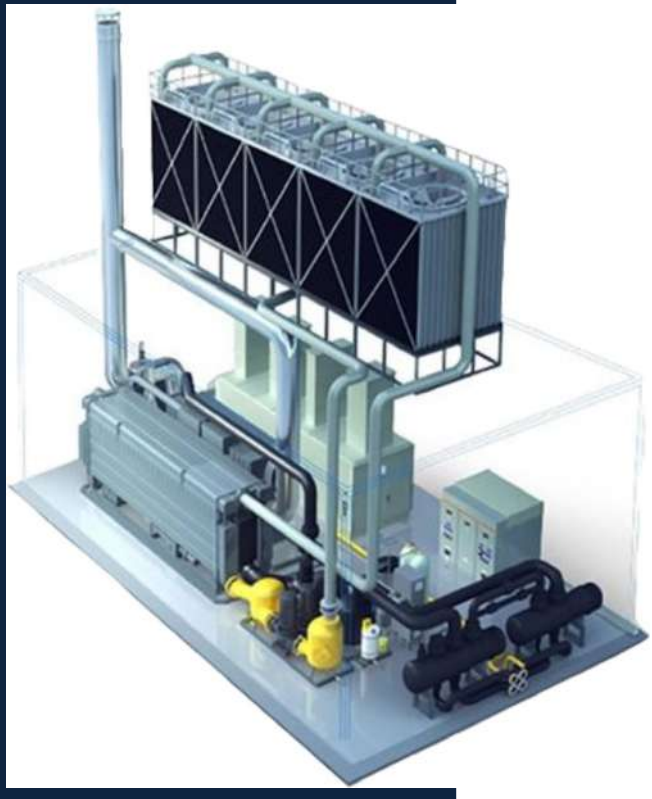
معرفی سیستم‌های تولید هم‌زمان برق، گرما و سرما (CCHP) با محرکه پیل سوختی در صنایع برودتی محصولات کشاورزی

محمد شادمانی



چکیده

امروزه با افزایش مصرف انرژی (گرمایی و الکتریسیته) در جهان به‌خصوص در بخش کشاورزی و هزینه بالای تبدیل و ذخیره‌سازی و انتقال آن باعث شده تا نیاز به استفاده از سیستم‌هایی که می‌توانند به‌طور هم‌زمان برق، گرما و سرما تولید نمایند احساس شود. این موضوع به‌خصوص در بخش کشاورزی و صنایع وابسته که مصرف درصد بالایی از انرژی را به خود اختصاص می‌دهد بیشتر مشهود است؛ بنابراین یکی از بهترین سیستم‌ها، سیستم تولید هم‌زمان برق، گرما و سرما (CCHP) هست.

مزایای عمده این سیستم کاهش تلفات در توزیع و انتقال، کاهش مصرف انرژی و افزایش بازده می‌باشد. این سیستم از یک محرک اولیه، سیستم بازیافت گرما، مبدل‌های حرارتی، چیلر جذبی، تجهیزات کنترلی تشکیل می‌شود. محرک اولیه این سیستم می‌تواند توربین گازی و بخار، موتورهای احتراق داخلی، میکرو توربین و پیل سوختی (Fuel Cell) باشد؛ که هدف این مقاله به کارگیری با محرکه اولیه پیل سوختی CCHP در صنایع محصولات کشاورزی می‌باشد، با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات به‌کارگیری این سیستم‌ها به همراه پیل‌های سوختی باعث کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی درنتیجه کاهش آلایندگی و تخریب محیط زیست و نیز کاهش هزینه استفاده از حامل‌های انرژی می‌شود.

واژه‌های کلیدی

پیل سوختی، سیستم های *CCHP*، کشاورزی

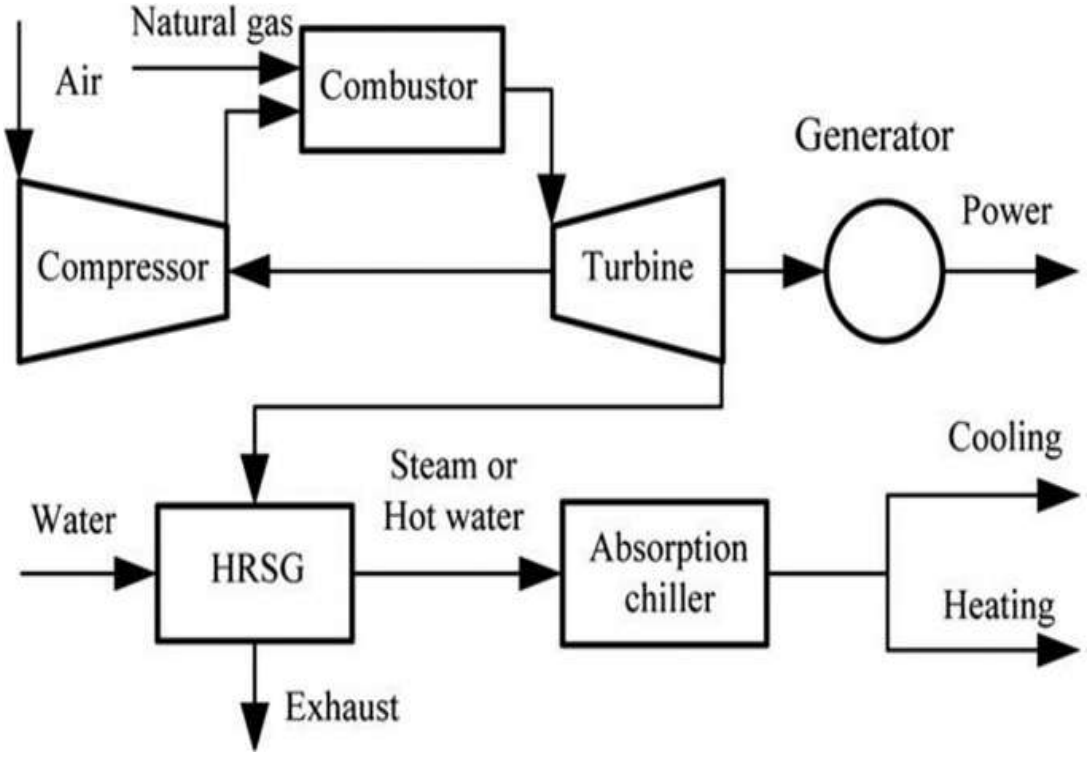
مقدمه

امروزه مصرف انرژی در جهان به‌خصوص در بخش کشاورزی و صنایع وابسته به آن رشد فزاینده‌ای داشته و سیستم‌های مرتبط با آن روزبه‌روز متنوع‌تر می‌شود. بر این اساس استفاده از سیستم‌های مؤثر و باقابلیت، اهمیت بیشتری می‌یابد. از طرفی استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌تواند اثرات زیست‌محیطی زیادی ازجمله گرمایش زمین را به دنبال داشته باشد؛ به‌طوری‌که جهت جلوگیری از فاجعه‌ی زیست‌محیطی تغییرات آب و هوایی تا سال ۲۰۱۵ باید عمده مصرف گازهای هیدروکربن با منابع کم‌کربن جایگزین گردد؛ بنابراین می‌توان با به‌کارگیری سیستم‌های باقابلیت و با کارآیی بالا، علاوه بر مصرف کمتر منابع انرژی فسیلی، اثرات نامطلوب ناشی از آن‌ها را حتی‌المقدور کاهش داد. ازجمله مهم‌ترین سیستم‌های موجود در تأمین انرژی، سیستم‌های تولید پراکنده شامل سیستم‌های تولید برق و حرارت (CHP)و نیز تولید برق، حرارت و برودت (CCHP) می باشند که تولید سه گانه نیز نامیده می شوند. در واقع سیستم های CCHPبرای تولید قدرت و گرما بوده که می توانند با یک بیش از ۱۰۰ سال قدمت دارد اما این سیستم ها اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی بیشتر معطوف به ترکیب چیلرهای جذبی سیستم های تولید قدرت و نیروگاه ها بوده است. در دو دهه اخیر توسعه سیستم های حرارتی جذبی و کاهش هزینه های آن ها باعث افزایش به کارگیری سیستم های در ابعاد تجاری و توان های متوسط برای تولید برق، CCHP .گرمایش و سرمایش محلی شده است [5 - 9]

مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که سیستم‌های CCHP قابلیت ذخیره انرژی و کارایی بالایی و خصوصیات تولید آلاینده‌های آن‌ها پایین می‌باشد. همچنین تکنولوژی پیل سوختی به کار گرفته‌شده در این سیستم‌ها که در چند دهه اخیر به‌عنوان یکی از راهکارهای تولید انرژی مطرح‌شده است، اولین بار توسط دانشمند انگلیسی سِر ویلیام گرو در سال ۱۸۳۹ با سرمشق گرفتن از واکنش الکترولیز آب، طی واکنش معکوس و در حضور کاتالیست پلاتین ساخته‌شده است. واژه پیل‌سوختی» در سال ۱۸۸۹ توسط لودویک مند و چارلز لنجر به کار گرفته شد. آن‌ها نوعی پیل‌سوختی که هوا و سوخت زغال‌سنگ را مصرف می‌کرد ساختند. فصلی دیگر از تاریخچه تحقیقات پیل‌سوختی توسط فرانسیس بیکن از دانشگاه کمبریج انجام شد. او در سال ۱۹۳۲ اولین پیل‌سوختی قلیایی را که "Cell Bacon" نام گرفت اختراع کرد. بیکن در ۱۹۵۹ پیل‌سوختی با توان ۵ کیلووات را تولید نمود که می‌توانست نیروی محرکه یک دستگاه جوشکاری را تأمین نماید. مطالعات گوناگونی در زمینه سیستم‌های CCHPو پیل سوختی صورت گرفته است؛ به‌عنوان نمونه
Tozer Maidment و Tozer [۱۰] مدیریت انرژی یک سیستم CCHP با استفاده از یک چیلر جذبی را بررسی نمودند.
Medrano و همکاران [۱۲]بررسی اثرات محیطی اقتصادی و راندمان را برای سه سیستم CCHP که با محرک های جدید پیل سوختی دما بالا (HTFC) میکروتوربین و سلول های فتوولتائیک کار می‌کردند را برای چهار نمونه ساختمان عمومی (شامل ساختمان اداری کوچک، ساختمان اداری متوسط، بیمارستان و دانشکده)انجام دادند.

سیستم‌های CCHP

سیستم ها ی CCHP از یک منبع حرارتی برای ایجاد سرمایش استفاده می‌کند. این حرارت عمدتاً از گرمای اتلافی یک سیکل قدرت تأمین می‌گردد که می‌تواند در یک سیکل تبرید جذبی به‌عنوان محرک حرارتی در نظر گرفته شود؛ بنابراین استفاده از این گرمای اتلافی در نهایت منجر به کاهش مصرف انرژی اولیه و سوخت‌های فسیلی می‌شود.[۳]
شکل (۱) طرح کلی یک سیستم CCHPرانشان میدهد که شامل یک توربین گاز،و ژنراتور، بویلر بازیافت گرما (HRSG) و یک چیلر جذبی است. نیروی محرکه توربین گازی می‌تواند توسط گاز طبیعی تأمین گردد و کار مکانیکی حاصل به‌وسیله‌ی یک ژنراتور به برق تبدیل می‌شود و چیلر جذبی به‌وسیله‌ی گرمای بازیافتی از بویلر بازیافت گرما عمل سرمایش را در تابستان و گرمایش را در زمستان فراهم می‌نماید[۳]
بخش مهم دیگر سیستم CCHP سیکل تبرید جذبی می باشد که از گرمای هدر رفته بخش های دیگر می تواند برای ایجاد سرمایش و گرمایش استفاده نماید. هرچند ممکن است در بعضی مواقع چیلر با محرک الکتریکی و یا چیلرهایی که با موتور احتراق داخلی کار میکنند و به محرک اولیه متصل میشوند نیز استفاده شود. [۳]



شکل (۱) طرح کلی یک سیستم CCHP [۳]

کاهش CCHP از مزایای مهم سیستمهای آلاینده‌ها است که در بعضی محرک‌های اولیه این امر بیشتر به چشم می‌خورد. ازجمله در پیل‌های سوختی، که در آن‌ها به علت عدم احتراق، تولید CO2 و NOx به کمترین مقدار در مقایسه با سایر محرکهای اولیه میرسد. چندین روش برای دسته‌بندی محرک‌های اولیه وجود دارد که میتوانند بر اساس سوخت مصرفی، جزئیات فنی، محدوده ظرفیت و ... دسته‌بندی شوند. [۱۴]

محرکه اولیه سیستم‌های CCHP

در سیستم‌های CCHP عامل ایجاد قدرت در سیکل، محرک اولیه (Prime Mover) نامیده می شود که میتواند توربین گاز، توربین بخار، موتورهای احتراق داخلی، میکروتوربین (Micro turbine)باشد.

هر یک از این (Fuel Cell) و پیل سوختی نمونه ها می توانند خصوصیات و محدودیت های متفاوتی بر اساس تولید برق، ایجاد آلاینده ها شرایط اقلیمی و ... داشته باشند.

توربین‌های گازی: عمدتاً در سیستم‌های تولید پراکنده در مقیاس بزرگ استفاده می‌شود و اندازه‌های کوچک‌تر از 1MW به علت بازده الکتریکی پایین و هزینه اولیه بالا به ازای واحد برق تولیدی چنان اقتصادی نیست. [۹]

توربین‌های بخار: توربین های بخار بیشترین کاربرد را در نیروگاه‌ها و صنایع دارند و می‌توانند در کنار یک بویلر با سوخت‌های متنوع به کار روند. همچنین عمر آن‌ها بالا بوده و با توجه به هزینه‌های کارکرد و نگهداری، مناسب و قابل‌اطمینان می‌باشند؛ اما بعضی از مشکلات ازجمله بازده الکتریکی پایین، زمان راه‌اندازی آهسته و عملکرد ضعیف‌تر در بارهای جزئی، کاربرد آن‌ها را محدودتر می‌نماید و بنابراین کاربرد آن‌ها عمدتاً در سیستم‌های بزرگ می‌باشد. [۹]

موتورهای احتراقی داخلی رفت و برگشتی: دو نوع موتور جرقه‌ای و تراکمی به‌عنوان محرک‌های اولیه در سیستم‌های CCHP می تواند استفاده شود. این موتور ها با هزینه‌های اولیه پایین‌تری نسبت به سایر محرک‌های اولیه می‌باشند. زمان راه‌اندازی آن‌ها سریع بوده و در بارهای جزئی عملکرد خوبی دارند و بنابراین به‌عنوان محرک‌های اولیه با انعطاف‌پذیری بالا شناخته می‌شوند. این موتورها عمدتاً در سیستم‌هایی با ظرفیت کمتراز MW1 به کار گرفته می‌شوند. از معایب این سیستم ها ارتعاش بالای آن‌ها بوده و نیز تعداد زیاد قطعات متحرک، هزینه‌های تعمیر و نگهداری را بالا می‌برد. از طرفی آلاینده‌های زیاد خصوصاً NOx از معایب عمده این سیستم ها می باشد. [۹]

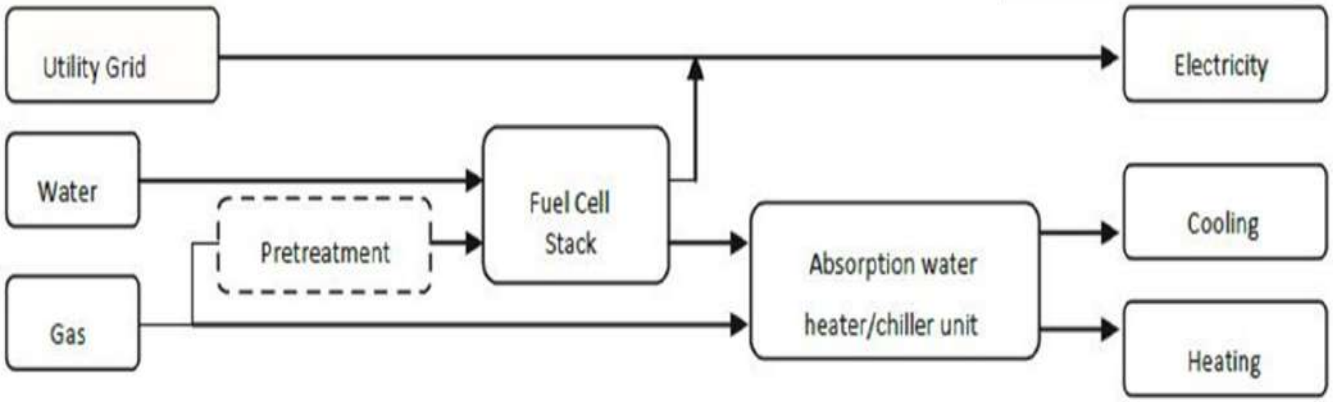
میکروتوربین‌ها: تکنولوژی این تجهیزات مشابه توربین‌های گازی بوده، اما ازنظر مقیاس، کوچک‌تر می‌باشند و می‌توانند با سوخت‌های متنوعی شامل گاز طبیعی، گازوئیل و بنزین نیز به کار روند. قطعات متحرک آن‌ها کم بوده و روان کاری کمتری نیاز دارند. هرچند سرعت گردش آن‌ها بسیار بالا می‌باشد. همچنین به علت دمای احتراق پایین آن‌ها NOx کمتری تولید می نماید و سطح ایجاد سروصدا در آن‌ها نسبت به موتورهای با ابعاد مشابه کمتر می‌باشد. اما هزینه‌های اولیه آن‌ها نسبت به موتورهای احتراقی بالا می‌باشد. اشکال دیگر آن‌ها بازده الکتریکی پایین و حساس بودن آن‌ها به شرایط محیطی می‌باشد. میکروتوربین‌ها می‌توانند در واحدهای تولید پراکنده‌ی انرژی و کاربردهای صنعتی، تجاری و مسکونی استفاده شوند. [۹]

پیل‌های سوختی: پیل‌های سوختی تولیدکننده قدرت فشرده و بی‌صدا بوده و فاقد قطعات متحرک می‌باشند که هیدروژن و اکسیژن را برای تولید برق مصرف می‌کنند و هم‌زمان می‌توانند گرما را برای کاربردهای متنوعی تولید نمایند. پیل‌های سوختی بازده الکتریکی بالایی در محدوده وسیعی از بازه‌ها دارند و به‌کارگیری آن‌ها علاوه بر صرفه‌جویی منابع انرژی فسیلی و کاهش هزینه مربوط به استفاده از حامل‌های انرژی میزان آلاینده‌ها و نیز گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد. [۹]

پیل سوختی و طرز کار آن

پیل سوختی وسیله‌ای است که انرژی شیمیایی سوخت را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. عملکرد پیل سوختی مانند باتری نیست که انرژی را ذخیره کند، بلکه پیل سوختی حالتی از انرژی را به حالتی دیگر تبدیل می‌کند، به‌طوری‌که در این تبدیل، مواد داخل پیل مصرف نمی‌شوند. گاز هیدروژن به دلیل تمایل واکنش‌دهندگی بالا، فراوانی و عدم آلایندگی محیط‌زیست، به‌عنوان سوخت ایده‌آل در پیل سوختی مورداستفاده قرار می‌گیرد [۱۹]
هر پیل سوختی دارای دو الکترود (آند و کاتد) و یک الکترولیت مابین این دو الکترود و غشا به‌منظور جدا کردن دو بخش پیل می‌باشد. در قطب آند، هیدروژن بر روی یک کاتالیزور واکنش داده و تولید یک یون با بار مثبت و الکترون با بار منفی می‌کند [۱۹]
پروتون به وجود آمده، از محیط الکترولیت گذر کرده، حال‌آنکه الکترون در فضای مدار خارجی حرکت می‌کند و تولید جریان می‌نماید. در قطب کاتد، اکسیژن با یون

و الکترون واکنش نشان داده و تولید آب و حرارت می‌نماید. این سلول به تنهائی ۰/۷ ولت نیروی محرکه الکتریکی تولید می‌کند که برای روشنایی یک لامپ کوچک کافی است. اگر این پیل‌ها به‌صورت سری قرار گیرند قادر .به تولید برق با توان چندین مگاوات می‌باشند در شکل (۲) طرح کلی یک سیستم CCHP با محرک اولیه پیل سوختی نشان داده شده است



شکل (۲) طرح کلی سیستم
CCHP
با محرک اولیه پیل سوختی

انواع پیل‌های سوختی

پیل‌های سوختی را به‌طورمعمول، بر اساس نوع الکترولیتی که در آن به کار می‌رود، به پنج دسته طبقه‌بندی می‌کنند.

پیل سوختی اسید فسفریک
پیل سوختی غشا پروتونی (پلیمری)
پیل سوختی قلیایی
پیل سوختی کربنات مذاب
پیل سوختی اکسید جامد

از نگاهی دیگر، طبقه‌بندی پیل‌های سوختی بر اساس دمایی است که پیل سوختی در آن کار می‌کند. بر این اساس پیل‌های سوختی به دو دسته‌ی کلی «پیل سوختی دمابالا» و «پیل سوختی دماپایین» تقسیم‌بندی می‌شوند. در جدول زیر دمایی که انواع پیل‌های سوختی در آن کار می‌کنند، به همراه نوع الکترولیت و نام اختصاری آن‌ها نشان داده‌شده است.

نوع پیل سوختی	نام اختصاری	الکترولیت	دمای کارکرد (^0C)
پیل سوختی پلیمری	PEMFC	نفیون (نوعی پلیمر)	80-100
پیل سوختی قلیایی	AFC	پتاس	80-100
پیل سوختی اسید فسفریک	PAFC	اسید فسفریک	200-220
پیل سوختی کربنات مذاب	MCFC	نمک کربنات مذاب	650
پیل سوختی اکسید جامد	SOFC	YSZ (نوعی سرامیک)	1000

ویژگی‌های پیل‌های سوختی [۱۹]

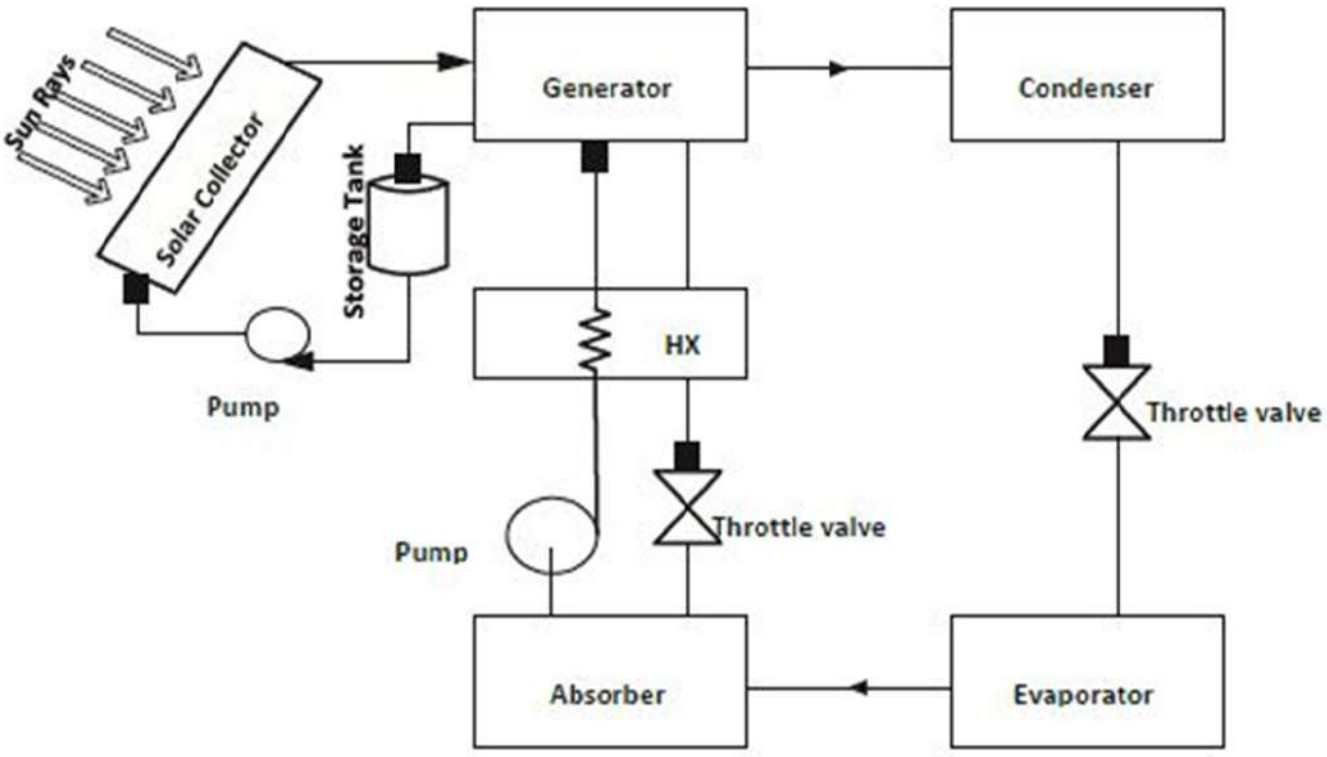
بررسی عملکرد سیستم سرمایشی

تفاوت عمده سیستم‌های CHP و CCHP با اضافه شدن یک سیکل برای تامین سرمای است و در این زمینه مناسب‌ترین روش استفاده از سیستم‌هایی است که از گرمای اتلافی برای تأمین این نیاز استفاده می‌نمایند و بدین‌وسیله عملکرد CCHP .تا حد قابل توجهی افزایش می یابد عمده‌ترین این تجهیزات، چیلرهای جذبی و جذب سطحی می‌باشند. این سیستم‌ها با گرمای بخار، آب داغ یا گاز داغ اگزوز حاصل از محرک‌های اولیه به حرکت درمی‌آیند. همچنین چیلرهای تراکمی و چیلرهای متحرک با موتورهای حرارتی نیز می‌توانند برای تأمین سرمایش در یک سیکل استفاده شوند. [۳,۴,۹]

چیلرهای جذبی

چیلرهای جذبی یکی از مهمترین سیستم‌هایی هستند که از حرارت برای ایجاد سرمایش استفاده می‌کنند. برخلاف سیستم‌های تراکمی بخار که از کمپرسور برای افزایش فشار استفاده می‌شود، در یک سیکل تبرید جذبی از ترکیب جذب‌کننده یا ابزوربر، ماده جاذب، ژنراتور، پمپ بازیاب و شیر انبساط استفاده می‌شود، شکل (۳) طرح یک سیکل تبرید جذبی با محرک اولیه انرژی خورشیدی را نشان می‌دهد. [۱۵,۹]

شکل (۳) طرح یک سیکل تبرید جذبی با محرک اولیه انرژی خورشیدی[۱۵]



فرایندهای شیمیایی و تولید توان در پیل سوختی

در یک پیل سوختی هیدروژنی، هیدروژن به‌عنوان سوخت با اکسیژن ترکیب‌شده و اکتریسیته، آب و حرارت تولید می‌نماید که فرایند آن به شکل زیر است [۱۶,۹]

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

بازده پیل سوختی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta_{FC} = \frac{W_{FC}}{\dot{m}_f \cdot LHV}$$

که در این رابطه η_{FC} بازده الکتریکی پیل سوختی W_{FC} توان الکتریکی پیل $\dot{m}_f$ نرم جرم سوخت و LHV ارزش حرارتی پایین سوخت می باشد همچنین بازده پیل سوختی را می توان بر حسب ارزش حرارتی بالا نیز ارائه کرد در هر سلول پیل سوختی با ورود گاز هیدروژن از طرف آند و طی واکنش‌های الکتروشیمیایی در حضور کاتالیست، گاز هیدروژن به یون هیدروژن (H^+) و الکترون‌های آزاد تجزیه می‌شود که در رابطه زیر نشان داده‌شده است .

$$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$$

یون‌های هیدروژن از فضای الکترولیتی گذر کرده و به کاتد منتقل می‌شوند و در آنجا با اکسیژن واکنش می‌دهند و الکترون‌ها از مداری خارجی در اثر اختلاف پتانسیل شارش کرده و جریان الکتریسیته ایجاد می‌نمایند که ولتاژ آن برای یک سلول به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$V_{Out} = V_{Rev} + V_{Loss}$$

که در آن V_{Out} لتاژ کارکرد خروجی هر سلول پیل سوختی بوده و V_{ev} ولتاژ فرآیند برگشت پذیر و V_{Loss} تلفات ولتاژ ناشی از برگشت ناپذیری ها می باشد. در نتیجه توان الکتریکی تولیدی هر سلول پیل سوختی برحسب وات به صورت زیر تعریف می شود:

$$W = V_{Out} \cdot I_{Cell}$$

توان الکتریکی خروجی برای کل پیل سوختی که از N سلول تشکیل‌شده است از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_{FC} = N_{Cell} \cdot V_{Out} \cdot I_{Cell}$$

که I_{Cell} شدت جریان الکتریکی تولیدی در هر سلول و N_{Cll} تعداد سلول های موجود در پیل می باشد.

عملکرد انواع پیل‌های سوختی در سیستم‌های CCHP

پیل سوختی غشاء پروتونی (PEMFC)

پیل‌های سوختی غشاء پروتونی دارای غشاء پلیمری جامد هستند که در حال حاضر عمدتاً غشاء Nafionدر این پیل سوختی به کاربرده می شود و به شکل یک ورقه باریک منعطف است. این غشاء، کوچک و سبک بوده و در دمای پایین کار می‌کند (دمای کارکرد بهینه در حدود ۱۰۰ـ۸۰ درجه سانتی‌گراد است). سایر الکترولیت‌های جامد در دمای بالا کار می‌کنند [۱۹] برای سرعت بخشیدن به واکنش، یک کاتالیست پلوتونیومی در دو سطح غشاء الکترولیت استفاده می‌شود که این کاتالیست موجب افزایش قیمت پیل سوختی می‌شود؛ اما به دلیل جامد بودن الکترولیت پیل سوختی و همچنین انعطاف‌پذیر بودن این الکترولیت، امکان شکستن و یا ترک خوردن در آن کم است و این مشخصه، پیل سوختی PEMرا برای کاربرد های خانگی و کاربرد های حمل‌ونقلی مناسب می‌کند

در پیل سوختی نوع PEM اتم های هیدروژن درآند یونیزه ، می‌شوند و الکترون‌های آن‌ها جدا می‌شود. یون‌های هیدروژن که شامل بار مثبت هستند به سطح غشاء خلل‌دار نفوذ می‌کنند و به سمت کاتد می‌روند. الکترون‌های جداشده نمی‌توانند از این غشاء عبور کنند و از یک مدار خارجی عبور می‌کنند و موجب تولید برق می‌شوند. در کاتد، الکترون‌ها و پروتون‌های هیدروژن و اکسیژن موجود در هوا باهم ترکیب می‌شوند و آب را تشکیل می‌دهند. پیل PEMنیازمند هیدروژن خالص است؛ بنابراین باید از یک رفورمر در خارج از پیل سوختی استفاده کنیم تا احتمال به وجود آمدن CO و در نتیجه مسمومیت کاتالیست را کاهش دهیم.

مزایا:

دمای پایین و شروع به کار سریع

عدم حساسیت به کربن دی اکسید

امکان استفاده از گازهای مشتق از هیدروکربن به عنوان سوخت

امکان استفاده از گاز های مشتق از هیدروکربن به عنوان سوخت

معایب:

حساسیت به منواکسید کربن

به کارگیری فلزات کمیاب در ساختمان پیل

پیچیده بودن سیستم مدیریت آب در مجموعه غشا والکترود

پیل سوختی قلیایی (AFC)

پیل سوختی قلیایی با هیدروژن و اکسیژن خالص کار می‌کند و از محلول هیدروکسید پتاسیم در آب به‌عنوان الکترولیت استفاده می‌کنند و الکترود آند آن از جنس نیکل و الکترود کاتد آن از جنس اکسید نیکل لیتیمی شده می‌باشد. درجه حرارت کارکرد این پیل پایین بوده و بین ۱۰۰ـ۸۰ درجه سانتی‌گراد است در این پیل سوختی، یون‌های هیدروکسیل OH^- از سمت کاتد به آند رفته و در آند گاز هیدروژن با یون‌های هیدروکسیل واکنش داده و آب و الکترون را ایجاد می‌کند. الکترون‌های به وجود آمده در آند توسط یک مدار خارجی

توان الکتریکی تولید می‌کند و از طریق این مدار خارجی، الکترون‌ها به کاتد بازمی‌گردند. الکترون‌ها در کاتد با اکسیژن و آب واکنش می‌دهند و موجب تشکیل یون‌های هیدروکسیل بیشتری می‌شوند. این یون‌ها درون الکترولیت نفوذ کرده و واکنش ادامه پیدا می‌کند پیل سوختی قلیایی از میزان آلودگی کمی برخوردار است و به خاطر احتمال واکنش‌های ناخواسته در این پیل نیاز به هیدروژن خالص‌شده داریم و درصورتی‌که هیدروژن خالص نباشد موجب واکنشهای شیمیایی اضافی و ایجاد کربنات جامد می‌شود که این ماده در واکنش‌های پیل سوختی اختلال ایجاد میکند. مشکل دیگر پیل سوختی قلیایی میزان زیاد پلوتونیم است که به‌عنوان کاتالیست از آن استفاده میشود. این کاتالیست قیمت زیادی دارد و پیل سوختی قلیایی را برای کاربردهای عادی نامناسب میکند.

مزایا

عدم نیاز به فلزات کمیاب

بالا بودن راندمان

معایب

حساسیت شدید به دی اکسید کربن

الزامی بودن استفاده از هیدروژن خالص

پیل سوختی اسید فسفریک (PAFC)

پیل سوختی اسید فسفریک در دمای حدود ۲۲۰ـ۲۰۰ درجه سانتیگراد کار می‌کند و از الکترولیت اسید فسفریک استفاده می‌کند. الکترودهای پیلهای سوختی اسید فسفریک از جنس پلاتین میباشند که بر روی سطح پودر کربن فعال نشانده شده‌اند. در این نوع پیل سوختی از سوختهای بیشتری میتوان استفاده کرد. عملکرد پیل سوختی اسید فسفریک به‌این‌ترتیب است که یونهای هیدروژن مثبت توسط فضای الکترولیتی از الکترود آند به الکترود کاتد رفته و الکترونهای به وجود آمده در آند از یک مدار خارجی گذر کرده، جریان الکتریسیته را ایجاد مینمایند و به کاتد میروند. در کاتد الکترونها، یونهای هیدروژن و اکسیژن باهم واکنش داده و آب را به وجود میآورند که با فشار به بیرون پیل سوختی هدایت میشود. باوجود کاتالیست پلوتنیم، سرعت واکنش بالا میرود. این نوع پیل سوختی توانایی تحمل دمای بالای دمای جوش آب را دارد. همچنین اجزای آن باید مقاومت بالایی داشته باشند تا در مقابل خورندگی اسید مقاومت کنند [۱۷,۱۹] هیدروژن موردنیاز برایPAFCمی تواند یک رفورمر خارجی از یک سوخت هیدروکربنی به وجود بیاید درصورتی‌که سوخت موردنظر گازوئیل باشد، سولفور آن باید جدا شود. زیرا .سولفور به کاتالیست الکترودها صدمه میزند می‌توان از گرمای به وجود آمده‌ی این نوع پیل سوختی در سیستم‌های CHP و CCHPبرای تولید همزمان برق،گرما و سرما استفاده نمود.

مزایا

توانایی تحمل ۱ تا ۲ درصد منواکسید کربن

امکان استفاده در سیستم های CHP وCCHP

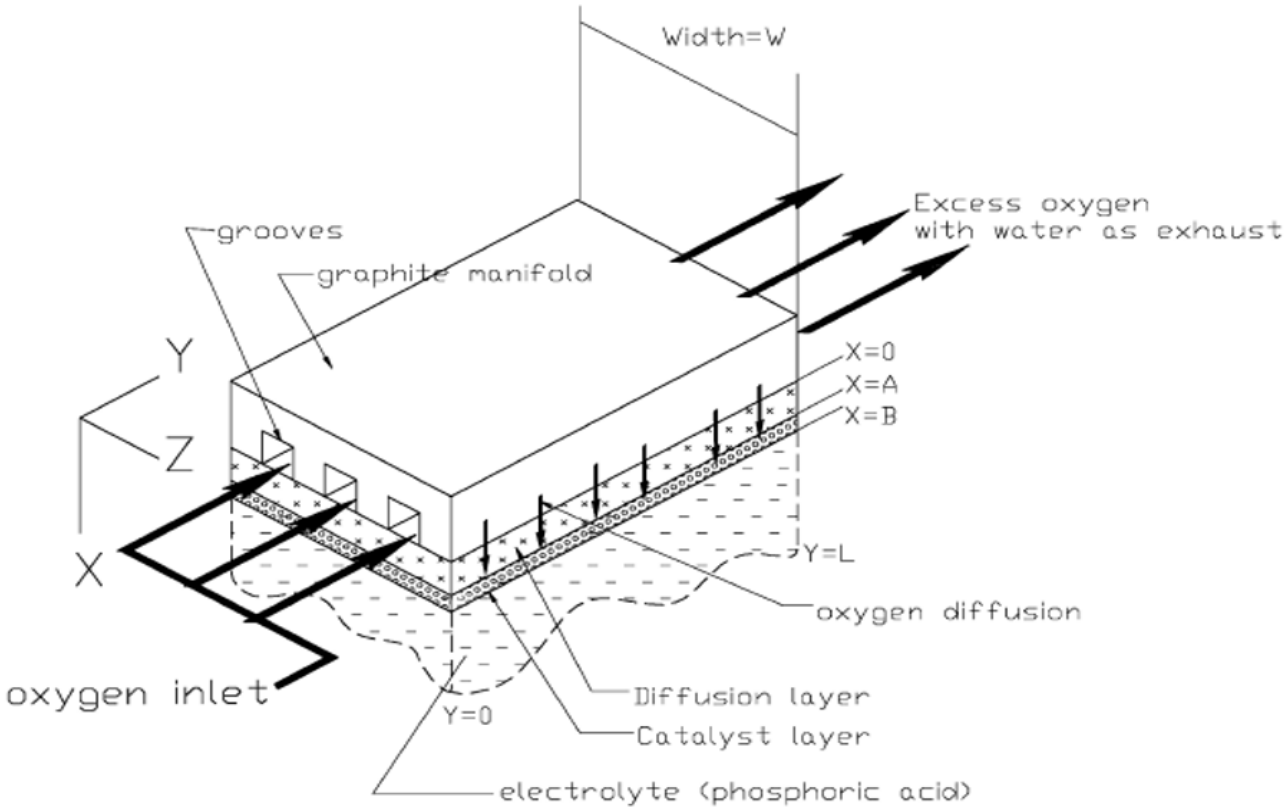
سادگی سیستم مدیریت آب و دما

ثبات الکترولیت در محیط الکتروشیمیایی

معایب

کم بودن سرعت احیاء اکسیژن

حساسیت به H_2S



شکل (۴) پیل سوختی اسید فسفریک (PAFC) [۱۷]

پیل سوختی کربنات مذاب (MCFC)

در پیل سوختی کربنات مذاب، الکترولیت از ترکیب ۳۲٪ کربنات پتاسیم و ۶۸٪ درصد کربنات لیتیم میباشد. الکترود کاتد آن از جنس اکسید نیکل لیتیمی شده و الکترود آند از جنس آلیاژ نیکل کروم (۲ تا ۱۰ درصد کروم) است و درجه حرارت کارکرد آن در حدود ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که جزو پیل‌های سوختی با دمای کارکرد بالا محسوب می‌شود. درآند، هیدروژن با یون‌ها واکنش می‌دهد و دی‌اکسیدکربن، آب و الکترون تشکیل می‌دهد. الکترون‌ها توسط یک مدار خارجی از آند به کاتد منتقل میشوند و برق تولید می‌کنند. اکسیژن هوا و دی‌اکسیدکربن از آند به کاتد رفته و با الکترون‌ها واکنش داده و یون‌های CO_3^{-2} را به وجود می آورند و الکترولیت را سرشار از یون های CO_3^{-2} میکنند. [۱۹]

پیل سوختی کربنات مذاب دمابالا می‌توانند هیدروژن را از سوخت‌های مختلف توسط رفورمر داخلی یا خارجی استخراج کند. به‌علاوه حساسیت کمتری نسبت به مسمومیت منوکسیدکربن دارند و با کاتالیست‌های نیکلی بسیار خوب کار می‌کنند و ارزان‌تر از پلوتونیم هستند. از گرمای خروجی پیل سوختی می‌توان برای کارهای صنعتی و صنایع وابسته به کشاورزی استفاده نمود. پیل سوختی کربنات مذاب در مقایسه با اکسید جامد دارای دو مشکل است؛ یکی پیچیدگی کار با الکترولیت مایع و دیگری باقیمانده‌های واکنش‌های شیمیایی در پیل سوختی کربنات مذاب است.

در واکنش‌های آند از یون‌های کربنات الکترولیت استفاده می‌شود؛ لذا نیاز است از طریق تزریق دی‌اکسیدکربن در کاتد این مقدار جبران گردد. [۱۹]

مزایا

امکان استفاده در سیستم های CCHP و CHP

معایب

حساسیت زیاد به سولفور
حل شدن اکسید نیکل
احتیاج به چرخه دی اکسید کربن

پیل سوختی اکسید جامد (SOFC)

پیل سوختی اکسید جامد از یک الکترولیت سرامیکی (ترکیبی از زیرکنا و ایتریا با فرمول $Zr_{0.92}Y_{0.08}O_{1.96}$ به جای یک الکترولیت مایع استفاده میکند الکترود آند، آلیاژی از نیکل و زیرکنا و الکترود کاتد از جنس منگنیت لانتانیم است. درجه حرارت کاری این پیل در حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. الکترولیت جامد با الکترودها که از مواد متخلخل مخصوصی تشکیل‌شده‌اند پوشانده می‌شوند. در دمای بالای عملکرد این پیل سوختی، یون‌های اکسیژن (با بار منفی) از شبکه کریستالی عبور می‌کنند. [۱۸,۱۹] وقتی یک سوخت گازی حاوی هیدروژن از آند عبور کند، یک جریان شارژ شده منفی شامل یون‌های اکسیژن از الکترولیت عبور می‌کند تا سوخت را اکسید کنند. اکسیژن ذخیره‌شده در کاتد معمولاً از هوا گرفته می‌شود. اکترون‌های ایجادشده در آند از یک مدار خارجی عبور کرده و به کاتد می‌روند که این عمل باعث ایجاد جریان الکتریسیته می‌شود. همچنین پیل‌های سوختی نوع اکسید جامد نیاز به رفورمر خارجی ندارند. [۱۸,۱۹]

مزایا

عدم حساسیت به منوکسیدکربن
قابلیت استفاده از سوخت‌های گوناگون
عدم نیاز به هیدروژن خالص
عدم نیاز به سوخت مجزا
امکان استفاده مستقیم از گاز طبیعی به عنوان سوخت
قابلیت استفاده در سیستم‌های CCHP و CHP
عدم استفاده از الکترولیت مایع
عدم استفاده از فلزات گران قیمت وکمیاب در ساخت

معایب

طولانی بودن زمان شروع به کار
شدید بودن خوردگی و خرابی اجزاء به دلیل کار کردن در دماهای بالا
گران‌قیمت بودن برخی از اجزاء

مزایای استفاده از پیل سوختی به‌عنوان محرک اولیه در سیستم‌های CCHP

محدوده وسیع ظرفیت: پیل‌های سوختی از سلول‌های کوچک در اندازه‌های مختلف ساخته می‌شوند که هر یک از آن‌ها می‌تواند از KW2 تا MW10 توان تولید نماید که این امر محدوده وسیعی از ظرفیت‌ها را فراهم می‌نماید که ترکیب آن‌ها تا ظرفیت‌های چند مگاوات را میسر خواهد کرد. بازده حرارتی در آن‌ها وقتی با سیستم‌های تولید پراکنده ترکیب شوند می‌تواند در محدوده ۶۵٪ تا ۸۵٪ قرار گیرد. گرمای تولیدی می‌تواند برای کاربردهای گرمایش، آب گرم مصرفی و سرمایش به کار رود. [۱۹]

کاربرد مناسب در بارهای جزئی: بازده پیل سوختی در بارهای کم و جزئی، بالا می‌باشد که این امر بازده کل سیستم را در مقایسه با سیستم‌های دیگر در شرایط مناسب‌تری نگه می‌دارد.

توان باکیفیت بالا: توان الکتریکی حاصل از پیل سوختی بالا و تلفات آن پایین می‌باشد

قابلیت اطمینان و عمر بالا: ازآنجاکه اجزای متحرک در پیل‌های سوختی بسیار کم بوده و بیشتر مربوط به تجهیزات جانبی و کمکی می‌باشد قابلیت دوام و عمر آن‌ها بالا است.

آلودگی کم: تولید آلاینده‌ها در پیل سوختی بسیار کم است و فقط در فرآیند تبدیل سوخت اولیه به هیدروژن در آن‌هایی که با سوخت‌های غیر هیدروژنی کار می‌کنند آلاینده‌های کمی تولید می‌شود. [۱۹]

بازده بالا: بازده پیل‌های سوختی در انواع مختلف متغیر است که بستگی به نوع و طراحی آن‌ها دارد؛ اما بازده الکتریکی در محدوده ۳۰٪ تا ۵۰٪ قرار می‌گیرد. [۱۹]

کارکرد آرام و کم‌صدا: به علت سروصدای پایین آن‌ها داخل ساختمان نیز می‌تواند نصب شود.

تنوع سوخت مورداستفاده: سوخت اصلی پیل سوختی، هیدروژن است که می‌تواند بیو گاز، متانول و LPG، از گاز طبیعی سوخت‌های کربنی دیگر تأمین شود که این امر کارایی آن‌ها را بالا می‌برد. [۱۹]

کاربرد سیستم‌های اولیه پیل سوختی در کشاورزی و صنایع وابسته به آن با محرک CCHP

با توجه به محصولات سیستم CCHP که شامل گرمایش، سرمایش و الکتریسیته است، می‌توان در زمینه‌های مختلف بخش کشاورزی از این سیستم بهره لازم را کسب نمود

به‌کارگیری سیستم سرمایشی CCHP در سردخانه های محصولات کشاورزی

به کارگیری سیستم گرمایش و سرمایش CCHP به عنوان تهویه مطبوع در سالن های پرورش طیور

استفاده از سیستم گرمایشیCCHPدر خشک کن ها و جوجه کشی ها

بهره بردن از جریان الکتریسیته تولیدی در تمام سیستم های CCHP به عنوام منبع انرژی مورد نیاز در بخش کشاورزی که سهم به سزایی در مصرف انرژی کل کشور را دارا است.

نتیجه‌گیری

ازآنجایی‌که سیستم‌های CCHPقابلیت تولید هم زمان برق،گرمایشو سرمایش را دارند، می‌توانند به‌عنوان یکی از مؤثرترین سیستم‌ها برای مکان‌های عمومی، تجاری، صنعتی و به‌خصوص بخش کشاورزی که سهم زیادی در مصرف انرژی دارد، استفاده شوند. استفاده از محرک‌های اولیه جدید می‌تواند باعث گسترش و توسعه این سیستم‌ها گردد. با توجه به تکنولوژی مناسب پیل سوختی و مزایای ذکرشده‌ی آن، استفاده از پیل سوختی به‌عنوان محرک اولیه‌ی سیستم‌های CCHPتوصیه میشود. با این حال استفاده از پیل سوختی هزینه اولیه بالایی دارد که با پیشرفت تکنولوژی در آینده و ساخت مواد مناسب‌تر و با هزینه کمتر می‌توان هزینه اولیه مربوط به پیل سوختی را کاهش داد. استفاده از سوخت‌های متنوع نیز از مهم‌ترین مزایای پیل سوختی می‌باشد. با توجه به انواع پیل‌های سوختی ذکرشده و مزایای آن‌ها از دو نوع سیستم پیل سوختی کربنات مذاب و اکسید جامد که دارای قابلیت کارکرد در دمای بالاتری هستند می‌توان به‌عنوان محرک اولیه در سیستم‌های CCHPاستفاده نمود.

مراجع

[1] Chicco G., Mancarella P., "Trigeneration primary energy saving evaluation for energy planning and policy development", Energy Policy, 2007, 35, PP 6132–44.

[2] Rentizelas A., Karellas S., Kakaras E., Tatsiopoulos I., "Comparative techno‌economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications", Energy Conversion and Management, 2009, 50, PP 674–81.

[3] Deng J., Wang RZ., Han GY., "A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling, heating and power systems", Progress in Energy and Combustion Science, 2011, 37, PP 172–203.

[4] Kavvadias KC., Tosios AP., Maroulis ZB., "Design of a combined heating, cooling and power system Sizing, operation strategy selection and parametric analysis", Energy Conversion and Management, 2010, 51, PP 833–45.
nomics of a trigeneration system in a hospital", Applied Thermal Engineering, 2006, 26, PP 680–7.