



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده فنی مهندسی

مهندسی برق - قدرت

عنوان :

بررسی سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت (CHP)

با نگاهی به میکروتوربین های گازی

استاد راهنما :

نام و نام خانوادگی دانشجو :

فهرست مطالب

عنوان مطالب	شماره صفحه
چکیده	۱
مقدمه	۲
فصل اول : مفاهیم و کلیات	۵
تولید همزمان برق و حرارت (CHP) چیست؟	۶
۱-۱- تولید همزمان برق و حرارت (Cogeneration)	۱۱
۱-۲- تولید مشترک تکنولوژی درجهت استفاده بهینه از انرژی	۱۲
۱-۳- موارد کاربرد تولید مشترک برق و حرارت	۱۳
۱-۳-۱- بخش صنعتی	۱۴
۱-۳-۲- بخش اداری	۱۵
۱-۳-۳- بخش تجاری	۱۵
۱-۳-۴- بخش خانگی	۱۵
۱-۴- فواید تولید همزمان برق و حرارت	۲۱
۱-۵- نگاهی گذرا به تکنولوژیهای متداول سیستم تولید مشترک برق و حرارت	۲۴
فصل دوم : بررسی تولید همزمان برق و حرارت توسط مینی توربینهای گازی	۲۵
۱-۱- مقدمه	۲۶
۱-۲- توربین های بخار	۲۸

۲۹	۳-۲- موارد کاربرد
۳۰	۴-۲- شرح فناوری توربین های گاز
۳۰	۱-۴-۲- فرآیند و اجزای اصلی
۳۰	۲-۴-۲- انواع توربین گاز
۳۱	۵-۲- تجهیزات الکتریکی
۳۴	۶-۲- بازدهی الکتریکی تولید همزمان از طریق توربینهای گازی با سیکل بسته
۳۶	۶-۱- فشار سوخت
۳۷	۶-۲- تاثیر شرایط محیط بر روی کارکرد تولید همزمان از طریق توربینهای گازی
۳۷	۶-۳- بازیافت حرارت از توربینهای گازی
۴۱	۶-۴- بهبود بازدهی و کارکرد
۴۲	۷-۲- چیلرهای جذبی
۴۳	۸-۲- قیمت کل تولید همزمان از طریق توربینهای گازی
۴۵	۸-۱- تعمیر و نگهداری از تجهیزات تولید همزمان در مینی توربینها
۴۶	۹-۲- سوختها مورد استفاده در تولید همزمان از طریق توربینهای گازی
۴۷	۹-۱- قابلیت دستری بودن
۴۷	۱۰-۲- آلایندههای گازهای خروجی
۵۰	۱۱-۲- مطالعه موردی: مجتمع بیمارستانی شهر می سی سی پی
۵۵	فصل سوم : بررسی تولید همزمان برق و حرارت توسط موتورهای پیستونی
۵۶	۱-۳- مقدمه
۵۸	۲-۳- موارد کاربرد موتورهای پیستونی

۵۹	۳-۳- شرح فناوری موتورهای پیستونی
۶۰	۴-۳- مشخصه‌های عملکردی موتورهای پیستونی
۶۲	۴-۱- بازده موتورهای پیستونی
۶۲	۴-۲- هزینه سرمایه‌گذاری موتورهای پیستونی
۶۲	۴-۳- تعمیر و نگهداری موتورهای پیستونی
۶۲	۴-۴- تولید انرژی حرارتی در موتورهای پیستونی
۶۳	۴-۵- پتانسیل CHP در موتورهای پیستونی
۶۵	۵-۳- انتشار آلاینده‌ها
۶۷	۶-۳- مطالعه موردی
۶۷	۶-۱- مشخصات فنی سیستم تولید همزمان
۶۸	۶-۲- اطلاعات اقتصادی
۶۹	۶-۳- آنالیز اقتصادی پروژه
۷۰	۶-۴- نتایج

۷۲	فصل چهارم : بررسی تولید همزمان برق و حرارت در میکروتوربین‌ها
۷۲	۱-۴- مقدمه
۷۸	۲-۴- موارد کاربرد
۷۹	۳-۴- شرح فناوری میکروتوربین‌ها
۸۰	۴-۴- مشخصه‌های عملکردی
۸۲	۴-۱- پتانسیلهای موجود برای CHP
۸۶	۴-۵- آلاینده‌های گازهای خروجی

۴-۶-۱- تشریح سایت	۸۸
۴-۶-۲- ویژگیهای سیستم CHP نصب شده	۸۸
۴-۶-۳- آنالیز انرژی- اقتصادی پروژه	۸۹
۴-۶-۴- نتایج	۸۹
فصل پنجم : بررسی تولید همزمان برق- حرارت در پیل های سوختی	۹۰
۱-۵- مقدمه	۹۱
۲-۵- موارد کاربرد همزمان برق- حرارت در پیل های سوختی	۹۳
۳-۵- شرح فناوری پیل های سوختی	۹۴
۳-۵-۱- فرایند و اجزای اصلی پیل های سوختی	۹۵
۴-۵- مشخصات عملکردی پیل های سوختی	۹۷
۵-۵- انتشار آلایندهها	۹۹
۵-۶- چشم انداز پیلهای سوختی	۹۹
۷-۵- مطالعه موردی	۱۰۱
۷-۵-۱- سیستم برق و گاز	۱۰۱
۷-۵-۲- سیستم تولید همزمان	۱۰۲
۷-۵-۳- آنالیز اقتصادی	۱۰۲
۷-۵-۴- انرژی مصرفی	۱۰۳
فصل ششم : اثرات تولید همزمان برق و حرارت	۱۰۴

۱۰۵	۱-۶ - مقدمه
۱۰۵	۲-۶ - تاثیر تولید همزمان بر میزان مصرف انرژی
۱۰۶	۳-۶ - تاثیر تولید همزمان بر صنعت برق
۱۰۶	۴-۶ - اثرات زیست محیطی
۱۰۶	۴-۱-۶ - تاثیر بر کیفیت هوا، آب و خاک
۱۰۷	۴-۲-۶ - سروصدا
۱۰۸	۴-۳-۶ - تاثیرات تولید همزمان بر کیفیت هوا

۱۱۱	فصل هفتم : کاربردهای تولید همزمان برق و حرارت
۱۱۲	۱-۷ - مقدمه
۱۱۲	۲-۷ - کاربرد سیستمهای تولید همزمان بصورت منطقه‌ای
۱۱۳	۳-۷ - کاربردهای صنعتی تولید همزمان
۱۱۴	۴-۷ - استفاده از تولید همزمان در بخش ساختمان
۱۱۶	۵-۷ - تجربیات جهانی در زمینه استفاده از تولید همزمان در بخش ساختمان
۱۱۷	۵-۱-۷ - تجربه یالات متحده آمریکا
۱۲۰	۵-۲-۷ - تجربه ایالت ایلینویز

۱۲۱	فصل هشتم : فناوریهای جایگزین سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت
۱۲۲	۱-۸ - مقدمه
۱۲۲	۲-۸ - تامین برق
۱۲۴	۳-۸ - تامین حرارت

۴-۸- شبیه سازی سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت در بخش ساختمان ۱۲۵
۵-۸- تحلیل نتایج امکان سنجی استفاده از سیستم‌های تولید همزمان بر مبنای قیمت یارانه‌ای حاملهای انرژی در بخش ساختمان کشور ۱۲۷
۱۲۸ ۱-۵-۸- بخش خانگی
۱۳۱ ۲-۵-۸- بخش عمومی
۱۳۴ ۳-۵-۸- بخش آموزشی
۱۳۶ ۴-۵-۸- بخش تجاری
فصل نهم : مطالعه موردی در ایران
۱۴۲ ۱-۹- مقدمه
۱۴۳ ۲-۹- طرح دیدگاهها و معیار های تعیین مکان
۱۴۴ ۳-۹- انتخاب ساختمان تازه تاسیس وزارت نیرو
۱۴۵ ۴-۹- مطالعات شبکه باр برای بهره برداری از موتور ژنراتور گازسوز
۱۴۷ ۵-۹- راندمان کلی سیستم
۱۴۸ ۶-۹- بعد مکانی یا فاصله انتقال حرارت
۱۴۸ ۷-۹- خواص ترمودینامیکی سیال و رابطه آن با عایق های حرارتی
۱۴۹ ۸-۹- تحلیل فنی سیستم
نتیجه گیری ۱۵۰
پیوست یک : لیست آدرس اینترنتی تولید کنندگان ۱۵۱
پیوست دو : کشورهای دارای بیشترین ظرفیت نصب شده CHP ۱۵۳
پیوست سه : سهم روشهای تولید برق در کشورهای مختلف ۱۵۴

منابع و مأخذ

۱۵۶	فهرست منابع فارسی
۱۵۷	فهرست منابع لاتین

فهرست جدولها

شماره صفحه

عنوان مطالب

جدول ۱-۱- مشخصات تولید انرژی برای یک سیستم متداول ۱۳	شماره صفحه
جدول ۱-۲- مشخصه‌های کارکردی یک مجموعه CHP با مینی توربین ۳۵	عنوان مطالب
جدول ۲-۲- توان مصرفی برای متراکم کردن گاز طبیعی ۳۶	شماره صفحه
جدول ۲-۳- قیمت تخمینی کل برای سیستمهای CHP با پایه توربین گازی ۴۴	عنوان مطالب
جدول ۲-۴- هزینه‌های عملکرد و نگهداری توربین گاز بدون در نظر گرفتن مصرف سوخت ۴۵	شماره صفحه
جدول ۲-۵- مشخصات آلاینده‌های توربین گاز بدون مولد بخار بازیافت حرارت و کنترل جريان خروجی . ۴۹	عنوان مطالب
جدول ۲-۶- ویژگیهای عمدۀ سیستمهای توربین گازی ۵۰	شماره صفحه
جدول ۲-۷- مزايا و معایب سیستمهای توربین گازی ۵۰	عنوان مطالب
جدول ۲-۸- هزینه‌های سیستم CHP ۵۴	شماره صفحه
جدول ۲-۹- ضرایب دسترسي و تولید سیستم CHP مورد مطالعه ۵۴	عنوان مطالب
جدول ۲-۱۰- داده‌های عملیاتی سیستم تولید همزمان برق و حرارت مجتمع بیمارستانی ۵۴	شماره صفحه
جدول ۳-۱- انواع دیزل ژنراتور ۶۰	عنوان مطالب
جدول ۳-۲- تولید همزمان برق و حرارت در موتورهای پیستونی ۶۱	شماره صفحه
جدول ۳-۳- مشخصات موتورهای پیستونی احتراق داخلی ۶۵	عنوان مطالب
جدول ۳-۴- محسن و معایب عمدۀ ای پیستونی ۶۶	شماره صفحه
جدول ۳-۵- خصوصیات عمدۀ موتورهای پیستونی ۶۶	عنوان مطالب
جدول ۳-۶- میزان صرفه‌جویی پروژه در قیمت‌های مختلف گاز ۷۰	شماره صفحه

جدول ۱-۴- ویژگی های کلی میکروتوربین ها	۷۸
جدول ۲-۴- مشخصات سیستم CHP بر پایه میکروتوربین TG۰۸ ساخت کمپانی Bowman	۷۹
جدول ۳-۴- تولید همزمان برق و حرارت در میکروتوربینها.	۸۱
جدول ۴-۴- مزایا و معایب میکروتوربینها	۸۶
جدول ۵-۴- ویژگیهای میکروتوربینهای سازندگان متفاوت با سوختهای متفاوت براساس تولید همزمان ...	۸۷
جدول ۶-۴- ویژگیها و هزینه های میکروتوربینهای رکوپراتوردار و ساده براساس تولید همزمان	۸۷
جدول ۱-۵- قیمت و مشخصات عملکرد یک مجموعه CHP با پیل های سوختی.	۹۸
جدول ۲-۵- ویژگیهای پیلهای سوختی	۱۰۰
جدول ۳-۵- مزایا و معایب انواع پیلهای سوختی	۱۰۰
جدول ۴-۵- مصرف انرژی الکتریکی فضاهای مختلف ساختمان (kWh)	۱۰۱
جدول ۵-۵- مصرف انرژی سالانه فضاهای مختلف ساختمان برای سیستم گاز و برق	۱۰۱
جدول ۶-۵- هزینه خرید، نصب و نگه داری تجهیزات به دلار	۱۰۲
جدول ۱-۶- انتشار انواع آلینده برای تولید همزمان برق و حرارت، نیروگاههای فسیلی و بویلرها	۱۰۹
جدول ۲-۶- انتشار انواع آلینده برای تولید همزمان برق و حرارت، نیروگاههای فسیلی و بویلرها.....	۱۰۹
جدول ۳-۶- انتشار انواع آلینده برای تولید همزمان برق و حرارت، نیروگاههای فسیلی و بویلرها	۱۰۹
جدول ۴-۶- مقایسه مستقیمی بین انواع سیستم های تولید همزمان برق و حرارت، نیروگاههای فسیلی و بویلرها	۱۱۰
جدول ۱-۷- بار الکتریکی انواع ساختنمانها	۱۱۴
جدول ۱-۸- اطلاعات فنی-اقتصادی تجهیزات تولید همزمان برق-حرارت-برودت	۱۲۷
جدول ۲-۸- قیمت فروش برق و گاز طبیعی به بخش های مختلف ساختمان کشور.....	۱۲۸

جدول ۳-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت توسط راهکارهای مختلف براساس تعرفه های بخش خانگی	۱۲۸
جدول ۴-۸- هزینه متوسط تولید همزمان برق و حرارت براساس تعرفه های بخش خانگی	۱۳۰
جدول ۵-۸- هزینه متوسط تولید برق- حرارت و برودت براساس تعرفه های بخش خانگی	۱۳۱
جدول ۶-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت توسط راهکارهای مختلف بر اساس تعرفه های بخش عمومی کشور	۱۳۲
جدول ۷-۸- هزینه متوسط تولید برق و حرارت بر اساس تعرفه های انرژی در بخش عمومی کشور	۱۳۲
جدول ۸-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت در بخش عمومی	۱۳۳
جدول ۹-۸- هزینه متوسط برق، حرارت و برودت از روشهای مختلف بر مبنای تعرفه های بخش آموزشی	۱۳۴
جدول ۱۰-۸- هزینه متوسط تولید برق و حرارت بر اساس تعرفه های بخش آموزشی کشور	۱۳۵
جدول ۱۱-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت در بخش آموزشی	۱۳۵
جدول ۱۲-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت توسط راهکارهای مختلف بر اساس تعرفه های بخش ساختمانهای تجاری کشور	۱۳۶
جدول ۱۳-۸- هزینه متوسط تولید برق و حرارت بوسیله تجهیزات مختلف در بخش تجاری	۱۳۷
جدول ۱۴-۸- هزینه متوسط تولید سه گانه برق، حرارت و برودت در بخش ساختمانهای تجاری	۱۳۷
جدول ۱۵-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت براساس تعرفه های ملی در بخش ساختمان کشور...	۱۳۸
جدول ۱۶-۸- هزینه متوسط تولید برق و حرارت براساس تعرفه های ملی در بخش ساختمان	۱۳۹
جدول ۱۷-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت بر مبنای هزینه تمام شده ملی انرژی	۱۳۹
جدول ۱۸-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت بر اساس قیمتهای جهانی انرژی	۱۴۰
جدول ۱۹-۸- هزینه متوسط تولید برق و حرارت براساس قیمتهای جهانی انرژی	۱۴۱
جدول ۲۰-۸- هزینه متوسط تولید برق، حرارت و برودت بر مبنای قیمتهای جهانی انرژی	۱۴۱

فهرست نمودارها

شماره صفحه

عنوان مطالب

نمودار ۱-۳- میزان تقاضای برق مجتمع در ماههای مختلف سال ۶۹
نمودار ۲-۳- تفکیک مصرف برق مجتمع به ساعت پیک و غیر پیک در ماههای مختلف سال ۷۰
نمودار ۳-۳- میزان حرارت بازیافتی از موتورها در ماههای مختلف ۷۱
نمودار ۴-۳- مصرف گاز در دو بخش CHP و مبنا ۷۱
نمودار ۷-۱- نمودار بار الکتریکی، بار حرارتی ۱۱۳
نمودار ۷-۲- بار الکتریکی، بار حرارتی و ضریب بار ۱۱۴
نمودار ۷-۳- سهم برق تولید شده از سیستم‌های تولید برق همزمان را در سال ۹۹۹۱ در کشورهای عضو اتحادیه اروپا ۱۱۷
نمودار ۷-۴- سهم کاربری‌های مختلف ساختمان از پتانسیل ۷۵ گیگاواتی BCHP ایالات متحده ۱۱۸
نمودار ۷-۵- پتانسیل ساختمانهای مختلف برای بهره گیری از CHP ۱۱۹
نمودار ۷-۶- انواع ساختمانها و دیماند مورد نیاز آنها ۱۲۰

فهرست شکل‌ها

شماره صفحه

عنوان مطالب

شکل ۱-۱- نوعی سیستم تولید مشترک برق و حرارت که مولفه‌های اصلی را نشان می دهد ۷	
شکل ۱-۲- مقایسه یک واحد CHP با نوع متداول ۸	
شکل ۱-۳- بالанс انرژی یک واحد تولید مشترک برق و حرارت ۸	
شکل ۱-۴- مقایسه بازده دو واحد تولید همزمان و تولید مجزا ۹	
شکل ۱-۵- مقایسه سیستم مجازی تولید توان و حرارت با سیستم تولید مشترک در صنعت ۱۲	
شکل ۱-۶- نمودار شماتیک نیروگاه تولید مشترک و متداول ۱۲	
شکل ۱-۷- نمودار تقاضای انرژی حرارتی روزانه برای یک مرکز ورزشی ۱۶	
شکل ۱-۸- مقایسه تولید مشترک برق و حرارت در حالت‌های مختلف دریک بیمارستان ۱۷	
شکل ۱-۹- شکل شماتیک Mini CHP دریک واحد مسکونی ۱۸	
شکل ۱-۱۰- نیروگاههای گازسوز ۱۹	
شکل ۱-۱۱- ساختار تقاضای انرژی حرارتی ساختمانها ۱۹	
شکل ۱-۱۲- نمای شماتیک فواید سیستم تولید همزمان نسبت به سیستمهای معمولی ۲۱	
شکل ۲-۱- مجموعه توربین گاز و سیستم بازیافت حرارت ۲۶	
شکل ۲-۲- شماتیک یک سیستم تولید همزمان با توربین گازی ۲۷	
شکل ۲-۳- یک نمونه تولید همزمان توربین گازی در کشور آلمان ۳۱	
شکل ۲-۴- سیستم بازیافت حرارت در توربین گازی ۳۸	
شکل ۲-۵- تأثیر دمای دود خروجی دودکش بر روی بازده CHP ۳۹	

..... شکل ۶-۲- نمای بیمارستان شهر می سی سی پی	۵۰
..... شکل ۷-۲- بلوک دیاگرام سیستم CHP مورد بحث	۵۱
..... شکل ۸-۲- توربین گازی نصب شده در مجتمع بیمارستانی	۵۲
..... شکل ۹-۲- چیدمان شیر تغییر مسیر در سیستم نصب شده	۵۲
..... شکل ۱۰-۲- چیلهای خریداری شده مجتمع	۵۳
..... شکل ۱-۳- سیستم موتور پیستونی	۵۶
..... شکل ۲-۳- شماتیک یک سیستم تولید همزمان با توربین پیستونی	۵۸
..... شکل ۳-۳- نمایی از یک موتور پیستونی بکاررفته در سیستم تولید همزمان	۵۹
..... شکل ۴-۳- بازیافت حرارت در سیستم بسته	۶۳
..... شکل ۵-۳- نمای یک سیستم موتور پیستونی با بازیافت حرارت	۶۴
..... شکل ۶-۳- پردیس مرکزی دانشگاه Elgin در ایالت ایلینویز	۶۷
..... شکل ۷-۳- موتور ژنراتورهای مورد استفاده در سایت ECC	۶۸
..... شکل ۱-۴- تصویر یک میکروتوربین و اجزای آن	۷۴
..... شکل ۲-۴- سیستم CHP با میکروتوربین	۷۵
..... شکل ۳-۴- حمل و نقل یک سیستم میکروتوربین گازی با یک جرثقیل معمولی	۷۸
..... شکل ۴-۴- سادگی ساختار میکروتوربین گازی	۷۹
..... شکل ۵-۴- دیاگرام یک میکروتوربین رکوپراتوردار	۸۱
..... شکل ۶-۴- موارد کاربردهای متنوع میکروتوربین ها	۸۳
..... شکل ۱-۵- شکل عملکرد پیل سوختی	۹۲
..... شکل ۲-۵- فرایند الکتروشیمیایی پیل سوختی	۹۶

..... ۱۰۲ شکل ۳-۵- سیستم CHP جایگزین
..... ۱۰۵ شکل ۶-۱- مقایسه انواع سیستم CHP
..... ۱۰۷ شکل ۶-۲- تاثیر سیستم تولید همزمان بر کیفیت هوا
..... ۱۱۵ شکل ۶-۷- پکیج CHP
..... ۱۱۶ شکل ۷-۲- سیستم CHP ساختمانی بر اساس موتورهای احتراق داخلی
..... ۱۲۰ شکل ۷-۳- مقایسه تاثیر اجرای BCHP با سایر راهکارها در بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش CO ₂
..... ۱۲۳ شکل ۸-۱- فلودیاگرام نوعی تولید برق بصورت متمرکز
..... ۱۴۵ شکل ۹-۱- تجهیزات تولید پراکنده ترکیبی نصب شده در ساختمان مرکزی وزارت نیرو
..... ۱۴۶ شکل ۹-۲- شبیه سازی موتور ژنراتور گازسوز نصب شده در ساختمان مرکزی وزارت نیرو تهران

چکیده

فن آوری های تولید همزمان برق و حرارت ، برق و یا توان مکانیکی تولید نموده و حرارت اضافی را برای مصارف مختلف بازیافت می نمایند.

بطور کلی می توان گفت : CHP عبارتست از تولید دو یا چند شکل انرژی مفید از یک منبع انرژی اولیه. در توضیح عملکرد CHP نیز می توان گفت : یک محرک اولیه (موتور یا توربین) انرژی شیمیایی سوخت را آزاد نموده و به توان مکانیکی درمحور خروجی تبدیل می کند . دراین موارد ، محور محرک با یک ژنراتور کوپل شده و توان الکتریکی تولید می شود ، دراین نوع سیستم ، منابع اتلاف این حرارت ، که عبارتند از گازهای خروجی از محرک اولیه، سیکل خنک کن و روغن روغنکاری، شناسایی شده و با قراردادن مبدلهای حرارتی ، گرمای اتلافی بشکل حرارت با دمای بالا (حرارت قابل استفاده) بازیافت می شود.

دستگاه CHP بیشترین بهره وری درصرف انرژی سوخت را دارد. به گونه ای متوسط راندمان یک مولد برق در حدود ٪.۳۵ . متوسط راندمان یک بویلر ٪.۹۰ است . درحالیکه یک سیستم CHP با تولید هر دوی این محصولات راندمانی بیش از ٪.۸۵ دارد . یعنی راندمان الکتریکی آن حدود ٪.۳۵ و راندمان حرارتی (منظور از راندمان حرارتی عبارتست از انرژی حرارتی تولید شده به انرژی سوخت مصرفی) ٪.۵۰ است . از طرف دیگر در مقایسه با سیستم های تولید برق و تولید حرارت مشابه رایج که بصورت مجزا هستند ، حدود ٪.۳۵ سوخت کمتری مصرف می کند.

در سیستم های CHP میکروتوربین ها نقش اصلی را در تأمین نیروی الکتریکی ایفا می کنند . میکروتوربین ها دو مزیت عمدی دارند ، یکی کاهش تزریق آلینده ها به محیط و دیگر کاهش تعمیرات در مقایسه با مولدهای دیگر است . در ضمن مجهز بودن ساختمانهای تجاری و شهرک های صنعتی و مکانهای عمومی به سیستم های میکروتوربین تولید همزمان در زمانهای پیک مصرف نیز بسیار مفید است.