بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تبریز
دانشکده مهندسی فناوریهای نوین
گروه مهندسی مکاترونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکاترونیک

عنوان

سیستمهای پیل سوختی اکسید جامد برای تولید توان پراکنده

استاد راهنما

دکتر احمد قنبری

استاد مشاور

مهندس میر مسعود سید فخرآبادی

پژوهشگر

مریم قائمی ایلخچی

ماه و سال

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدر و مادرم که موفقیت هایم مدیون وجود پر مهر ایشان هست

واستاد راهنمایم که با راهنمائی های خود مرا در اجرای این پایان نامه یاری رساندند.

نام خانوادگی دانشجو : قائمی ایلخچی **نام :** مریم

عنوان پایان نامه / رساله : سیستم های پیل سوختی اکسید جامد برای تولید توان پراکنده

استاد راهنما : دکتر احمد قنبری

استاد مشاور : مهندس میر مسعود سید فخرآبادی

مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد **رشته :** مهندسی مکاترونیک **دانشگاه :** تبریز

دانشکده : مهندسی فناوریهای نوین **تاریخ فارغ التحصیلی :** ۱۹/۱۱/۹۰ ۱۳ **تعداد صفحه :۶۲**

کلید واژه ها : پیل سوختی اکسید جامد ، توربین گاز ، سیستم هیبرید ، شبیه سازی با متلب

چکیده : شبیه سازی عملکرد سیستم پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز با وارد کردن معادلات حاکم بر هر جزء در برنامه متلب انجام گرفت که در آن رابطه ای بین اجزاء سیکل برقرار گردید.سیستم مورد بررسی در عملکرد حالت پایدار بار کامل بر مبنای پارامترهای تنظیم ثابت به عنوان یک مورد مرجع شبیه سازی گردید. خروجی توان الکتریکی خالص (AC) سیستم برابر ۷۶/۱۴۰۰ کیلو وات است که از آن مقدار ، ۳۱۳ کیلووات از توربین توان حاصل می شود ، که در حدود ۲۲٪ کل توان الکتریکی خروجی را بدست می دهد . بازده الکتریکی واحد ۶۳/۵۸ ٪ است . افزایش فشار عملیاتی باعث افزایش دمای استک می شود که منجر می شود که پیل سوختی با بازده بیشتری کار کند که انعکاس آن افزایش ولتاژ پیل سوختی و خروجی توان AC استک است . عملکرد استک پیل سوختی معمولا توسط منحنی پلاریزاسیون شناخته شده ، توصیف می گردد که ولتاژ پیل را به چگالی جریان آن ربط می دهد . این منحنی تحت تاثیر اتلاف پیل سوختی تحت بررسی واقع می شود و می توان از آن برای تحلیل مقادیر آن تلفات استفاده کرد. این تحلیل با هدف ارزیابی بازده سیستم و بررسی حساسیت مشخصات سیستم با تغییر گاه گاه یک پارامتر و بررسی تاثیر آن بر عملکرد سیستم انجام گرفت .

فهرست مطالب

مقدمه ۲

۱- بررسی منابع ۵

۲- مواد و روش ها ۱۴

۲-۱ پیل سوختی ۱۴

۲-۱-۱ ساختار پایه ۱۵

۲-۱-۲ پیل سوختی اکسید جامد ۱۶

۲-۱-۳ مزایا ۱۷

۲-۱-۴ مشکلات ۱۸

۲-۱-۵ طرح های استک و پیل ۱۸

۲-۱-۶ پیل سوختی اکسید جامد لوله ای ۱۸

۲-۱-۷ سیکل بازیافت برایتون ۱۹

۲-۱-۸ مدل الکتروشیمیایی ۲۱

۲-۱-۹ اضافه ولتاژ فعال سازی ۲۳

۲-۱-۱۰ تقابل سوخت و جریانهای داخلی ۲۵

۲-۱-۱۱ تلفات اهمی ۲۵

۲-۱-۱۲ اتلاف انتقال ماده و تراکم ۲۶

۲-۲- مدل کمپرسور ۲۷

۲-۳ مدل توربین ۲۹

۲-۴ طرح سیستم ۳۱

۲-۴-۱ویژگی های سیال گرمایی ۳۴

۲-۴-۲ مدل پیل سوختی اکسید جامد در شبیه سازی ۳۴
۲-۴-۳ مدل استک پیل سوختی اکسید جامد با اصلاح یا تبدیل داخلی ۳۵
۲-۴-۳-۱ مدل اصلاحگر داخلی ۳۵
۲-۴-۳-۲ مدل استک پیل سوختی اکسید جامد ۳۷
۲-۴-۴ مدل کمپرسور و توربین و مبدل ها ۳۹
۲-۴-۵ مدل محفظه احتراق ۴۰
۳. نتایج وبحث ۴۲
۳-۱ شبیه‌سازی عملکرد پلنت ۴۲
۳-۲ تغییر پارامترهای تنظیم ۴۶
۳-۲-۱ فشار عملکردی ۴۶
۳-۲-۲ پیل سوختی ۴۸
۳-۲-۳ نسبت بخار به کربن ۵۱
۳-۲-۴ نرخ فلوی هوا ۵۳
۳-۲- ۵ فاکتور مصرف سوخت ۵۴
نتیجه گیری و پیشنهاد ۵۷
فهرست منابع ۵۹

فهرست جداول

جدول ۱-۱ ..... ۷
جدول ۲-۱ ..... ۳۶
جدول ۳-۱ ..... ۴۲
جدول ۳-۲ ..... ۴۳
جدول ۳-۳ ..... ۴۴

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱ ..... ۱۵

شکل ۲-۲ ..... ۱۹

شکل ۲-۳ ..... ۲۰

شکل ۲-۴ ..... ۲۹

شکل ۲-۵ ..... ۳۰

شکل ۲-۶ ..... ۳۲

شکل ۳-۱ ..... ۴۵

شکل ۳-۲ ..... ۴۵

شکل ۳-۳ ..... ۴۶

شکل ۳-۴ ..... ۴۷

شکل ۳-۵ ..... ۴۷

شکل ۳-۶ ..... ۴۸

شکل ۳-۷ ..... ۴۹

شکل ۳-۸ ..... ۵۰

شکل ۳-۹ ..... ۵۱

شکل ۳-۱۰ ..... ۵۲

شکل ۳-۱۱ ..... ۵۳

شکل ۳-۱۲ ..... ۵۴

شکل ۳-۱۳ ..... ۵۵

مقدمه

مقدمه

دردهه اخیر ، نوآوریهای تکنولوژیکی و اقتصاد در حال تغییر،منجر به علاقه مجدد برای تولیدات پراکنده شده است. آژانس بین المللی انرژی پنج عامل مهم را که در ایجاد تولید پراکنده نقش دارند، بیان می کند:توسعه در تکنولوژیهای تولید پراکنده ، محدودیت هایی که برای ساخت خطوط انتقال جدید وجود دارد، تقاضای روزافزون برای الکتریسیته با قابلیت اطمینان بالا، آزادکردن بازار الکتریسیته و نگرانی در مورد تغییرات شرایط محیطی. (گ ، پیرمنز ، ۲۰۰۵)

نیاز به انرژی تمیز و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای منجر به کشف روش های تولید انرژی گردید. در بازار تولید انرژی پراکنده ، سیستم هیبرید توربین گاز و پیل سوختی گزینه مناسبی می باشد که امکان تولید توان از چند ده کیلووات تا چندین مگاوات را دارد. پیل های سوختی تجهیزات الکتروشیمیایی هستند که قادر به تولید توان الکتریکی با بازده بالا ($35 - 55\ \%$) بر اساس ارزش حرارتی پائین (LHV)[1] و انتشار آلودگی کم می باشند. در میان پیل های سوختی دما پائین (کمتر از $100\ ^{\circ}C$) ، پیل های سوختی غشاء پروتونی (PEM)[2] و متانول مستقیم معمول تر می باشند. در خصوص پیل های سوختی دما بالا (بیشتر از $600\ ^{\circ}C$) پیل های سوختی اکسید جامد (SOFC)[3] و کربنات مذاب تکنولوژیهای شناخته شده می باشند. (مارکو سانتین ، ۲۰۱۰)

پیل سوختی اکسید جامد یکی از محتمل ترین پیل های سوختی است که به عنوان وسیله ای عالی برای نیروگاه های آتی در نظر گرفته می شود که تولید انرژی الکتریکی پاک با نرخ تبدیل انرژی بالا و آلودگی محیطی و صوتی کم همراه است. این تجهیز الکتروشیمیایی، بر اساس الکترولیت هادی یون ($O^{=}$۲) حالت جامد عمل می کند که دمای عملیاتی بالا می باشد. (تا $1000\ ^{\circ}C$) که این دمای عملیاتی بالا، با وجود ایجاد محدودیت های تکنولوژیکی مواد سازنده پیل سوختی اکسید جامد

[1] - LHV : LOW HEATING VALUE
[2] - PEM : POROTON EXCHANGE MAMBERANE
[3] - SOFC : SOLIDE OXIDE FUEL CELL

، این تجهیز را برای کوپلینگ با توربین های گاز و یا بازیافت مناسب می سازد . یکپارچه سازی یک استک پیل سوختی اکسید جامد با توربین گاز و همراه با سایر تجهیزات از قبیل کمپرسورها و مبدل های حرارتی، کاربرد بسیار موفقی می باشد، زیرا یک سیستم هیبرید پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز می تواند به ترتیب به بازده الکتریکی و کلی ۷۰٪ و ۸۵٪ برسد. (اف. کالایس ، ۲۰۰۶)

داشتن درک صحیح از عملکرد حالت پایا و دینامیک از یک سیستم پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز به منظور توسعه و پیشرفت این تکنولوژی هیبرید مورد نیاز است که مدلسازی و شبیه سازی نقش مهمی را در این زمینه ایفا می کند.

در این پایان نامه یک مدل از سیستم هیبرید توسعه داده می شود و برای آنالیز یک سیکل هیبرید خاص که قابل کاربرد برای تولید پراکنده می باشد ، استفاده می شود.

در فصل اول به بررسی منابع پرداخته می شود. در فصل دوم مواد و روش ها ارائه گردیده است و در فصل سوم نتایج شبیه سازی و نمودارها ارائه گردیده و مورد بحث قرار گرفته اند و در پایان قسمت نتیجه گیری و پیشنهاد و فهرست منابع گنجانده شده است.

مفهوم استفاده از یک دستگاه تولید توان توربین گاز در یک سیکل ترکیب شده با پیل سوختی اکسید جامد سال‌هاست که کاملاً شناخته شده است، بررسی مقالات متعدد نشان می‌دهد که این مفهوم در ابتدا توسط آیده و همکارانش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است، آنها بازده خالص دستگاه در سه نوع سیستم تولید توان پیل سوختی را با هم مقایسه کردند، از جمله یک پیل سوختی اکسید جامد (که در فشار بالا عمل می‌کند و متشکل از یک تبدیل‌گر گاز طبیعی می باشد)،یک واحد پیل سوختی، و یک توربین گاز بازیافت توان. اتلاف بازده فرآیندهای تولید توان عمدتاً به دلیل احتراق سوخت غیر قابل برگشت است. این بازده را می‌توان با ممانعت از تماس بلافاصله هوا و سوخت، افزایش داد همانطور که در پیل‌های سوختی اتفاق می‌افتد. تحقیقات و توسعه‌های گذشته پیل های سوختی اکسید جامد برای سیستم‌های توان بزرگ از اوایل دهه ۱۹۹۰ پیشرفت‌های زیادی داشته است، مثل تحقیقات هاروی و ریچتر .آنها یک سیکل فشار دار شده، با استفاده از پیل سوختی اکسید جامد همراه با توربین گاز، توصیف کرده‌اند. پارامترهای سیکل بهینه براساس محاسباتی بدست آمده بود که توسط نرم افزار شبیه‌سازی اسپن پلاس تکنولوژی اسپن، و یک شبیه ساز پیل سوختی که توسط آزمایشگاه ملی آرگون ایجاد شده بود، انجام گرفت.

در سال ۱۹۹۷، چنین اظهار کردندکه شرکت الکتریکی وستینگ هاوس برنامه‌ای را آغاز کرده است که بر توسعه سیستم توان فشاردار سیکل ترکیبی پیل سوختی اکسید جامد و توربین گاز ، برای کاربردهای توان پراکنده تمرکز خواهد کرد. بعد از آن، گئورگ از شرکت زیمنس وستینگ هاوس یک برنامه نمایش تجربی واحد را توصیف کرد که شامل سیستم پیل سوختی اکسید جامد فشاردار - توربین گاز ۲۲۰ کیلووات ادیسون کالیفرنیای جنوبی بود، به همراه نمایش برنامه ریزی شده طرح اولیه سیستم‌های توان تجاری. اولین سیستم کامل پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز توسط زیمنس وستینگ هاوس به ادیسون کالیفرنیای جنوبی در ماه می ۲۰۰۰ تحویل داده شد. دومین سیستم دوگانه برای انتاریو هایدرو ، کانادا، ساخته شده و واحدهای بیشتر در حال حاضر برای مشتریان در اروپا ساخته می‌شوند.

فصل اول:

بررسی منابع

مطالعات تئوریکی سیکل های ترکیبی پیل سوختی اکسید جامد و توربین گاز، توجه محققان زیادی را در سراسر جهان، به خود جلب کرده است، به عنوان مثال حوزه مهندسی توان و حرارت در دانشگاه لاند در سوئد پروژه‌ای را اجرا کرد که بخشی از برنامه ملی سوئد بود. هدف کلی ارزیابی بی-غرض جنبه‌های عملکردی و رفتار عملیاتی چنین سیستم‌هایی است. چندین پژوهش قبلی در نوشتجات مربوطه وجود دارند که شامل تجزیه و تحلیل ترمودینامیک، مدل‌های طراحی و عملکرد است. یک پژوهش جامع توسط ماساردو و لوبلی انجام گرفت، که عملکرد سیکل های ترکیبی تبدیل داخلی پیل سوختی اکسید جامد و توربین گاز را مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها یک مدل ریاضی ایجاد کردند که عملکرد حالت پایدار پیل سوختی را شبیه‌سازی می‌کند. پژوهش‌های دیگر قبلی در مورد مدلسازی و تحلیل عملکردی سیستم‌های هایبرید، توسط کوستا ماگنا و همکاران، کالایس و همکاران، یانگ و همکاران ، اراکی و همکاران ، پارک و همکاران ، گرانووسکی و همکاران ثبت گردیده‌اند. اکثر این پژوهش‌های قبلی بر مدلسازی عددی عملکرد پیل سوختی اکسید جامد تاکید دارند.

پژوهش اخیر توسط گرانووسکی و همکاران، شامل تحلیل‌های اکسرژی برای دو سیستم پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز بود تا بازده آنها و توانایی‌های تولید توان در نرخ های مختلف انتقال اکسیژن از طریق الکترولیت پیل سوختی اکسید جامد (پوسته هادی یون) را تعیین کنند. علاوه بر این، در پژوهش قبلی کوکو و تولا، تحلیل عملکرد مقایسه‌ای دستگاه تولید توان پیل سوختی اکسید جامد- توربین گاز با سوخت متال و متانول گزارش گردید. مجموعه مفید از روابط ایجاد گردید تا ولتاژ استک پیل سوختی اکسید جامد تحت شرایط عملیاتی شناخته شده به طور مستقیم مورد بررسی قرار گیرد.

بررسی کامل و جامع نوشتجات، فقط مقاله‌های تحقیقی اندکی را آشکار کرد که برگشت ناپذیری چرخه ترکیبی پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز را با اعمال قانون دوم در ترمودینامیک مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌های منتخب، پژوهش‌های کالایس و همکاران، گرانووسکی و همکاران،

هستند و اخیراً قنبری باورساد تولید توان توربین گاز-پیل سوختی اکسید جامد تبدیل داخلی با سوخت متان را بر مبنای قوانین اول و دوم ترمودینامیک، مورد تحلیل قرار داده است. (وای . حاصلی ، ۲۰۰۸)

جدول ۱-۱ : بررسی بازده گرمایی دستگاه‌های تولید توان پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز در نوشتجات گذشته

مرجع	بازده	ساختار سیستم
هاروی و ریچتر	۶۸/۱	سیکل فشار دار با استفاده از پیل سوختی اکسید جامد و سیکل توربین گاز
لباچی او و ریچتر	۶۰	فرایندهای تبدیل به گاز مرتبط با پیل سوختی اکسید جامد وتوربین گاز
گئورگ	۶۵ - ۶۰	سیکل ترکیبی پیل سوختی اکسید جامد و توربین گاز فشار دار
کامپاناری و ماک چی	۷۰<	سیکل پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز فشاردار با سیکل بازیافت گرما
پالسون وهمکاران	۶۵ <	سیستم ۵۰۰ کیلووات همراه با ری هیت توربین گاز و خنک کاری داخلی فشرده سازی هوا
کوستا ماگنا و همکاران	۶۰<	پیل سوختی اکسید جامد - میکروتوربین گازی بهبود یافته با پیل سوختی اکسید جامد دما بالا
چان و همکاران	۶۰<	استک پیل سوختی اکسید جامد ، احتراق ساز، توربین گاز، دو تا کمپرسور و ۳ بازیاب
ماساردو و همکاران	۶۰	میکروتوربین ۵۰کیلووات کوپل شده با پیل سوختی اکسید جامد دما بالا
رائو و ساموئلسون	۶۶/۲۳	پیل سوختی اکسید جامد لوله ای فشاردار ترکیب شده با یک توربین گاز ری هیت – خنک شونده داخلی
رائو و ساموئلسون	۶۹/۰۵	سیکل توربین هوای مرطوب همراه با سیکل ذکر شده در بالا
رائو و ساموئلسون	۷۵/۹۸	سیکل هیبرید پیل سوختی اکسید جامد – توربین هوای مرطوب
چان و همکاران	۶۰<	سیستم تولید توان پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز با تبدیل گر داخلی
اینوئی و همکاران	۷۰/۶۴	سیستم ترکیبی پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز با بازیافت تبدیل به مایع دی اکسید کربن
یو اچی و همکاران	۶۵	سیستم هیبرید پیل سوختی اکسید جامد – میکرو توربین گاز ۳۰ کیلووات
کالایس و همکاران	۶۵/۴	پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز لوله ای با تبدیل گر داخلی با ۳ مبدل گرمایی و میکسر
کالایس و همکاران	۶۰	سیستم ۱/۵ مگاوات یکپارچه پیل سوختی اکسید جامد با اصلاحگر داخلی با دو توربین گاز و یک تولید کننده بخار بازیافت گرمایی
اراکی و همکاران	۵۶/۱	سیکل تولید توان پیل سوختی اکسید جامد دو مرحله ای دما بالا و دما پائین
اراکی و همکاران	۶۸/۵	نیروگاه چند مرحله ای پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز با بازیافت دی اکسید کربن
تسی و همکاران	۵۹/۴	توربین گاز بهبود یافته یکپارچه شده با پیل سوختی اکسید جامد
تسی و همکاران	۶۸/۷	توربین گاز بهبود یافته با خنک کاری داخلی هوای کمپرسور و دو پیل سوختی اکسید جامد

رولز رویز درحال توسعه یک پیل سوختی اکسید جامد مسطح است، ویژگی یک ترکیب مسطح نوارهای پیل سوختی هستند که از لحاظ الکتریکی به صورت سری به هم متصل هستند و روی یک تکیه‌گاه سرامیک قراردارند. دیگر تکنولوژی‌های مهم پیل سوختی اکسید جامد، توسط زیمنس-وستینگ هاوس بر مبنای هندسه لوله‌ای ، ساخته شده‌اند.

پیل سوختی لوله‌ای زیمنس به مدت دهها هزار ساعت تست شده است، ولی هنوز هم برای بازار تولیدتوان بسیار گران قیمت است. هنگام کار با پیل‌های سوختی دمای بالا، می‌توان آنها را با چرخه-های گرمایی، و متداول‌تر از همه با توربین گاز ها، کوپل کرد. هیبرید کردن پیل سوختی اکسید جامد توسط چندین شرکت انجام گرفته است، ازجمله رولز - رویز ، گ . ای . انرژی ، زیمنس وستیینگهاوس و صنایع سنگین میتسوبیشی .

سیستم‌های هیبرید با سوخت گاز طبیعی به منظور کاربردهای ایستا، عملکرد جالبی را نشان داده-اند: بازده بالا(بیشتر از ۶۰٪) حتی در شرایط بار جزئی، انتشار آلودگی پایین و هزینه‌های پایین (هنگام مقایسه با پیل های سوختی اکسید جامد مجزا).

سوخت‌های هیدروکربن را نمی‌توان به صورت مستقیم در پیل های سوختی اکسید جامد تزریق کرد، که دلیل آن ریسک ته نشست کربن در آندهاست، که مانع از واکنش‌های الکتروشیمیایی خواهد شد. واکنش‌گرهای کاتالیزوری برای تبدیل سوخت‌ها به ترکیبی که غنی از هیدروژن و منوکسیدکربن است به کار می‌رود، و گاز ادغامی به پیل سوختی اکسید جامد تزریق می‌شود.(مارکوسانتین ،۲۰۱۰)

در پژوهش قبلی توسط ساموئلسون و رائو چرخه‌های پیشرفته متنوعی مورد بررسی قرار گرفت، از جمله چرخه‌های ترکیبی توربین گاز، چرخه‌های توربین هوای مرطوب شده ، چرخه‌های رانکین مستقیم با سوخت اکسیژن-هیدروژن، و چرخه‌های هایبرید پیل سوختی و توربین گاز. این تحلیل‌ها مشخص کردند که تکنولوژی چرخه هایبرید پیل سوختی توربین گاز، کلید دستیابی به بازده و انتشار آلودگی چشم انداز قرن بیست و یکم است.

اخیراً چندین ترکیب‌بندی سیستم هایبرید پیل سوختی توربین گاز توسط چندین گروه تحقیقی در سراسر جهان پیشنهاد شده‌اند. حوزه مهندسی توان و حرارت در دانشگاه لاند در سوئد، پژوهش-های تئوریکی در مورد سیستم‌های هایبرید پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز انجام داده است. در یک سیستم مرجع پنج پارامتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند، از جمله دمای ورودی توربین ، ولتاژ پیل، نسبت فشار کمپرسور، نرخ جریان هوا و دمای ورودی هوا. حداکثر بازده الکتریکی برابر ۶۵ ٪ (LHV) در نسبت فشار ۲ بدست آمد.

چان و همکاران از دانشگاه تکنولوژی نانیانگ ،سنگاپور، دو مطالعه موردی در مورد سیستم‌های هیبرید پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز انجام دادند و تمرکز ویژه‌ای بر تاثیرات فشار عملیاتی ونرخ فلوی سوخت بر عملکرد اجزاء و کل سیستم داشتند. نتایج نشان دادند که یک سیستم هایبرید پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز با اصلاحگر داخلی می‌تواند به بازده الکتریکی بیش از ۶۰٪ دست یابد.

یک سیستم هایبرید پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز با سوخت فسیلی با تبدیل به مایع بازیافت دی اکسید کربن توسط اینوئی و همکاران مطرح گردید. نتایج نشان دادند که بازده گرمایی کلی سیستم که از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌کند به ۷۰/۶۴٪ (LHV) رسید. برخی گروه‌های تحقیقی علاوه بر عملکرد متغیرهای طراحی، عملکرد بار جزئی سیستم‌های هایبرید پیل سوختی اکسید جامد - توربین گاز را هم مورد بررسی قرار داده و ارائه کرده‌اند. این گروه‌های تحقیقی، تحلیل‌هایی را ارایه داده‌اند ، مثل تحلیل‌های کامپاناری ، کوستاماگنا و همکاران، کیمیجیما و کاساگی. این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که بازده الکتریکی مورد انتظار سیستم‌های هایبرید ، در نقاط طراحی و یا عملکرد بار جزئی، در ۶۵٪ محدود شده است.

کار تحقیقی اخیر که در « مرکز تحقیقات ملی پیل سوختی» در دانشگاه کالیفرنیا ، ایروایین ، انجام گرفت و محدود به سیستم‌های هایبرید با خروجی کمتر از ۲۰ مگاوات بوده، نشان داد که هدف بازده برنامه چشم انداز قرن بیست و یکم با هایبریدهای کوچک قابل دسترسی است. این موضوع علی‌رغم

داشتن اجزاء ماشین آلات توربین با کارایی‌ها با بازده محدود (به دلیل اندازه کوچک) باز هم صادق است. ولی، دسترسی به بازدهی حدود ۷۵٪ در این مقیاس نیاز به چرخه پیچیده‌ای دارد که شامل توربین گاز گرمایش مجدد با دو پیل سوختی اکسید جامد ، یکی دربالادست منبسط کننده فشار بالا، و یکی در بالادست منبسط کننده فشار پایین است هنگامی که فشار عملیاتی پیل سوختی اکسید جامد را تا ۱۵ بار محدود می‌کند.(یائو فان یا ، ۲۰۰۳)

بعد از اینکه مفهوم سیستم هایبرید پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز در اوایل ۱۹۹۰ مطرح گردید، چندین مقاله دیگری بودند که در مورد کاربردهای آن بحث می‌کردند. ولی، اکثر مقاله ها به تحلیل چرخه تئوریکی و شبیه‌سازی ساختارهای ممکن و احتمالی سیستم هایبرید پرداخته اند.پالسون و همکاران، پژوهش‌های نظری چرخه‌های ترکیبی پیل سوختی اکسید جامد و توربین گاز را به انجام رسانند تا چشم اندازها و جنبه‌های عملکردی آن را ارزیابی کنند. سیستم مرجع آن به اندازه ۵۰۰ کیلووات بود، به طوریکه گرمایش مجدد توربین گاز و سرمایش داخلی تراکم هوا هم در این تحلیل شامل شوند. نتایج نشان دادند که نسبت فشار تاثیر زیادی بر عملکرد دارد، و بازده الکتریکی می‌تواند بیش از ۶۵٪، حتی در نسبت فشار پایین، باشد. ماساردو و همکاران، یک مدل ریاضی کامل شده از سیستم پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز ایجاد کردند. آن‌ها روی تحلیل ترمودینامیک سیستم کامل کار کردند و منافع اقتصادی را تخمین زدند. آن مدل برای تشریح سیستم‌هایی مناسب است که از تبدیل داخلی استفاده می‌کنند. در آن مقاله، مدل تخمینی ترکیب برای برآورد کردن سوخت باقی‌مانده خروجی پیل سوختی اکسید جامد فراهم گردید و تاثیرات آن بر سیستم پیل سوختی اکسید جامد – توربین گاز مورد بحث قرار گرفت، به عنوان مثال، نسبت هوا سوخت ، ترکیب سوخت ورودی، و فشار عملیاتی و مانند آنها مورد بررسی قرار گرفتند. کوستاماگنا و همکاران، تحلیل‌های طراحی و خارج از طراحی یک سیستم هایبرید پیل سوختی اکسید جامد –

توربین گاز با اندازه (۲۵۰/۳۰۰ کیلووات) را مورد مطالعه قرار داده‌اند و نتایج بیش از ۶۰٪ در طراحی و خارج از طراحی نشان دادند، البته در صورتیکه توربین گاز توسط کنترل سرعت متغیر تنظیم شود.

وینکلر و لورنز هم نشان دادند که چرخه ترکیبی پیل سوختی ممکن است به بازده الکتریکی بیش از ۸۰٪، با چرخه گرمایش مجدد سوختی اکسید جامد – توربین گاز- توربین بخار دست یابد.

در سال ۲۰۰۳، کوچونتارا و همکاران، چندین چرخه پیشرفته توربین گاز با ترکیب پیل سوختی اکسید جامد را مورد ارزیابی قرار دادند، به‌علاوه، سیستم متداول توربین گاز ، چرخه توربین گاز با تزریق بخار، توربین بخار، و توربین هوای نمدار ، هم مد نظر قرار گرفتند. علاوه براین، بهبود بیشتر به وسیله پیش گرمایش هوا در چرخه گاز با تزریق بخار هم شامل این بررسی‌ها شد. آنها چنین نتیجه گیری کردند که ترکیب چرخه پیل سوختی اکسید جامد - توربین هوای نمدار ، بالاترین بازده کلی را بدست می‌دهد. (وی – سیانگ لیا ، ۲۰۰۶)

در ژاپن گروهی حاوی کوبایاشی ، آندو ، و نیشییورا از صنایع سنگین میتسو بیشی روی سیستم های هایبرید فشار دار شده در کلاس ۲۰۰ کیلو وات کار می‌کنند. آنها یک سیستم با سیکل ترکیبی با ۷۵ کیلووات را در سال ۲۰۰۶ اجرا کردند.

در دانشگاه علوم و تکنولوژی نروژ گروه بلند، استایلر و تورد یک جعبه ابزار مدل سیستم هایبرید پیل سوختی اکسید جامد را ایجاد کردند. پیل سوختی اکسید جامد مبتنی بر تکنولوژی لوله‌ای زیمنس است و این سیستم شبیه به ترکیب‌بندی سیستم CHP۱۰۰ است. برای سیستم هایبرید آنها ساختارهای سیکل متفاوت را با سطوح متفاوت یکپارچه سازی پیل سوختی اکسید جامد و توربین گاز مورد آزمایش قرار دادند.

مرکز فضانوردی آلمان از سال ۲۰۰۶ در یک پروژه مشترک با دانشگاه اشتوتگارت روی این موضوع کار می‌کنند. هدف این پروژه نصب یک دستگاه مولد توان هایبرید و توسعه تکنولوژی به سطح پیش از صنایع است. در مرحله اول سیستم کامل برای آزمایشات دقیق و ارزیابی چرخه مدل‌سازی می‌شود. در مرحله دوم، کوپل غیر مستقیم اجزاء سازنده بررسی می‌شود، یعنی اطلاعات ماشین‌آلات توربو به عنوان داده‌های ورودی در پژوهش تجربی در تجهیزات تست پیل سوختی اکسید جامد فشاردار به کار می‌رود، در حالیکه نتایج حاصل از پیل سوختی اکسید جامد در آزمایشات توربین گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مرحله آتی یک دستگاه مولد توان در مقیاس کوچک ساخته خواهد شد تا رفتار اجزاء ارزیابی شود و تکنولوژی نمایش داده شود. (فلوریان لئوچتا ، ۲۰۱۱)