، گروه سیکل و مبدل های حرارتی

چکیده

در این پژوهش ایده بازتوانی نیروگاه های بخار تبیین گردیده و بازتوانی یک واحد نمونه به کمک روش های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که دو هدف مهم از اهداف بازتوانی یک نیروگاه بخار، افزایش ظرفیت عملی و راندمان می باشد، از این دو پارامتر به عنوان شاخص های ارزیابی هر روش استفاده شده است. در این مطالعه از نرم افزار Thermoflow جهت مدل سازی واحد بخار کمک گرفته شده است. انواع مدل های توربین گاز با توجه به تناسب ظرفیت آنها با روش بازتوانی، مورد بررسی قرار گرفته اند. بدین ترتیب بهترین ترکیب ها و توربین های گاز از لحاظ فنی برای هر یک از روش ها مشخص شده تا بر اساس محدودیت های فعلی نیروگاه و جذابیت هر یک از طرح ها، مناسبترین روش انتخاب گردد. در نهایت بر مبنای تحلیلی اقتصادی، قیمت تمام شده برق در روش های مختلف ارائه گردیده و اقتصادی ترین گزینه پیشنهاد شده است.

واژه های کلیدی: بازتوانی، بویلر، توربین گاز، گرمکن آب تغذیه، سیکل ترکیبی

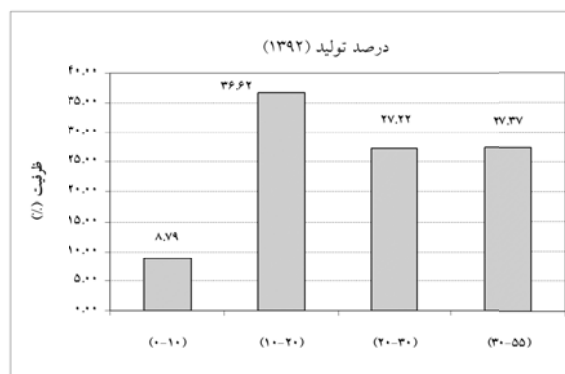
۱- مقدمه

امروزه بسیاری از کشورهای صنعتی تا حدودی با کمبود انرژی الکتریکی مواجه می باشند. به همین دلیل افزودن ظرفیت جدید را در برنامه ریزی های خود در نظر می گیرند. مرسوم ترین راهکار، ساخت نیروگاه های جدید است تا توان مورد نیاز تأمین شود. علاوه بر این، از دیدگاه مدیریت منابع انرژی مسأله راندمان نیروگاه های حرارتی اهمیت روزافزونی پیدا کرده است. راهکار دیگری که به منظور افزایش ظرفیت تولید بکار گرفته می شود بازتوانی نیروگاه های بخاری قدیمی است. با بازتوانی نیروگاه های بخار علاوه بر

افزایش ظرفیت تولید، راندمان نیروگاه نیز بهبود می یابد در حالیکه از امکانات و زیرساختهای موجود نیز به بهترین نحو استفاده خواهد شد

ایده بازتوانی حدوداً به ۴ دهه قبل بازمی گردد و احتمالاً مربوط به نیروگاه مگنوکس در بریتانیا می باشد. در این نیروگاه به علت مسائل متالورژیکی دمای بخار حدود ۵۰ درجه سانتیگراد تنزل یافته بود که با افزودن یک توربین گاز و استفاده از گازهای خروجی از توربین گاز به منظور بالا بردن دمای بخار، بهبود حاصل شد. بررسی بر روی بازتوانی نیروگاههای بخار توسط اشخاص و شرکت های مختلفی ادامه یافت. بطور مثال یک محقق دانمارکی به نام Elkraft تحقیقاتی در زمینه بازتوانی گرم کن آب تغذیه انجام داد تا به ترکیب مناسبی دست یابد [۱]. سابقه اجرای بازتوانی نیروگاههای بخاری نیز قابل توجه است. در سنگاپور طرح تبدیل سه واحد ۱۲۰ مگاواتی یک نیروگاه بخار با عمر ۲۵ سال به سه واحد سیکل ترکیبی هر یک با ظرفیت ۳۶۰ مگاوات اجرا شد که موجب افزایش راندمان از ۳۸٪ به ۵۶٪ گردید [۲]. مثال هایی از روش های گوناگون بازتوانی در کشورهای مختلفی مانند ایتالیا، کانادا، ژاپن، تایلند و مکزیک وجود دارد که نشانگر تمایل نیروگاه ها به افزایش ظرفیت و راندمان می باشد.

در حال حاضر ظرفیت واحدهای بخاری و گازی کشور با عمر سپری شده، به ترتیب ۱۵۳۴ و ۲۸۷۲ مگاوات می باشد. طی ۵ سال آینده ۴۲۵۳ مگاوات از ظرفیت نیروگاههای بخار، ۳۳۶۵ مگاوات از ظرفیت نیروگاههای گازی و مجموعاً ۷۶۱۸ مگاوات از نیروگاههای حرارتی کشور نیازمند بازتوانی، نوسازی یا جایگزینی می باشند (شکل ۱). در حالیکه راندمان اکثر نیروگاههای بخار دارای عمر کمتر از ۳۰ سال، بیش از ۳۴٪ می باشد، در واحدهای قدیمی تر راندمان کمتر از ۳۰٪ به وضوح مشخص است [۳]. وجود بخش مهمی از زیر ساختها و امکانات لازم (انتخاب سایت و ملاحظات مربوط به تأمین سوخت، ملاحظات آب، ملاحظات زیست محیطی، اتصال به شبکه، اخذ مجوزها و...) در نیروگاههای قدیمی، در بسیاری از موارد بازتوانی آنها را در مقایسه با احداث واحدهای جدید از توجیه فنی-اقتصادی مناسبی برخوردار می نماید.



شکل ۱: توزیع سنی ظرفیت نیروگاههای بخار طی ۵ سال آینده

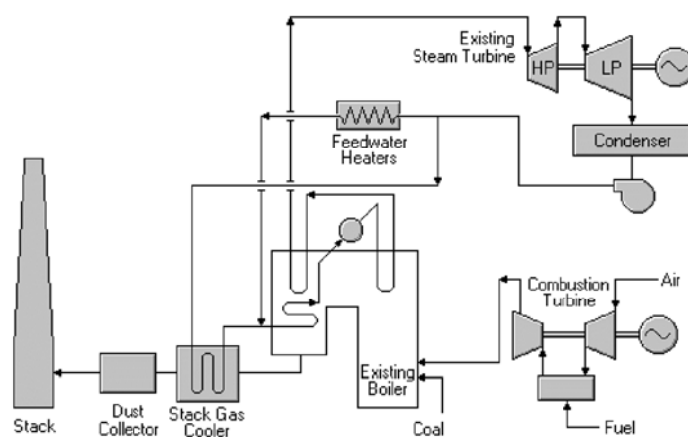
با افزایش عمر واحدهای بخار مشکلات بهره‌برداری افزایش می‌یابد. افزایش خروجی‌های اضطراری و مشکلات عدیده بهره‌برداری واحدهای قدیمی شاهدی بر این مدعا است. از طرف دیگر، به دلیل فرسودگی تجهیزات، راندمان و ظرفیت عملی واحد نیز کاهش می‌یابد. البته به دلیل استفاده از فناوریهای قدیمی‌تر، واحدهای بخار فرسوده ذاتاً دارای راندمان نسبتاً پایینی می‌باشند. بنابراین سپری شدن عمر بیش از ۴۲۰۰ مگاوات از ظرفیت نیروگاه‌های بخار کشور طی ۵ سال آینده به معنای کاهش میزان تولید و نیز افزایش هزینه‌های بهره‌برداری خواهد بود.

۲- انواع روشهای بازتوانی واحدهای بخاری

در ابتدا مختصری راجع به انواع روش‌های بازتوانی نیروگاه‌های بخار توضیح داده می‌شود. لازم به ذکر است که در تمامی روش‌های بازتوانی، از توربین گاز در بالادست سیکل بخار استفاده می‌گردد. مهم‌ترین روشهای بازتوانی عبارتند از:

۲-۱- بازتوانی با جعبه هوای داغ

این روش شامل نصب یک یا چند توربین گاز می‌باشد که دود خروجی آنها وارد جعبه هوای بویلر می‌گردد (شکل ۲). این شیوه برای نیروگاه‌های بزرگتر و جدیدتر با سوخت گاز/مایع کارایی دارد و افزایش توان خروجی و راندمان مزایای اصلی آن می‌باشند [۴] و [۵]. معمولاً در بازتوانی با جعبه هوای داغ توان تولیدی واحد ۳۰-۱۵٪ و راندمان ۳-۶٪ افزایش یافته و آلودگی ناشی از NOX کاهش می‌یابد [۵].



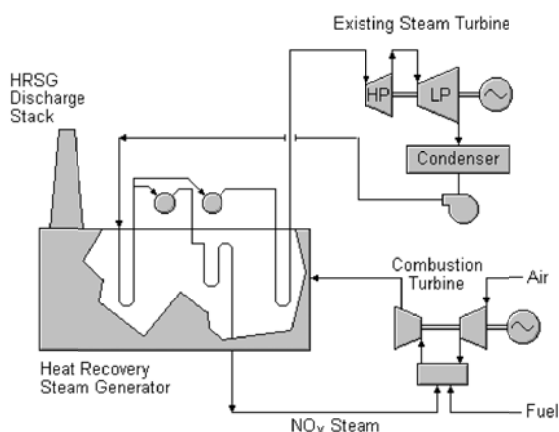
شکل ۲: بازتوانی به کمک جعبه هوای داغ [۴]

۲-۲- بازتوانی با گرمکن آب تغذیه

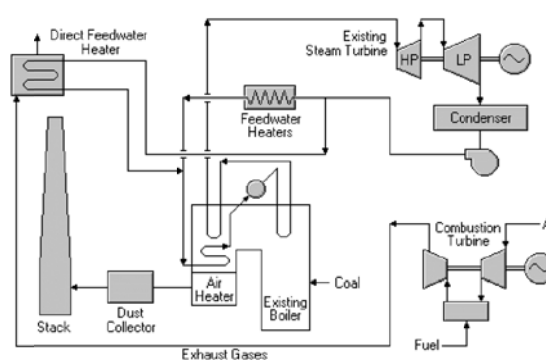
در روش گرمکن آب تغذیه از دود خروجی توربین گاز برای گرم کردن آب تغذیه در سیکل بخار استفاده می‌شود. در این شرایط بخاری که قبلاً برای گرم کردن آب تغذیه در گرمکن‌ها استفاده می‌گردید، با عبور از توربین بخار باعث تولید توان بیشتری می‌شود (به شرط این که از محدوده طراحی توربین خارج نشود [۶]). شکل ۳ نمونه‌ای از یک سیکل بازتوانی شده با گرمکن آب تغذیه را نشان می‌دهد. از این روش در مواقعی که به توان تولیدی بیشتری نیاز باشد استفاده می‌گردد. بر اساس مستندات با استفاده از این روش بطور تقریبی توان تولیدی ۳۰-۱۰٪ و راندمان ۵-۲٪ افزایش می‌یابد [۴].

۲-۳- بازتوانی سیکل ترکیبی

یکی از متداول‌ترین روش‌های بازتوانی، روش سیکل ترکیبی است که در آن توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت، جایگزین بویلر موجود می‌شوند (شکل ۴). با استفاده از این روش می‌توان خالص تولیدی را تا ۲۰٪ و راندمان را تا ۱۲٪ افزایش داد [۴]. علاوه بر این میزان NOX منتشر شده نیز نسبت به حالت مبنا به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. از آنجایی که مقدار افزایش توان تولیدی در این روش زیاد است، لذا توصیه شده است برای واحدهای قدیمی کوچکتر از ۲۵۰ MW و حداکثر فشار بخار MPa ۱۲/۴ بکار رود [۳].



شکل ۴: بازتوانی به روش سیکل ترکیبی [۴]

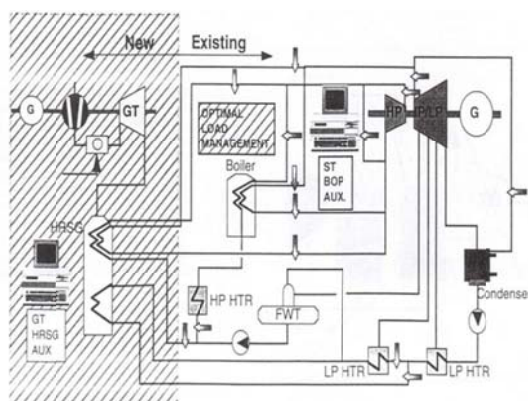


شکل ۳: بازتوانی با گرمکن آب تغذیه [۴]

۲-۴- بازتوانی هیبرید (Hybrid Repowering)

این روش که بصورت شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است، علاوه بر مزایای بازتوانی سیکل ترکیبی دارای انعطاف پذیری بالایی می باشد. در این روش نیروگاه بخاری موجود با افزودن اجزای زیر گسترش می یابد: یک یا چند توربین گاز با راندمان بالا، یک بویلر بازیاب حرارت، یک سیستم کنترل و ایمنی مدرن برای توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت شامل سیستم کنترل بار [۷].

انواع حالت های اجرایی طرح بازتوانی هیبرید عبارتند از: سیکل ساده توربین گاز، سیکل بخار اولیه، سیکل ترکیبی (بویلر اولیه از مدار خارج می شود) و سیکل هیبرید (هر دو بویلر در مدار هستند و بخار مورد نیاز توربین بخار را تأمین می کنند). با بکارگیری این فناوری به دلیل وجود حالات مختلف عملکرد، هیچ گاه در مواقع بازرسی و تعمیرات اساسی، تولید برق قطع نمی شود. در زمان بندی اجرای این روش نیز کمترین زمان خاموش بودن واحد و قطع تولید برق بوقوع خواهد پیوست.



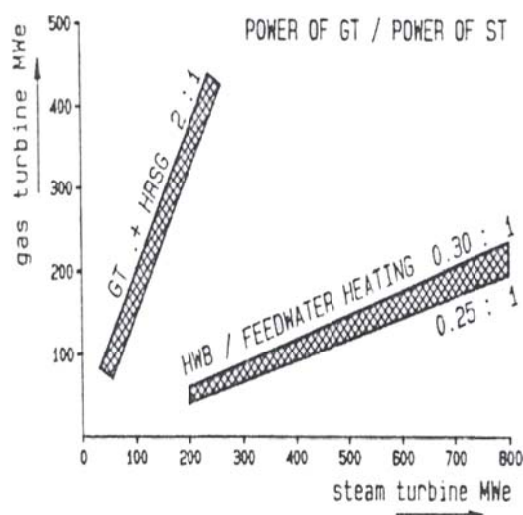
شکل ۵: بازتوانی هیبرید [۷]

در انتخاب روش مناسب بازتوانی عوامل متعددی تأثیرگذار می باشند که باید با توجه به میزان اهمیت هر یک از آنها در نیروگاه مورد نظر، روش مناسب را انتخاب نمود. روشهای بازتوانی بر اساس توربین گاز از جهت حفظ بویلر واحد بخار و یا حذف آن به دو گروه بازتوانی ناقص و کامل تقسیم می گردند. این تقسیم بندی علاوه بر این که بیانگر تفاوت سیکل بخار قبل و بعد از بازتوانی است، با توجه به تفاوت عمده ظرفیت مورد نیاز توربین گاز، نشانگر اختلاف قابل ملاحظه ای در میزان سرمایه گذاری اولیه مورد نیاز نیز می باشد. به عبارت دیگر محدودیت یا عدم محدودیت در میزان سرمایه گذاری اولیه مستقیماً سبب ارجحیت یکی از دو روش خواهد شد. با توجه به این تفاوت در میزان افزایش ظرفیت، یکی از پارامترهای مؤثر در اولویت بندی روشها، میزان نیاز به افزایش ظرفیت سیستم و امکان گسترش شبکه یا وجود ظرفیت انتقال می باشد.

عامل مهم دیگر در انتخاب روش های بازتوانی میزان افزایش راندمان سیکل است. مشخصاً روش های بازتوانی کامل شامل بازتوانی سیکل ترکیبی و بازتوانی هیبرید منجر به افزایش راندمان قابل توجهی خواهند شد. روش های ناقص مانند بازتوانی جعبه هوای داغ و بازتوانی گرم کن آب تغذیه نیز افزایش راندمان نسبتاً کمتری را به همراه خواهند داشت. قیمت تمام شده برق تولیدی، پارامتر مهم دیگری است که در تحلیل اقتصادی طرح منتخب برای بازتوانی مؤثر است. هزینه سرمایه گذاری اولیه، هزینه تعمیرات و نگهداری و هزینه سوخت عواملی هستند که در تعیین قیمت تمام شده برق نقش مهمی را ایفا می نمایند.

۳- بررسی بازتوانی واحد بخار نمونه

سیکل بخار نیروگاه شهید منتظر قائم به عنوان نمونه در نظر گرفته شده است. توان تولیدی این واحد بخار طبق مستندات ۱۵۶/۲۵ MW می باشد لازم به ذکر است که از اطلاعات طراحی نیروگاه جهت محاسبه میزان بهبود سیکل پس از بازتوانی استفاده شده است. اولین قدم در اعمال روش های بازتوانی واحدهای بخاری انتخاب توربین گاز مناسب با توجه به روش مورد نظر است. شکل ۶ توان توربین گاز انتخابی را در انواع روش های بازتوانی نسبت به توان توربین بخار نشان می دهد. به طور کلی نیروگاه های بین ۵۰ تا ۲۰۰ مگاوات برای بازتوانی کامل با یک توربین گاز و یک بویلر بازیاب حرارت که بخار مورد نیاز توربین بخار را فراهم می کند، بسیار مناسب هستند. توان توربین گاز مناسب برای این نیروگاهها تقریباً دو برابر توربین بخار موجود می باشد، بنابراین توان افزایش یافته حدود ۲۰۰ درصد است.

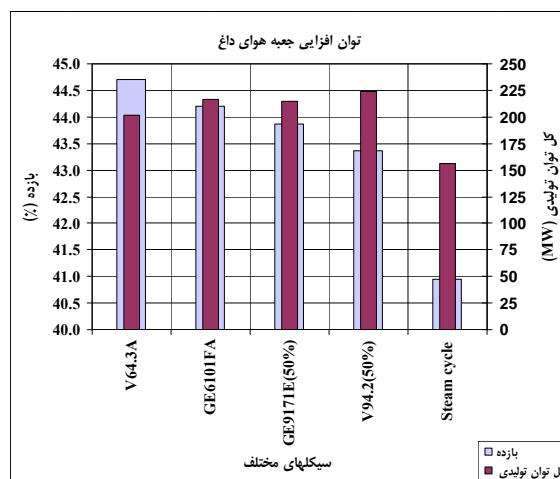


شکل ۶: ظرفیت توربین گاز نسبت به توربین بخار برای انواع روش های بازتوانی [۵]

۳-۱- بازتوانی واحد نمونه به روش جعبه هوای داغ

برای بازتوانی نیروگاه نمونه با این روش، توربین های گازی مختلفی بررسی گردیدند. طرح های مختلفی برای بازتوانی به روش جعبه هوای داغ وجود دارد. می توان دود خروجی از توربین گاز را مستقیماً وارد بویلر نمود. در این حالت به جای پیش گرمکن هوا می توان اکونومایزر موجود را بزرگتر کرد و یا از یک یا دو اکونومایزر جدید استفاده نمود. در مواقعی که دمای دود خروجی از توربین گاز بیش از حد زیاد باشد، در مسیر دود خروجی و قبل از ورود به بویلر یک اواپراتور اضافی (Supplementary Evaporator) قرار می دهند. برای پایین آوردن دمای دود خروجی از توربین گاز، علاوه بر اواپراتور اضافی می توان از یک خنک کننده دود خروجی از توربین (Turbine Exhaust Cooler) استفاده نمود که می تواند به صورت موازی یا سری نسبت به اکونومایزر قرار گیرد.

پس از بررسی انواع طرح های بازتوانی نیروگاه نمونه با روش جعبه هوای داغ با توربین های مختلف، بهترین حالت با بیشترین راندمان و توان تولیدی، انتخاب گردید. طرح مذکور دارای یک اواپراتور اضافی دو اکونومایزر اضافی می باشد. نتایج این بررسی در شکل ۷ نشان داده شده است (در سیکلهایی که با ۵۰٪ مشخص شده اند از خروجی یک توربین گاز برای دو سیکل بخار استفاده شده است). همانطور که ملاحظه می شود در تمام موارد مقادیر راندمان و توان نسبت به سیکل بخار اولیه رشد قابل توجهی دارند.



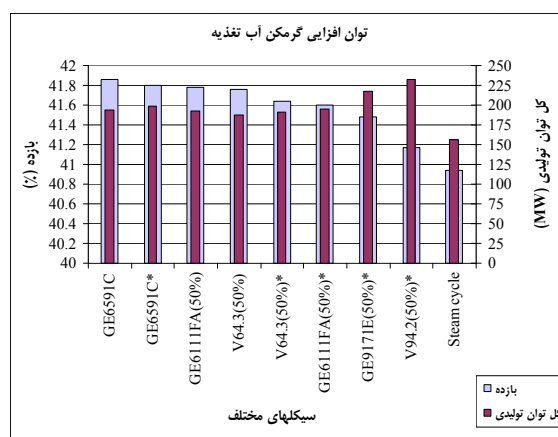
شکل ۷: مقایسه راندمان و توان تولیدی برای توربین گازهای مختلف در بازتوانی نیروگاه نمونه به روش جعبه هوای داغ

لازم به ذکر است که روش جعبه هوای داغ به دلیل ضرورت تغییرات قابل توجه در بویلر، از لحاظ فنی بسیار پیچیده می باشد. گرمکن های هوا با توجه به تغییر دبی دود و هوای ورودی احتیاج به اصلاحاتی دارند. کانال ها نیز باید بهسازی شوند تا تحمل درجه حرارت و دبی بالاتر را داشته باشند. مشعل ها به دلیل

کاهش اکسیژن موجود در دود خروجی از توربین گاز که وارد بویلر می شود، بایستی تعویض یا اصلاح گردند. علاوه بر این، اکسیژن کمتر در هوای ورودی به بویلر باعث تغییر پروفیل حرارت در بویلر می شود و بنابراین ممکن است ایجاد تغییراتی در بویلر و سطوح حرارتی کوره لازم باشد. همچنین از دیگر تغییرات ضروری، نیاز به یک کانال کنارگذر برای هدایت بخشی از دود به قسمت انتهایی اکونومایزر، یک گرمکن بخاری هوا برای عملکرد مستقل بویلر موجود در مواقعی که توربین گاز کار نمی کند، یک فن القایی برای کاهش فشار پشت توربین گاز و یک دودکش کنارگذر برای توربین گاز برای زمان راه اندازی سیستم می باشد.

۳-۲- بازتوانی واحد نمونه به روش گرمکن آب تغذیه

برای بازتوانی به روش گرمایش آب تغذیه دو گزینه وجود دارد. در گزینه اول تنها گرمکن های فشار قوی حذف می شوند و به جای آن ها از گرمکن های جدید که با دود خروجی از توربین گاز گرم می شوند استفاده می گردد. در گزینه دوم علاوه بر گرمکن های فشار قوی گرمکن های فشار ضعیف نیز حذف می شوند.



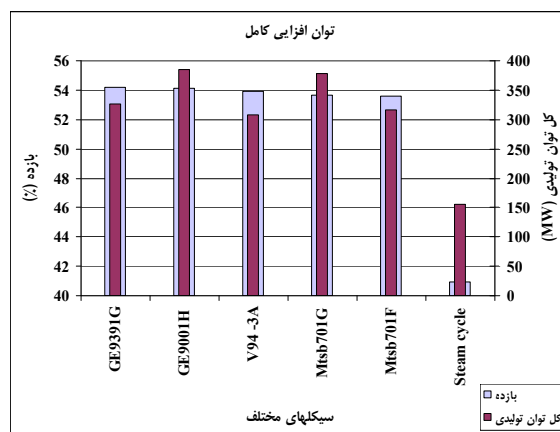
شکل ۸: مقایسه راندمان و توان تولیدی برای توربین گازهای مختلف در روش بازتوانی گرمایش آب تغذیه (علامت * در محور افقی نشانگر طرحهایی با دو گرمکن فشارقوی و فشار ضعیف جدید می باشد).

در این روش بنا به نیاز سیکل، یک یا چند زیرکس توربین بخار حذف می شوند و بنابراین دبی بخار عبوری از مراحل مختلف توربین بخار افزایش می یابد. توربین های بخار معمولاً توانایی گذر جریان بخار تا ۵ الی ۱۰ درصد بیشتر از مقادیر طراحی را دارا می باشند [۶]. بدین ترتیب در طرح های ارائه شده برای بازتوانی با این روش بایستی دبی عبوری از مراحل مختلف توربین کنترل شود تا بیشتر از حد مجاز نگردد. از آنجایی که در این روش تغییرات انجام گرفته روی سیکل اصلی نسبت به سایر طرح ها کمتر است لذا

اجرای آن از سایر روش ها آسان تر و کم هزینه تر می باشد. مقادیر راندمان و توان تولیدی سیکل های بازتوانی شده با این روش برای توربین های منتخب در شکل ۸ نشان داده شده اند. یکی از محدودیت های این روش میزان دبی سیال عبوری از توربین بخار می باشد.

۳-۳- بازتوانی واحد نمونه به روش سیکل ترکیبی

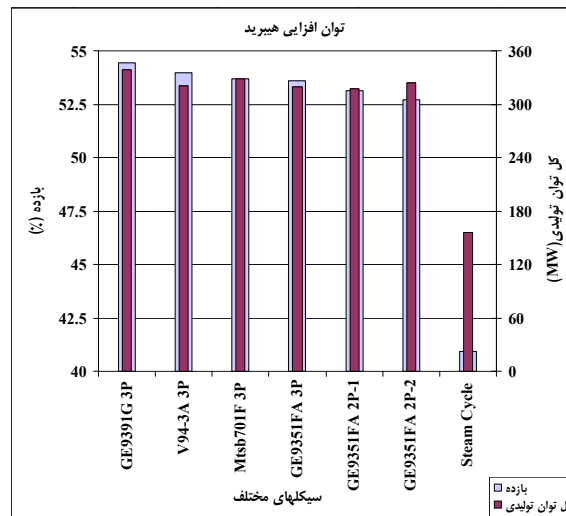
برای شروع طراحی، ابتدا نوع بویلر بازیاب حرارت از جهت یک، دو یا سه فشاره بودن تعیین می گردد. چنانچه بویلر بازیاب سه فشاره انتخاب گردد مشخصاً راندمان سیکل بهتر ولی هزینه آن نسبت به بویلر دو فشاره بیشتر خواهد شد. پس از تعیین نوع بویلر بازیاب باید توربین گاز مناسب را انتخاب نمود. ظرفیت توربین گاز مناسب برای این روش حدود دو برابر ظرفیت توربین بخار موجود در سیکل می باشد. شکل ۹ راندمان و توان تولیدی سیکل های بازتوانی شده به روش سیکل ترکیبی را برای هر یک از توربین های منتخب نشان می دهد. در این موارد از بویلر بازیاب سه فشاره استفاده شده است تا راندمان بیشتری بدست آید.



شکل ۹: مقایسه راندمان و توان تولیدی توربین گازهای مختلف در بازتوانی سیکل ترکیبی

۳-۴- بازتوانی واحد نمونه به روش هیبرید

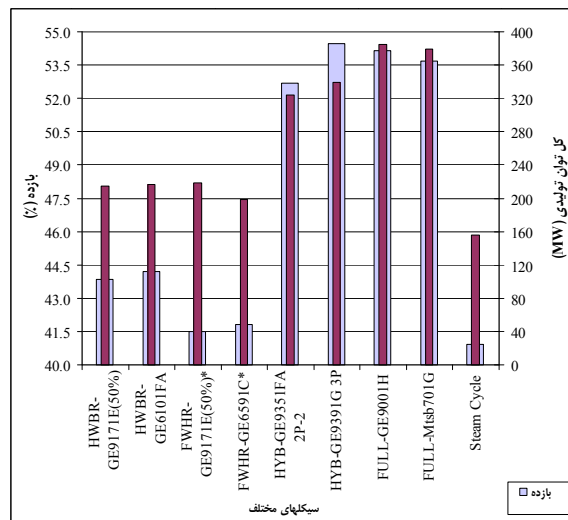
در این روش بویلر موجود در سیکل بخار نیروگاه نمونه حفظ می شود و علاوه بر آن یک بویلر بازیاب حرارت نیز به سیکل اضافه می گردد تا با استفاده از دود خروجی از توربین گاز، بخشی از بخار مورد نیاز را تولید نماید. برای بازتوانی هیبرید سیکل بخار نمونه، از بویلر بازیاب دو یا سه فشاره استفاده می گردد. شکل ۱۰ مقادیر راندمان و توان تولیدی سیکل نیروگاه نمونه که به کمک هر یک از توربین گازهای منتخب بازتوانی شده است را نشان می دهد.



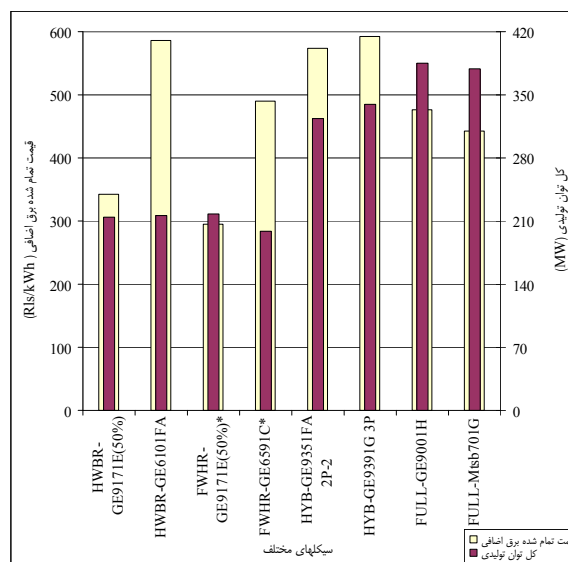
شکل ۱۰: مقایسه راندمان و توان تولیدی برای توربین گازهای مختلف در بازتوانی هیبرید

خلاصه نتایج روش های مختلف بازتوانی در شکل های ۱۱ و ۱۲ به نمایش درآمده است. در این نمودارها بهترین طرح های بازتوانی برای واحد نمونه جمع آوری شده اند. همانطور که ملاحظه می گردد، از نظر افزایش راندمان بهترین طرح ها بازتوانی سیکل ترکیبی و هیبرید می باشند. البته بازتوانی هیبرید به کمک توربین گاز GE9391G و با بویلر بازیاب ۳ فشاره با ۳۳٪ افزایش راندمان از سایر طرح ها در این زمینه پیشی گرفته است. از دیدگاه افزایش ظرفیت عملی واحدها، بازتوانی سیکل ترکیبی به کمک توربین های GE9001H و Mitsubishi 701G نتایج بهتری ارائه نموده اند که معادل بیش از ۱۴۰٪ افزایش ظرفیت تولید می باشد.

با این حال افزایش راندمان و ظرفیت تولید تنها پارامترهای مهم در تصمیم گیری نبوده و باید مسائل اقتصادی را نیز مدنظر قرار داد. قیمت تمام شده برق تولیدی پارامتر مهم دیگری است که در تحلیل اقتصادی طرح منتخب برای بازتوانی مؤثر است. هزینه سرمایه گذاری اولیه شامل هزینه هریک از تجهیزات اضافه شده، هزینه تعمیرات و نگهداری و هزینه سوخت پارامترهایی هستند که در تعیین قیمت تمام شده برق نقش مهمی را دارا می باشند.



شکل ۱۱: مقایسه طرح‌های مختلف بازتوانی از نظر افزایش توان و راندمان



شکل ۱۲: مقایسه طرح‌های مختلف بازتوانی از نظر قیمت تمام شده برق تولید شده

قیمت برق تمام شده تولیدی پس از بازتوانی را می‌توان به کمک رابطه زیر محاسبه نمود:

$$LEC = \frac{Capital\ Costs + Fuel\ Costs + O\&M\ Costs}{Electricity\ Generated\ in\ one\ year} = \frac{\beta C}{PH} + \frac{M}{PH} + \frac{OM_{fix}}{PH} + OM_{var} \quad (1)$$

C: هزینه سرمایه گذاری (واحد پول)

β : ضریب بازگشت سرمایه که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\beta = \frac{i(i+1)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

i : نرخ بهره (%)

n : عمر نیروگاه (سال)

M : هزینه سالانه سوخت (واحد پول)

OM_{fix} : هزینه ثابت سالانه راهبری و نگهداری (واحد پول)

OM_{var} : هزینه متغیر راهبری و نگهداری (واحد پول بر کیلووات ساعت)

P : توان تولیدی واحد (کیلو وات)

H : تعداد ساعات کارکرد واحد در سال

با توجه به نمودار شکل ۱۲ کمترین قیمت تمام شده برق اضافی مربوط به طرح بازتوانی آب تغذیه به کمک توربین GE9171E و سپس طرح جعبه هوای داغ به کمک توربین گازی GE9171E است. لازم به ذکر است که منظور از قیمت برق اضافی، قیمت هر کیلووات ساعت برق افزوده شده پس از بازتوانی می باشد. در انتها بیان چند نکته ضروری به نظر می رسد. اولاً، قیمت برق تمام شده اضافی در روش هیبرید بیش از سایر روش هاست. با اینحال مزیت روش هیبرید در افزایش قابل توجه ظرفیت عملی و راندمان نیروگاه می باشد. علاوه بر این، روش هیبرید بیشترین انعطاف پذیری و ضریب اطمینان در بین انواع طرح ها را دارد. ثانیاً، قیمت برق تمام شده به ویژه در طرح های ناقص، به مدل توربین گاز و آرایش بکارگرفته شده در طرح بستگی زیادی دارد. این مطلب در شکل ۱۲ به خوبی نمایان است که بر اساس آن در صورت استفاده از یک توربین گاز جهت تأمین حرارت مورد نیاز برای گرمایش آب تغذیه دو سیکل بخار، قیمت برق تمام شده کاهش چشمگیری خواهد داشت. مثال دیگر، استفاده از یک توربین گاز برای تأمین هوای احتراق دو بویلر مجاور در روش جعبه هوای داغ است که قیمت برق تمام شده را حدود ۴۰٪ نسبت به حالتی که هر توربین گاز تنها یک بویلر را تغذیه نماید، کاهش می دهد. ثالثاً، روش جعبه هوای داغ و گرمایش آب تغذیه علی رغم سادگی ظاهری، روشهایی چندان اقتصادی نیستند. البته همانطور که ذکر شد می توان با تغییر در آرایش بازتوانی این روش ها را نیز اقتصادی تر نمود.

۴- نتیجه گیری

با توجه به بررسی های انجام شده بر روی واحد بخار نمونه مشخص می گردد که هر یک از چهار روش بازتوانی دارای پتانسیل مناسبی جهت افزایش راندمان و توان می باشند. از نظر افزایش راندمان، روش گرمکن آب تغذیه اثر کمتری داشته و در مرحله بعد روش جعبه هوای داغ قرار می گیرد. روش های بازتوانی سیکل ترکیبی و هیبرید راندمان نیروگاه را به مقدار قابل توجهی افزایش خواهند داد. از نظر افزایش ظرفیت تولید نیز در روش های جعبه هوای داغ و گرمکن آب تغذیه، عملاً کمتر از ۴۰٪ افزایش حاصل خواهد شد. ولی در روش های سیکل ترکیبی و هیبرید در حدود ۱۶۰-۱۲۰٪ افزایش ظرفیت بوقوع خواهد پیوست. بر اساس تحلیل های اقتصادی انجام شده، روش های جعبه هوای داغ و گرمکن آب تغذیه علی رغم اینکه راندمان و ظرفیت عملی را به میزان کمتری افزایش می دهند، با هزینه تمام شده کمتری نیز همراه خواهند بود. دو روش دیگر به ویژه روش بازتوانی هیبرید باعث ازدیاد قابل توجه قیمت تمام شده برق تولیدی خواهند شد.

در کنار افزایش ظرفیت و راندمان و نیز بحث قیمت تمام شده برق تولیدی، مسائل دیگری نیز در انتخاب مناسبترین روش بازتوانی دخیل می باشند. بطور نمونه، روش های هیبرید بیشترین هزینه سرمایه گذاری را دربر خواهند داشت و در نتیجه قیمت برق تمام شده در آنها بیشتر است. با اینحال قابلیت اطمینان در این روش بسیار بالاتر بوده و تقریباً در تمام ایام سال نیروگاه می تواند به تولید ادامه دهد. از سوی دیگر روش گرمکن آب تغذیه با وجود تأثیر کمتر در افزایش راندمان و ظرفیت، با کمترین تغییرات و هزینه قابل اجراست.

۵- مراجع

- [1] Reynolds , Graham . (2001). "Repowering: Enhance What is There", IEEE Power Engineering Review.
 [2] (1999). "Converting 3×120 MW to 3×360 MW at Senoko", Alstom Staff Report.
 [۳] آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی در سال ۱۳۸۶، شرکت مادر تخصصی توانیر
 [4] Stenzel ,William ,C . Sopocy , Dale , M . Pace , Stanley , E . "Repowering Existing Fossil Steam Plants"
 www.Sepril.com.
 [5] Ploumen ,P.J. KEMA. Veenema , J.J. EPON , N.V. "DUTCH Experience with Hot Wind Box Repowering"
 ASME Publication 96-GT-250.
 [6] Liod , J. et al. "Knowing When Repowering is Competitive" Alstom Power
 [7] Egli , A. J. Tschumi ,F. (1997). "When Should Managers Make a Case for Repowering?" Power O&M
 Manage

آشنایی با سندیکای صنعت برق ایران

اکبر نمازی تجرق

سندیکای صنعت برق ایران یک نهاد صنفی، متشکل از ۴۷۰ شرکت سازنده تجهیزات، پیمانکار و مشاور صنعت برق است که در راستای دفاع از منافع مشروع اعضای خود و بر اساس نقش و جایگاه تشکل های صنفی در سند چشم انداز ۲۰ ساله کشور، افزایش اثربخشی سرمایه گذاری های انجام شده در صنعت برق از طریق ساماندهی بخش خصوصی و تعمیق مشارکت و شکل دهی به سرمایه اجتماعی در میان خانواده صنعت برق ایران را دنبال می کند.

این تشکل به عنوان تنها تشکل صادراتی نمونه کشور در سال ۱۳۹۰، به منظور تحقق اهداف خود، توسعه بازار اعضا، مطالعه مستمر و ایجاد بانک اطلاعاتی در زمینه های مرتبط، ارائه خدمات مشورتی و حقوقی، جلوگیری از ایجاد رقابت های ناسالم، توسعه ارتباط و همکاری با سازمان های دولتی و خصوصی، تدوین استانداردها و آیین نامه ها، ارتقای دانش فنی، گسترش ظرفیت های اطلاع رسانی و تکمیل ساختار سازمانی خود را بر اساس الگوهای مدرن انجمن های کسب و کار دنیا تنظیم و در دستور کار قرار داده است. سندیکای صنعت برق ایران از زمان تأسیس در سال ۱۳۷۹ تاکنون، در مسیر دستیابی به اهداف و آرمان های اجماعی اعضای خود، توانسته است با تکیه بر ظرفیت ها و امکانات گسترده موجود در صنعت برق ایران و با حمایت و همراهی اعضای خود بر بسیاری از مشکلات و گلوگاه های موجود در این صنعت فائق آمده و زمینه دستیابی به موفقیت های مهمی را تمهید کند.

اهداف سندیکای صنعت برق ایران بطور کلی به چهار بخش نمایندگی از اعضا، تمهید مشارکت اعضا، ارائه خدمات به اعضا و تنظیم و توسعه صنعت برق کشور تقسیم بندی می شود. اهم اهداف سندیکا عبارتند از:

۱. دفاع از حقوق و حمایت از منافع اعضا
۲. پیگیری رشد و توسعه منظم و همه جانبه صنعت برق کشور، به ویژه با تأکید بر اجرای ابلاغیه اصل ۴۴ قانون اساسی

۳. مشارکت و همفکری با مراکز تصمیم‌گیری دولت در تدوین آیین‌نامه‌ها و مقررات مرتبط با صنعت برق
۴. حمایت از ساخت داخل و تکنولوژی ملی با تأکید ویژه بر هم‌افزایی ظرفیت‌های موجود
۵. ساماندهی فعالیت اعضا در راستای بهبود کیفیت تولید و خدمات
۶. ایجاد فرصت‌ها و ظرفیت‌های جدید اقتصادی و تجاری در حوزه صنعت برق کشور
۷. گسترش رایزنی و مذاکره با مراکز تصمیم‌سازی کشور به منظور ایفای نقش موثر در فرآیند سیاست‌گذاری عمومی صنعت برق ایران و پایش تصمیمات در این زمینه
۸. تقویت بنیه صادراتی صنعت برق، به نحوی که دسترسی شرکت‌های بزرگتر به بازارهای خارجی افزایش یافته و زمینه کسب و کار داخلی برای شرکت‌های کوچکتر توسعه یابد
۹. تلاش برای حذف انحصار و شکل‌گیری شرایط متوازن و رقابتی در حوزه صنعت برق
۱۰. تلاش در جهت گشودن افق‌های تازه کارآفرینی همچون بهینه‌سازی، کاهش تلفات و برق هوشمند و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر
۱۱. ترویج ارتباط نزدیک‌تر میان اعضا و گسترش تفاهم، درون خانواده صنعت برق
۱۲. ایجاد ظرفیت‌های آموزشی برای رشد و به‌روز نگه‌داشتن توانایی‌ها، تخصص‌ها و ظرفیت‌های علمی و فنی اعضا
۱۳. تلاش در ایجاد وفاق و حفظ منافع مشترک بمنظور حضور توانمند و متحد در بازارهای منطقه
۱۴. اطلاع‌رسانی و آموزش قوانین، بخشنامه‌ها و تغییرات مرتبط با صنعت برق برای اعضا

ساختار سازمانی این تشکل، مبتنی بر کمیته‌های عمومی و کمیته‌های تخصصی است. کمیته عمومی کمیته‌ای است برحسب استراتژی سندیکا برای یک دوره حداقل ۳ ساله و برای پاسخگویی به نیازهای عمومی گروه‌های مختلف سندیکا تشکیل می‌شود و کمیته تخصصی کمیته‌ای است که براساس گروه‌های ۱۹ گانه سندیکا با موضوع مشخص فعالیت تخصصی تشکیل می‌شود. کمیته‌های عمومی عبارتند از:

- کمیته ارزیابی و تشخیص صلاحیت
- کمیته توسعه صادرات
- کمیته حقوقی و قراردادها
- کمیته حل اختلاف
- کمیته حمایت از ساخت داخل
- کمیته عضویت و روابط عمومی

- کمیته همکاری های مشترک و خصوصی سازی

کمیته های تخصصی عبارتند از:

- کمیته انرژی ای تجدیدپذیر

- کمیته اتوماسیون

- کمیته پیمانکاران خطوط انتقال نیرو

- کمیته پیمانکاران و سازندگان پست های فشارقوی

- کمیته پیمانکاران توزیع

- کمیته پیمانکاران عمومی

- کمیته تولید پراکنده برق (DG)

- کمیته خدمات مهندسی

- کمیته سازندگان تابلوهای برق

- کمیته سازندگان تجهیزات برقی

- کمیته سازندگان تعمیرات نیروگاهی

- کمیته سازندگان دکل های انتقال نیرو

- کمیته سازندگان سیم و کابل

- کمیته سازندگان کنتور و تجهیزات جانبی

- کمیته سازندگان مقره

- کمیته مهندسی مشاور

- کمیته مهندسی بازرگانی

- کمیته سازندگان یراق آلات توزیع

- کمیته سازندگان یراق آلات انتقال نیرو

برای آشنایی بیشتر با این انجمن می توان به وبسایت <http://www.ieis.ir> مراجعه نمود.

الکتروهیدرودینامیک (EHD)، روشی فعال برای کنترل جریان - بخش اول

حمید معصومی

۱- مقدمه

امروزه با توجه به محدود بودن منابع مختلف انرژی و پایان پذیری آنها، و همچنین حفظ محیط زیست و جلوگیری از آلودگی بیشتر آن، انواع روش های بهره‌وری در مصرف انرژی بصورت جدی در دستور کار دولت ها، سازمان ها و محققان قرار گرفته است.

یکی از راههای معقول بهینه سازی مصرف انرژی افزایش آهنگ انتقال گرما در سیستم هایی است که افزایش آهنگ انتقال گرما در آن سیستم ها مهم و مطلوب است، زیرا با این کار بطور مثال در مبادله کن های گرما که هدف ما گرم یا سرد نمودن یک سیال توسط یک سیال گرم یا سرد دیگر است، حجم مبادله کن و به دنبال آن حجم یک سیال عامل و در نهایت میزان مصرف انرژی کاهش خواهد یافت و از اتلاف انرژی در یک مبادله کن بزرگ نسبت به یک مبادله کن کوچک جلوگیری شده و به این ترتیب مصرف انرژی بهینه خواهد شد. مثال هایی از این دست در صنعت و محیط اطراف ما زیاد است و اگر ما بتوانیم ضرایب انتقال گرما را به طرق معقولی افزایش دهیم، می‌توانیم مصرف انرژی را بهینه کنیم.

انتقال گرما بین یک سطح صلب و جریان گاز از روی آن با استفاده از میدان الکتریکی با ولتاژ بالا می‌تواند افزایش یابد. پدیده الکتروهیدرودینامیک^۱ (EHD) بر اثر اعمال ولتاژهای الکتریکی بالا به سیالات دی‌الکتریک ایجاد می‌شود و در اثر آن در سیال یونیزاسیون محلی رخ داده و یون های تولید شده به طرف الکتروود با پلاریته مخالف شروع به حرکت می‌کنند. این یون ها در اثر برخورد با ملکول های سیال، مومنت خود را به آن ها منتقل نموده و در نتیجه نیروی حجمی در سیال ایجاد می نمایند.

در این مقاله سعی خواهد شد مفهوم پدیده الکتروهیدرودینامیک و تاثیر آن بر جریان سیال تشریح

گردد.

¹ - Electrohydrodynamic

۲- کنترل جریان

کنترل جریان دارای قابلیت تأثیر بر روی میدان‌های سیال، به منظور دست یابی به اهدافی مانند به تأخیر یا به تسریع انداختن تبدیل الگوی جریان، ایجاد یا جلوگیری از ایجاد جدایش در جریان، کاهش یا افزایش توربولانس و ... می باشد. اصلاح این خصوصیات جریان می‌تواند منجر به فواید زیادی از قبیل افزایش بازده آیرودینامیکی، کاهش وزن سازه‌ها، کاهش هزینه‌های عملکرد و سوخت مصرفی و ... شود. کنترل جریان در پشت اجسام انحنادار مانند استوانه به منظور چهار هدف عمده کاهش نیروی پسا، افزایش انتقال حرارت، جلوگیری از تشکیل گردابه‌ها و پراکنش گردابه‌ها انجام می‌شود.

عموماً کنترل جریان می‌تواند به دو صورت کنترل لایه مرزی و یا کنترل دنباله‌های ایجاد شده در پشت اجسام صورت گیرد. هدف از کنترل لایه مرزی تحریک نقطه جدایش جریان، کاهش نیروی پسای اصطکاکی و فشاری، کنترل طریقه جاری شدن گردابه‌ها در لایه مرزی آشفته و افزایش انتقال حرارت در لایه مرزی می‌باشد. همچنین تحریک نقطه جدایش سبب تغییر در حجم ناحیه گردابه در پشت استوانه شده که نتیجه آن تغییرات اساسی در پارامترهای انتقال حرارت و نیروی پسا می‌باشد. کنترل دنباله‌ها با تأثیر بر روی ساختار دنباله‌ها باعث تغییر در توزیع فشار و پرتاب گردابه‌ها در قسمت عقبی استوانه می‌شود و از این طریق بر انتقال حرارت و نیروی پسا اثر می‌گذارد.

برگلس و همکارانش [۱، ۲] سیزده روش کنترل جریان را معرفی کرده‌اند. این روش‌ها بطور کلی به سه قسمت عمده تقسیم می‌شوند:

۱- روش‌های غیرفعال^۱

۲- روش‌های فعال^۲

۳- روش‌های ترکیبی^۳

در روش‌های غیر فعال از هندسه سطح ویژه و یا افزودن مواد خاص به سیال اصلی برای کنترل جریان و افزایش انتقال حرارت استفاده می‌شود. روش‌های فعال به تحریک بیرونی مانند میدان‌های الکتریکی و صوتی و یا ارتعاش سطح، نیاز دارند. به عبارت ساده‌تر در روش غیرفعال برای رسیدن به تغییرات مورد نظر در حرکت سیال از انرژی خود سیال استفاده می‌شود ولی در روش فعال از انرژی خارجی استفاده می‌شود. روش‌های ترکیبی نیز از هر دو روش برای این منظور بهره می‌برند.

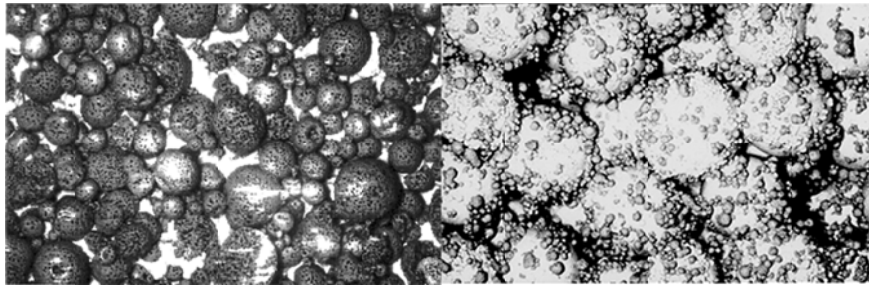
¹ - Passive

² - Active

³ - Compound

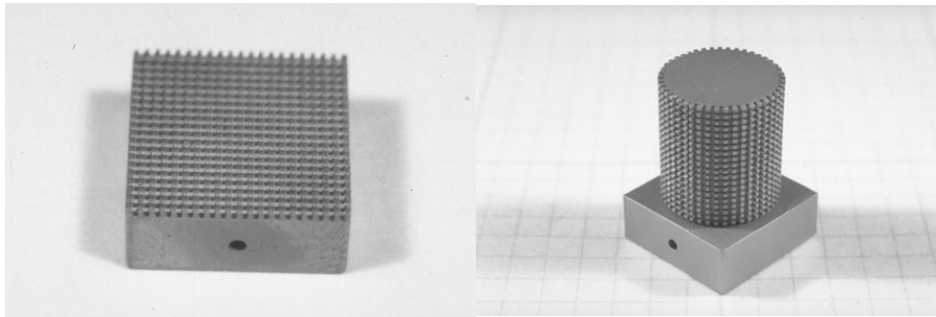
۳- روش های غیر فعال

الف- سطوح رویه کاری شده: شامل رویه کاری فلزی و یا غیر فلزی سطوح می شود. مانند رویه های ترنشونده تفلون (برای افزایش چگالش قطره‌ای) و یا سطوح با تخلخل بسیار ریز (برای افزایش جوش هسته ای)، شکل ۱ یک رویه متخلخل فلزی برای افزایش جوش هسته ای را نشان می دهد.



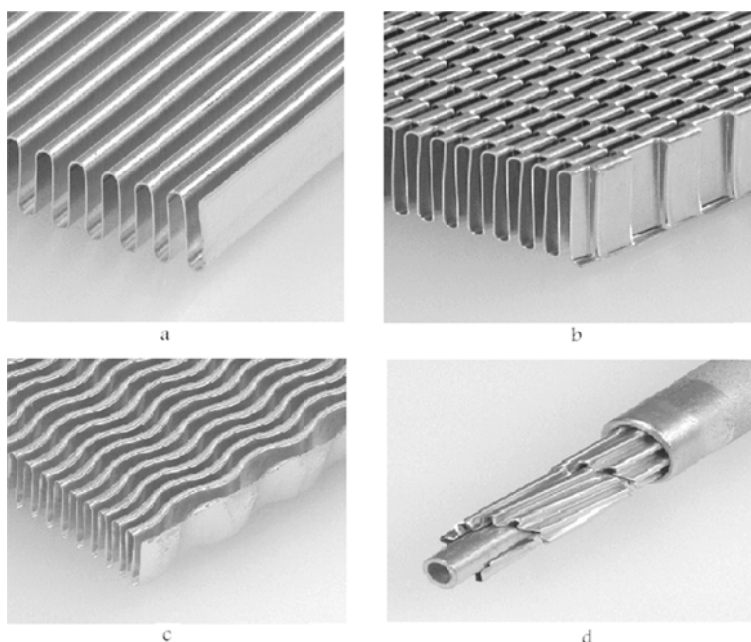
شکل ۱: استفاده از سطوح متخلخل برای افزایش انتقال گرما

ب- سطوح زبری: زبری را می توان به سطح اصلی اضافه کرد و یا به وسیله موانع، آن را ایجاد کرد. زبری را می توان به وسیله ماشین کاری و یا ریخته گری نیز ایجاد کرد. در جریان تک فازی به جای اینکه سطح را افزایش دهیم ساختار سطح، اغلب به گونه ای طراحی می شود که باعث اختلاط بیشتر در لایه مرزی نزدیک سطح می شود. شکل ۲ نمونه ای از زبری ایجاد شده در سطح را نشان می دهد.



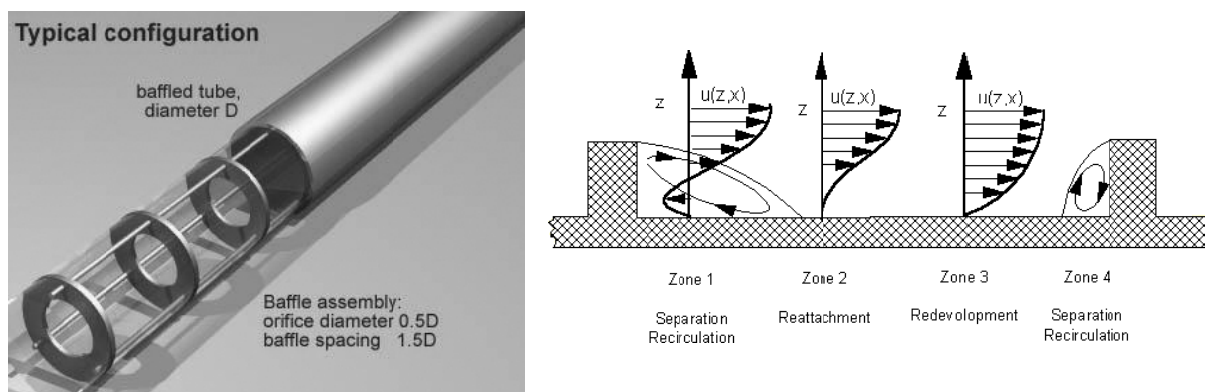
شکل ۲: استفاده از زبری برای افزایش انتقال گرما

ج- افزایش سطح تماس با سیال: این روش در بسیاری از مبادله کن های گرمایی به کار می رود. همان گونه که در معادله ۳ نشان داده شده است مقاومت گرمایی را می توان با استفاده از افزایش ضریب انتقال گرما h و یا مساحت سطح A و یا هردوی آنها، کاهش داد. ایجاد یک سطح غیر تخت می تواند باعث افزایش هر دو پارامتر شود.



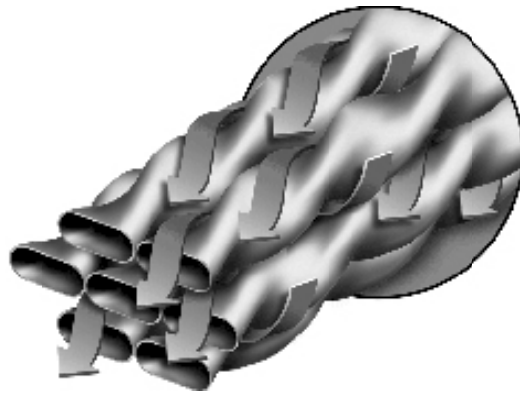
شکل ۳: افزایش سطح تماس با سیال برای افزایش انتقال حرارت

د- ایجاد موانع داخلی: این موانع در مسیر جریان قرار می گیرند تا به طور غیر مستقیم باعث افزایش انتقال گرما در سطوح شوند. از آنها هم برای جریان تک فازی و هم برای جریان دو فازی استفاده می شود.



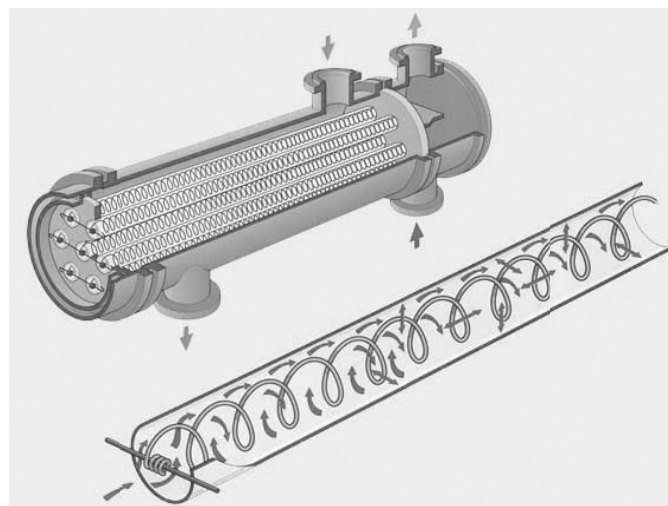
شکل ۴: نمونه هایی از موانع داخلی جریان برای افزایش انتقال گرما

ه- ابزارهای چرخاننده جریان: شامل ورقه ها یا استوانه هایی با شکل هندسی خاص هستند که در مسیر جریان قرار می گیرند تا سیال در داخل لوله حرکت چرخشی پیدا کند، و یا اینکه در داخل لوله جریان های ثانویه قوی ایجاد گردد.



شکل ۵: نمونه ای از ابزارهای ایجاد چرخش در جریان

و- لوله های پیچیده شده: این لوله ها می توانند درمبادله کن های بسیار کم حجم برای کاهش حجم به کار روند. جریان های ثانویه ایجاد شده در لوله پیچیده، میزان انتقال گرما در جریان تک فازی را به میزان قابل توجهی افزایش می دهند.



شکل ۶: استفاده از لوله های پیچیده شده در مبدل های حرارتی

ز- استفاده از کشش سطحی: می توان با استفاده از نیروهای کشش سطحی لایه های سیال را انتقال داد و یا خشک کرد. صفحات تخت و یا استوانه هایی که دارای شیارهای طولی باریک هستند، از این نوعند.
ح- مواد افزودنی به سیال: شامل ذرات ریز جامد و یا حباب گاز در جریان های تک فازی و سیال از نوع دیگر در جریان دوفازی می باشند.
ط- مواد افزودنی به گاز: شامل قطرات سیال و یا ذرات جامد می باشند.

۴- روش های فعال

این روش ها باصرف انرژی از خارج، جریان را کنترل می کنند. مثال هایی از این نوع عبارتند از:

الف- روش های مکانیکی: روش هایی مانند به هم زدن سیال با استفاده از ابزارهای مکانیکی و یا چرخاندن سطوح انتقال گرما، از این نوعند.

ب- ارتعاش سطح: مرتعش ساختن سطح در فرکانس های کم و یا زیاد نیز باعث افزایش اغتشاش و در نتیجه افزایش انتقال گرما می شود.

ج- ارتعاش سیال: کاربردی ترین روش افزایش انتقال گرما با استفاده از ارتعاش می باشد، زیرا در اغلب موارد جرم زیاد مبادله کن مانع از ارتعاش سطحی می شود. دامنه فرکانس معمولاً از یک هرتز تا امواج فراصوتی متغیر می باشد.

د- میدان های الکترواستاتیک: استفاده از میدان های الکتریکی که موضوع کار حاضر نیز می باشد، می تواند با استفاده از جریان مستقیم dc و یا جریان متناوب ac صورت گیرد.

ه- تزریق یا دمش: با دمیدن گاز از سطح متخلخل به درون یک سیال و یا تزریق همان نوع سیال می توان با ایجاد آشفستگی، افزایش نرخ انتقال گرما را موجب شد.

و- مکش: شامل جذب بخار در جوش هسته ای یا جوش لایه ای و یا جذب سیال از یک سطح متخلخل می شود.

اخیراً استفاده از محرک هایی که بر اساس نیروهای الکترومغناطیسی کار می کنند، توجه ویژه ای را به خود جلب کرده اند. این محرک ها دارای مزایای ویژه ای همچون سادگی، قابلیت اطمینان بالا (آنها بدون هرگونه بخش متحرکی هستند) و زمان پاسخ بسیار کوتاه (کمتر از یک نانو ثانیه) هستند. هنگامی که جریان های الکتریکی مربوطه به اندازه ای کم باشند، که اثرات مغناطیسی قابل صرف نظر کردن باشند، این تجهیزات به نام محرک های الکتروهیدرودینامیکی، یا به اختصار محرک های EHD شناخته می شوند.

۵- الکتروهیدرودینامیک

علم الکتروهیدرودینامیک به مطالعه رفتار سیال دی الکتریک در میدان های الکتریکی می پردازد. جریان های ثانویه به وجود آمده توسط میدان الکتریکی در سیال دی الکتریک، می تواند به منظور پمپاژ سیال و یا افزایش انتقال حرارت و جرم در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد. در این روش بین الکترودهایی که در میدان مستقر شده اند ولتاژ بالایی تا نزدیکی های جرقه یا شکست عایق، به منظور یونیزه کردن موضعی قسمتی از سیال و ایجاد جریان ثانویه و افزایش شار مومنتوم در لایه مرزی، برقرار می شود. با توجه

به اعمال میدان الکتریکی به جریان سیال، سیال عامل در این نوع کاربردها باید از نوع دی الکتریک (عایق) باشد و کاربرد این میدان به گونه ای باشد که مسأله شکست عایق پیش نیاید.

۱-۵- مزایای الکتروهیدرودینامیک

مزایای اصلی این محرک ها عبارتند از [۳]:

- عدم وجود قطعات مکانیکی متحرک، طراحی و کاربرد ساده، فقط با استفاده از یک تزریق کننده الکترون (سوزن ها، سیم ها یا مش ها). و یک جمع کننده آن.
- کنترل سریع جریان با اعمال میدان های الکتریکی مختلف. (تاخیر از مرتبه نانو ثانیه است)
- خنک کاری موضعی گذرهای خمیده و پیچیده، که استفاده از پمپ یا دمنده در آنها مشکل است.
- مناسب برای محیط های ویژه (فضای ریز گرانس ها و یا گرانس صفر) همانند سفینه ها.
- جایگزین های CFC (مبردهای اوزون دوست مانند فرئون ۱۲۳). روغن ها، مایعات با هدایت الکتریکی نسبتاً کم و گازها، سیالات عامل قابل قبول در تکنولوژی EHD موجود هستند.
- مصرف الکتریسیته بسیار کم.
- کنترل انتقال حرارت و افزایش بازدهی تأسیسات حرارتی.
- قابلیت به کارگیری در جریان های تک فازه و چند فازه.

۲-۵- کاربردهای الکتروهیدرودینامیک

کاربردهای الکتروهیدرودینامیک را می توان بطور کلی به دو بخش تقسیم کرد: بخشی که امروزه در صنعت بکار می رود و بخش دیگر که کاربردهای بالقوه می باشد که در حال حاضر تنها در حد کاربردهای آزمایشگاهی بوده و نیازمند تحقیقات بیشتری برای بهره برداری از آنها در صنعت می باشد. کاربردهای مهم این علم نوین عبارتند از [۳]:

- افزایش انتقال حرارت در مبدل های حرارتی
- افزایش آهنگ چگالش یا تبخیر در کندانسورها یا اواپراتورها
- پمپاژ و انتقال مایعات و گازها
- خنک کاری قطعات الکتریکی
- تولید ذرات میکرونی و زیر میکرونی در فلزات مذاب (EHDA)

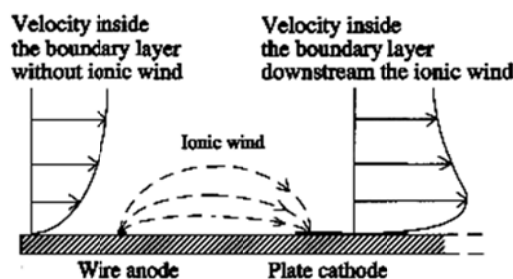
- باردار کردن ذرات اسپری شونده در پاشنده‌ها (سمپاش‌ها، رنگ‌پاش‌ها، چاپگرها و ...) به منظور پخش یکنواخت آنها

۶- باد یونی یا باد کرونا^۱

از آنجایی که مواد ذاتاً دارای بار الکتریکی می‌باشند هنگامی که یک سیال دی‌الکتریک بین دو الکتروود با اختلاف ولتاژ زیاد قرار می‌گیرد بر اثر میدان الکتریکی شدید ایجاد شده تعادل بارهای الکتریکی سیال به هم می‌خورد، در واقع ذرات بین این دو الکتروود که در حالت عادی خنثی هستند بر اثر حرکت بارهای منفی و مثبت آنها در جهت میدان مخالف به صورت دوقطبی درمی‌آیند و در اصطلاح سیال پولاریزه می‌شود و اگر این میدان شدیدتر باشد احتمال جدایی قسمت‌های مثبت و منفی از هم بیشتر می‌شود که در این حالت سیال یونیزه می‌شود. این یون‌ها و یا دوقطبی‌ها به طرف قطب‌های مخالف حرکت می‌کنند و در این حرکت یون‌ها با سایر مولکول‌ها نیز برخورد می‌کنند و باعث ایجاد آشفتگی در سیال می‌شوند. برخورد بین یون‌ها و مولکول‌ها باعث انتقال اندازه حرکت یون‌ها به مولکول‌های سیال شده و یک جریان ثانویه به وجود می‌آید. در ادبیات فن به این جریان باد کرونا یا باد یونی گفته می‌شود [۴]. به شکل‌های ۷ و ۸ برای تفهیم مسئله مراجعه شود [۵].



شکل ۸: نمونه‌ای از ایجاد باد کرونا



شکل ۷: ایجاد باد کرونا و تأثیر آن بر جریان لایه مرزی

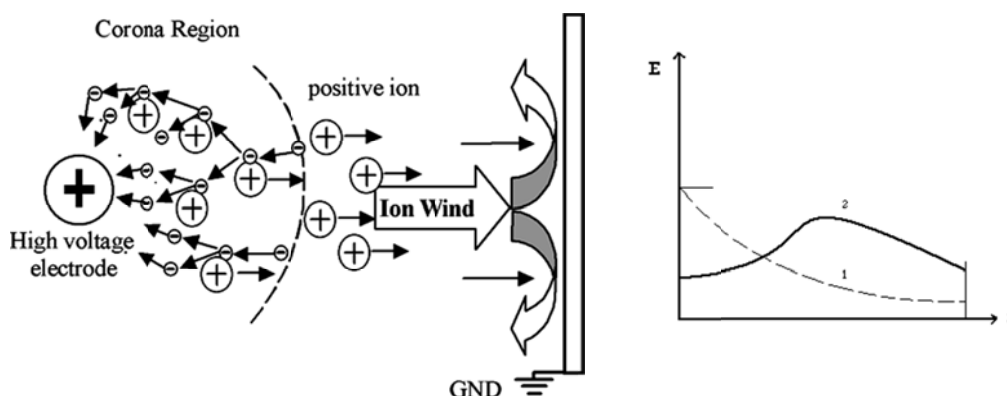
۷- تخلیه جزئی یا کرونا^۲

اگر سیال دی‌الکتریک در یک میدان الکتریکی غیریکنواخت (میدان ناشی از الکترودهایی با شعاع‌های انحنای مختلف) قرار گیرد، یونیزاسیون از محلی که بیشینه شدت میدان الکتریکی وجود دارد شروع می‌شود. در کار حاضر از یک الکتروود سیمی به عنوان آند و سطح یک استوانه متصل به زمین جهت تولید

^۱ - Corona (Ion) Wind

^۲ - Corona Discharge

میدان الکتریکی استفاده می شود. که در این حالت میدان الکتریکی در اطراف سیم شدیدتر از جاهای دیگر می باشد و به همین دلیل یونیزاسیون در اطراف الکتروود سیمی شروع می شود. یونیزه شدن گاز سبب بوجود آمدن یون و الکترون می گردد. ولی الکترون ها به جهت دارا بودن تحرک بیشتر سریعاً خود را به آند می رسانند در حالی که یون ها که از تحرک کمتری برخوردارند تقریباً در محل خود باقی می مانند و آهسته در اطراف کاتد جمع شده به آن نزدیک می شوند. الکترون ها در برخورد به آند جذب آن می شوند و مقداری از بار آن را خنثی می کنند و سبب کاهش شدت میدان می شوند، از طرفی یک میدان مضاعف بین کاتد و یون های مثبت تولید شده سبب افزایش شدت میدان در نزدیکی کاتد می شود. شکل ۹ پدیده فوق الذکر و نمودار میدان الکتریکی قبل و بعد از یونیزاسیون را نشان می دهد.



شکل ۹: یونیزاسیون گاز در اثر میدان الکتریکی غیریکنواخت و ایجاد باد کرونا

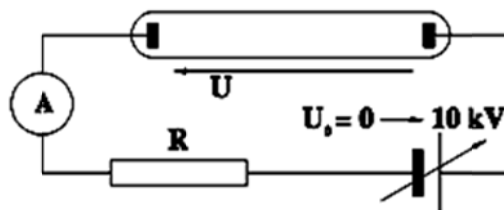
با افزایش شدت میدان الکتریکی در نزدیکی الکتروود سیمی تا حد معینی، در اطراف این الکتروود جرقه هایی بوجود می آید، به این جرقه ها که از یک الکتروود شروع شده و به الکتروود دیگر نمی رسد تخلیه جزئی می گویند. علاوه بر آن گاهی در اطراف این الکتروود یا در فضای بین الکتروودها نور یکنواختی که شبیه به هاله است نیز مشاهده می شود، لذا به این نوع تخلیه الکتریکی کرونا نیز می گویند که همان معنی هاله را دارد.

افزایش انتقالی که در جرم و گرما در نتیجه این پدیده به وجود می آید در عمل به توان کمی نیازمند است و همراه با هیچ صدا یا لغزشی نمی باشد و می تواند به طور ساده با تغییر ولتاژ اعمال شده کنترل شود [۶]. از این باد کرونا می توان هم در جهت جریان سیال و هم در جهت های دیگر استفاده کرد. اگر از باد کرونا در جهت حرکت سیال استفاده شود نوعی پمپ خواهیم داشت که باعث افزایش اندازه حرکت سیال می شود و اگر در جهتی دیگر باشد با افزایش آشفستگی باعث افزایش پدیده های انتقال و پخش می شود.

۸- تخلیه الکتریکی و شکست عایق در گازها

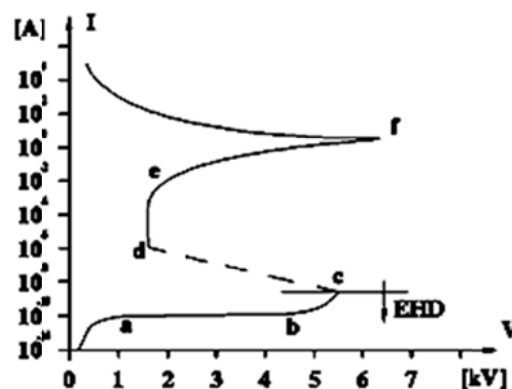
مقصود از استقامت الکتریکی یک عایق حداکثر شدت میدان الکتریکی است که آن عایق در شرایط خاص تحمل می‌کند. در صورتی که شدت میدان الکتریکی از این حد تجاوز نماید، در عایق شکست اتفاق می‌افتد. یعنی عایق تبدیل به هادی می‌شود. شکست یا فروپاشی عایق، به معنی از دست رفتن خاصیت عایقی آن است. اگر جسم عایقی (که بین دو الکتروود قرار دارد)، در معرض میدان‌های الکتریکی قوی (بالاتر از حد مشخصی که بستگی به جنس عایق، درجه حرارت عایق، شکل و علامت ولتاژ و مدت زمان اعمال آن، ضخامت عایق و شرایط محیطی از جمله رطوبت دارد) قرار بگیرد، از عایق جریان الکتریکی بزرگی عبور خواهد کرد، و این به معنای از دست رفتن خاصیت عایقی جسم می‌باشد که از آن به عنوان شکست یا فروپاشی الکتریکی عایق نام برده می‌شود

اگر در یک لوله شیشه‌ای که در داخل آن هوا با فشار کم (در حدود ۱۰ میلی‌متر جیوه) وجود دارد دو الکتروود قرار دهیم و این دو الکتروود را مطابق شکل ۱۰ به یک منبع ولتاژ قابل تنظیم وصل کرده و ولتاژ منبع را تدریجاً بالا ببریم؛ بین دو الکتروود جریان الکتریکی خفیفی برقرار می‌شود.



شکل ۱۰: مدار الکتریکی برای ایجاد باد کرونا [۴]

با ثبت و رسم تغییرات جریان (I) و ولتاژ بین دو الکتروود (U) شکل ۱۱ بدست می‌آید.



شکل ۱۱: نمودار مشخصه جریان الکتریکی در باد کرونا بر حسب ولتاژ اعمالی [۴]

شکل ۱۱ رابطه بین ولتاژ دو الکتروود و جریان الکتریکی عبوری از هوا را نشان می‌دهد. در ولتاژ کم، جریان بسیار کمی از گاز عبور می‌کند که متناسب با ولتاژ (تقریباً خطی) افزایش می‌یابد، ولی این جریان در نقطه a به حد اشباع رسیده و دیگر با افزایش ولتاژ تغییر نمی‌کند. عبور جریان الکتریکی قبل از نقطه a به دلیل وجود الکترون‌ها و یون‌هایی است که به دلیل عوامل خارجی در گاز داخل محفظه به وجود می‌آیند. البته افزایش تعداد الکترون‌ها و یون‌ها در هوا نامحدود نمی‌باشد، چرا که تعدادی از الکترون‌ها در حرکت خود بین مولکول‌ها به یون‌ها رسیده و با آنها خنثی می‌شوند. بنابراین تعداد معینی یون و الکترون در واحد حجم باقی خواهند ماند. لذا مقدار جریان در حد فاصل نقاط a و b ثابت می‌ماند. با ثابت نگاه داشتن عوامل خارجی، در حد فاصل نقاط b و c جریان همراه با ولتاژ افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که با افزایش ولتاژ و شدت میدان الکتریکی، میزان انرژی که بعضی از الکترون‌ها از میدان الکتریکی کسب می‌کنند زیاد می‌شود. این الکترون‌های پر انرژی، در برخورد خود با مولکول‌های گاز، قادرند آنها را یونیزه کنند. همین امر تعداد یون‌ها و الکترون‌های تولید شده در واحد زمان را افزایش می‌دهد. لذا شدت جریان از نقطه b به بعد افزایش می‌یابد. هر قدر بر تعداد ذرات باردار و همچنین بر شدت میدان الکتریکی افزوده شود، احتمال کسب انرژی توسط تعداد بیشتری ذره باردار به وجود آمده و در نتیجه جریان بیشتر افزایش می‌یابد. در نقطه c آنقدر تعداد ذرات باردار در فضای بین دو الکتروود زیاد شده است که گاز بین الکتروودها به یک هادی تبدیل گردیده است. در نتیجه شدت جریان افزایش زیادی پیدا می‌کند و گاز عایق به گاز هادی تبدیل می‌شود. افزایش ناگهانی جریان در نقطه c سبب شکست عایق می‌شود. زمانی که یک میدان الکتریکی با ولتاژ بالا به یک سیال دی‌الکتریک اعمال می‌شود سیال در مجاورت الکتروودهای این میدان یونیزه می‌شود. در این صورت در یک لحظه تمامی سیال موجود در بین این جفت الکتروود یونیزه شده و یک تخلیه کامل الکتریکی بین آنها اتفاق می‌افتد که در این حالت سیال حالت عایق بودن و ماهیت دی‌الکتریک خود را از دست می‌دهد. به این پدیده شکست عایق گفته می‌شود [۴]، برای سیال مورد نظر داریم

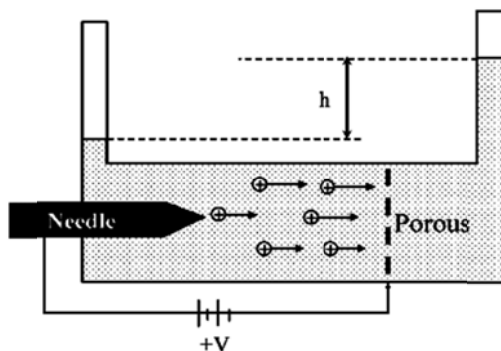
$$E_{br} = \frac{V}{d} \quad (1)$$

در رابطه فوق E_{br} شدت میدان آستانه شکست، V ولتاژ اعمالی و d فاصله بین دو الکتروود می‌باشد و برای هوا $E_{br} = 3 \times 10^6$ است. جریان الکتریکی به طور ناگهانی افزایش یافته و از نقطه c به نقطه d جهش می‌کند. خط نقطه چین بین دو نقطه c و d نشان دهنده این نکته است که هیچ مسیر مشخصی بین آن دو وجود ندارد.

ساز و کارهای الکتروهیدرودینامیک می توانند حرکت هایی برای افزایش آهنگ انتقال جرم و گرما در سیستم های تک فازه یا دو فازه به وجود آورند. نیروهای موثر شناخته شده در این ساز و کارها عبارتند از: نیروی کولمب^۱، نیروی دی الکتروفوریتیک^۲ و نیروی الکترواستریکشن^۳ [۷، ۸].

۹-۱- نیروی کولمب

این نیرو تنها نیرویی است که نیازمند حضور بارهای آزاد است. یک ذره باردار در داخل میدان الکتریکی همگن و یا ناهمگن تحت اثر نیروی کولمب در راستای خطوط میدان حرکت می کند و ممتم را به ذرات سیال منتقل می کند (شکل ۱-۱۸^۱). بارهای آزاد را می توان توسط یک الکتروودولتاژ بالا به طور مستقیم به داخل سیال تزریق کرد. همچنین ناهمگنی در رسانایی الکتریکی سیال در حضور میدان الکتریکی، که از گرادیان دمایی و یا ناهمگنی سیال ناشی می شود، نیز می تواند موجب ایجاد بارهای آزاد شود. ذکر این نکته مهم است که حرکت ذرات باردار به شدت میدان الکتریکی اعمال شده و DC یا AC بودن این میدان بستگی دارد. اثر نیروی کولمب در شکل زیر توسط اشتیوتزر (Stuetzer) نشان داده شده است [۹].



شکل ۱۲: تأثیر نیروی کولمب [۹]

۹-۲- نیروی دی الکتروفوریتیک

جابه جایی نسبی بارهای مثبت و منفی داخل ذرات خنثی بر اثر اعمال میدان الکتریکی سبب ایجاد نیروی قطبش خالص در ناحیه ای از سیال می شود که به آن نیروی دی الکتروفوریتیک می گویند. در میدان الکتریکی ناهمگن به یک انتهای این دو قطبی ها (انتهای منفی در تصویر) نسبت به انتهای دیگر (انتهای

¹ - Coulomb Force

² - Dielectrophoretic Force

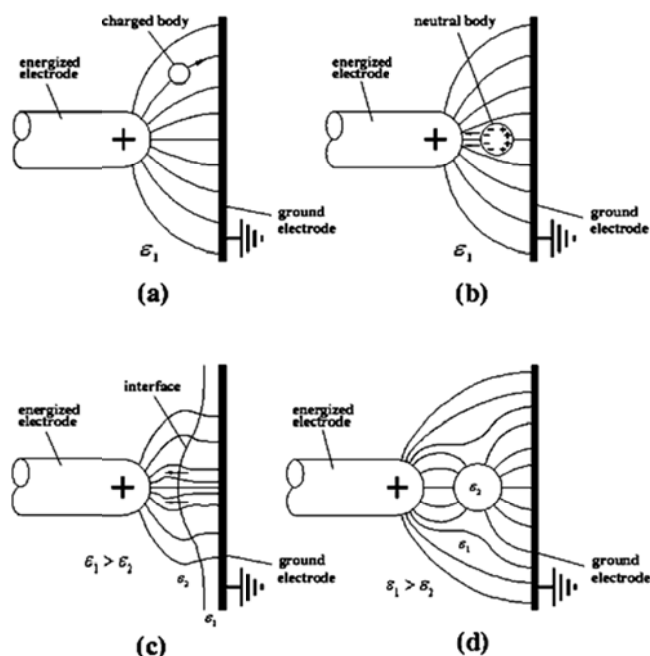
³ - Electrostriction Force

مثبت در تصویر) نیروی بیشتری وارد می شود که باعث حرکت کل دوقطبی در جهت میدان قوی تر می شود (شکل b ۱۳).

۹-۳- نیروی الکترواستریکشن

این نیرو براساس تغییرات ثابت دی الکتریک با چگالی به وجود می آید. براساس این تعریف این نیرو فقط در سیالات تراکم پذیر وجود خواهد داشت. در دو حالت، سیالی که قبل و بعد از اعمال میدان الکتریکی ایزوتروپیک است، می تواند دوقطبی هایی را در خود تولید کند. اول اینکه سیال به دلیل تابع مکان بودن ثابت دی الکتریک نا همگن باشد و دیگری اینکه ثابت دی الکتریک سیال با چگالی تغییر کند. به نیرویی که به دلیل تغییرات ثابت دی الکتریک سیال در میدان الکتریکی به آن وارد می شود نیروی الکترواستریکشن گویند.

بحثها پیرامون اثر نیروی حجمی الکترواستریکشن بر دوقطبی های ایجاد شده در محیط طی سالیان متمادی همچنان به قوت خود باقی است. این بحث ها بر این مسأله متمرکز شده اند که آیا نیروی حجمی الکترو استریکشن را نیز مانند نیروی دی الکتروفوریتیک می توان عامل حرکت انتقالی یک دو قطبی دانست؟ در مورد جزئیات بسیار بیشتر نیروهای قطبش می توان به برایان [۱۰] مراجعه کرد.



شکل ۱۳: چهار نوع نیروی الکتریکی وارد بر ذرات در میدان الکتریکی [۱۱]

در حالت کلی نیروی حجمی اعمال شده به سیال دی الکتریک بر اثر وجود میدان الکتریکی تحت شرایط جوشش و چگالش بصورت زیر می باشد

$$\vec{f}_e = \rho_e \vec{E} - \frac{1}{2} E^2 \nabla \epsilon + \frac{1}{2} \nabla \left[E^2 \rho \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} \right)_T \right] \quad (2)$$

معادله (۲) توسط ملچر [۱۲]، با روش ترمودینامیکی و با فرض اینکه قطبش، تابعی خطی از میدان الکتریکی اعمال شده بوده و همچنین فقط به چگالی سیال بستگی دارد؛ به دست آمده است. سه جز معادله (۲) سه نوع مختلف از نیروهای موثر بر ذرات سیال را بیان می کند. جزء اول از رابطه سمت راست مولفه الکتروفوریتیک می باشد که بیانگر نیروی کلمب است. این نیرو بر بارهای آزاد موجود در میدان الکتریکی اثر دارد. جزء دوم نیروی دی الکترفوریتیک است که با تغییرات موضعی ثابت دی الکتریک سیال رابطه دارد. جزء سوم نیز که به تغییرات ثابت دی الکتریک با چگالی سیال بستگی دارد نیروی الکترواستریکشن می باشد.

کاربرد EHD در مسائل انتقال حرارت و جرم بسیار پیچیده می باشد. تصاویر ساده نشان داده شده در شکل ۱۳، در این جا به صورت جداگانه توضیح داده شد. در حالی که اگر یک میدان الکتریکی به ناحیه ای از سیال اعمال شود، بخصوص اگر پدیده تغییر فاز سیال داشته باشیم، نیروهای گفته شده در بالا نه تنها همزمان تأثیر گذارند، بلکه بر همدیگر نیز موثر خواهد بود.

در بخش های دیگر این مقاله به بررسی کاربردها و دستاوردهای علمی این حوزه خواهیم پرداخت.



۹-۴- مراجع

- [1] **Bergles, A.E. 1989**, "The challenge of enhanced heat transfer with phase change. Transe," *VII Congresso Nazionale sulla Trasmissione del Calore, Florence*, pp: 1-12.
- [2] **Bergles, A.E. 1985**, "Techniques to augment heat transfer," In *Handbook of Heat Transfer Applications* (Edited by **Rohsenow, W. M., Hartnett, J. P., Ganic, E. N.**), 2nd Ed. *McGraw-Hill*, New York.
- [3] **Yabe, A. 1991**, "Active heat transfer enhancement by applying electric fields," *Proc. ASME/JSME Thermal Engng Joint Conf.* (Edited by **Lloyd, J. R., Kurosaki, Y.**), pp: xv-xxiii.
- [۴] محسنی، ح. ۱۳۷۳، "مهندسی فشار قوی الکتریکی پیشرفته"، انتشارات دانشگاه تهران.
- [5] **Léger, L., Moreau, E., Gerard, G., Touchard, G. 2002**, "Effect of a DC Corona Electrical Discharge on the Airflow Along a Flat Plate," *IEEE Transactions on Industry Applications*, pp: 38-6.
- [6] **Lienhard IV, J.H., Lienhard V, J.H. 2008**, "A Heat Transfer Textbook", Third Edition, *Phlogiston Press Cambridge*.
- [7] **Owsenek, B.L. 1998**, "An Experimental, Theoretical and Numerical Investigation of Corona Wind Heat Transport Enhancement," *M.Sc. Thesis Texas A&M University*.
- [8] **Seyed-Yagoobi, J., Owsenek, B.L. 1997**, "Theoretical and Experimental Etudy of Electrohydrodynamic Heat Transfer Enhancement through Wire-Plate Corona Discharge," *Journal of Heat Transfer*, Vol.119.
- [9] **Suriyan, L, Paisarn, N, Somchai, W. 2007**, "A Review of Electrohydrodynamic Enhancement of Heat Transfer," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, pp: 858-876.
- [10] **Bryan, J.E. 1986**, "Fundamental Study of Electrohydrodynamically Enhanced Convective and Nucleate Boiling Heat Transfer," *PhD. Thesis Texas A&M University*
- [11] **Seyed-Yagoobi, J., Bryan, J.E. 1988**, "Enhancement of Heat Transfer and Mass Transport in Single-Phase and Two-Phase Flows with Electrohydrodynamics," *Texas A&M University College Station Texas*, pp: 77843-3123.
- [12] **Melcher, J.R. 1981**, "Continuum Electromechanics," *Cambridge, Mass, MIT Press*.

گزارش یازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

محمد تاجیک منصوری

کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران با سابقه ۲۰ ساله تاکنون، موفق به برگزاری ۱۱ دوره همایش دو سالانه انرژی شده، که ۴ دوره آن به صورت بین‌المللی بوده است. این همایشها با حمایت همه جانبه وزارتخانه های نیرو و نفت و سازمان انرژی اتمی ایران، و مشارکت گسترده دانشگاه ها، موسسات علمی و تحقیقاتی، شرکتها و نهادهای حوزه انرژی، برگزار گردیده است.

یازدهمین همایش بین‌المللی انرژی در خرداد ماه سال ۱۳۹۵ در سالن همایش های پژوهشگاه نیرو، با هدف هم اندیشی و تمرکز بر موضوعات علمی، کاربردی و سیاسی بخش انرژی در راستای تامین انرژی مطمئن برای نسل کنونی و آینده با شعار "پویایی انرژی در جهان در حال تغییر" با حضور و سخنرانی مهندس چیت چیان وزیر نیرو و رئیس کمیته ملی انرژی کشور، مهندس فلاحیان معاون برق و انرژی وزیر نیرو و نایب رییس کمیته ملی انرژی و نیز ۱۴ نفر از سخنرانان کلیدی از مقامات و اساتید بین‌المللی، دکتر اربان روسناک دبیر کل منشور جهانی انرژی، دکتر کن کویاما مدیر بخش اقتصادی موسسه اقتصاد انرژی ژاپن، دکتر گورکان کومبوراعلو رئیس انجمن بین‌المللی اقتصاد انرژی ترکیه، دکتر لوییز گومز ایچوری محقق ارشد موسسه تحلیل سیستمهای کاربردی (یاسا)، دکتر ویلیام والز استاد دانشگاه کالگری کانادا، دکتر ادو نیهچ رئیس امور دولت شرکت زیمنس، دکتر کارول نخله مدیر شرکت کریستال انرژی انگلستان، دکتر ظفر ازترک استاد دانشگاه بغازیچی ترکیه، دکتر هانس جوزف فل رئیس شرکت EWG و نماینده سابق مجلس آلمان، دکتر دیمتری پیسیا کارشناس ارشد همکاریهای اروپایی انرژی در شرکت Agora-Energiewende، دکتر لوتز مز استاد مرکز مطالعات منطقه خزر دانشگاه برلین، دکتر دیوید کورانی مدیر شورای آتلانیک، دکتر کریستین بریر استاد دانشگاه لپرناتا فنلاند و دکتر اندرو مئولا معاون توسعه تجارت شرکت Cesi ایتالیا برگزار گردید.

در این همایش از مجموع ۴۴۷ مقاله رسیده به دبیرخانه، ۲۲۵ مقاله به زبان فارسی و انگلیسی (به صورت شفاهی و پوستر) ارائه گردید. چهار میزگرد تخصصی با عناوین زیر با حضور کارشناسان و متخصصان ذی ربط از بخشهای دولتی و خصوصی برگزار گردید

۱. میزگرد تامین مالی و تراز منابع و مصارف مالی بخش انرژی
 ۲. میزگرد انرژی های تجدید پذیر و کنوانسیون های زیست محیطی
 ۳. میزگرد مرزهای سیاست گذاری و دانش در بهره وری انرژی
 ۴. میزگرد پیوند آب و انرژی در نیروگاههای برقایی
- نمایشگاه جانبی همایش نیز با حضور ۱۳ شرکت داخلی و خارجی مورد بازدید شرکت کنندگان قرار گرفت.
- شایان ذکر است نشست تخصصی منشور جهانی انرژی با حضور اربان روسناک، دبیرکل منشور و همکاران ایشان و نمایندگانی از نهاد ریاست جمهوری، وزارتخانه های نیرو، نفت، امور خارجه، علوم، تحقیقات و فناوری، راه و شهرسازی، مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی در حوزه ستادی وزارت نیرو برگزار گردید.



واژه های مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی

مصوب	بیگانه	حوزه	تعریف
اتلاف	dissipation	فیزیک	تبدیل انرژی مکانیکی به گرما بر اثر اصطکاک در فرایندهای مکانیکی
اتلاف انرژی برگشت ناپذیر	irreversible energy loss	فیزیک	کاهش انرژی ای که ویژگی برگشت ناپذیری آن به افزایش آنتروپی منجر می شود
اتلاف انقباضی	contraction loss	فیزیک	اتلاف انرژی مکانیکی شاره جاری مجرای بسته بر اثر تنگ شدن یک باره مجرا
اقدام اصلاحی	corrective action	مدیریت-مدیریت پروژه، مهندسی محیط زیست و انرژی	اقدامی مستند برای بازگرداندن روند اجرای پروژه به مسیر برنامه مصوب، چاره جویی و به کارگیری راه حل هایی برای کاهش یا از میان برداشتن یک مشکل معین