بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- گرایش قدرت

# جایابی واحدهای تولید پراکنده با هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه

دانشجو: ذکیه سادات موسوی

استاد راهنما: آقای دکتر علی‌نژاد برمی

دی ماه ۱۳۹۰

اینجانب (این جانبان) ..... بدین وسیله اظهار می دارم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان

.....

که به عنوان پایان نامه کارشناسی مهندسی برق گرایش ..... به دانشکده برق و کامپیوتر - دانشگاه سمنان ارائه شده،

دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت علمی این جانب (این جانبان) است.

این جانب (این جانبان) می دانم که اگر خلاف ادعای بالا در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق مترتب بر این نوشتار از این جانب (این جانبان) سلب شده و مراتب قانونی مرتبط با آن نیز از طرف مراجع ذی ربط قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی - شماره دانشجویی

تاریخ و امضا

نام و نام خانوادگی - شماره دانشجویی

تاریخ و امضا

این فرم به‌صورت دست‌نویس تکمیل می‌شود.

تقدیم به اولین معلم های زندگی ام، پدر و مادر

عزیزم که به من درس زندگانی آموختند و همراه

تمامی لحظات زندگیم، همسر مهربانم که مرا در این

مقطع همراهی کردند.

با سپاس از جناب آقای دکتر علی نژاد که در همه
مراحل این پایان نامه یار، همنمودهای خویش سختی
راه را برایم هموار نمودند

## چکیده

با پیشرفت علم تغییرات چشم‌گیری در عرصه صنعت مشاهده می‌شود. استفاده از منابع تولیدی کوچک از جمله تغییراتی است که در صنعت برق بوجود آمده است. منابع تولید پراکنده در مقایسه با ژنراتورهای بزرگ و نیروگاهها ، حجم و ظرفیت تولید کمتری داشته و با هزینه پایین تری راه‌اندازی می شوند . همچنین اتصال این تولیدات به شبکه منافع و سودمندیهای زیادی به دنبال دارد . از جمله مواردی که استفاده از واحدهای تولید پراکنده را مورد توجه قرار می دهند می توان به مسائلی نظیر مسائل اقتصادی در توسعه نیروگاهها ، کاهش آلودگی محیط زیست ، بالا بودن بازدهی این منابع در تولید برق ، بالا بردن کیفیت برق رسانی به مشتریان ، کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع ، بهبود پروفیل ولتاژ ، آزادسازی ظرفیت شبکه، کاهش هزینه تلفات، کاهش هزینه تولید، افزایش قابلیت اطمینان و بسیاری از موارد دیگر اشاره نمود .

هدف از این پایان نامه تعیین توان و مکان منبع تولید پراکنده است بطوریکه با لحاظ قیود مساله موجب کاهش هزینه و ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه شود . تلفات توان از تفاضل توان تحویلی و توان مصرفی حاصل شده و سپس در محاسبه هزینه انرژی بکار می رود همچنین برای محاسبه هزینه انرژی از مجموع هزینه تولیدی تولیدات پراکنده، هزینه تولید واحدهای اصلی و هزینه تلفات استفاده می‌شود.در این پایان نامه انواع مختلف تولیدات پراکنده با هزینه‌های تولید مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است و بر اساس تاثیری که بر کاهش تلفات و هزینه‌ها دارند بهترین واحد جهت جایابی انتخاب گردیده، در جایابی و تعیین ظرفیت منبع تولید پراکنده از بهینه سازی چند هدفه استفاده شده است. بهینه سازی چند هدفه به دلیل مشخص بودن محدوده قیود از روش مصالحه استفاده شده است و سپس با تهیه نرم افزاری که در قالب نرم افزار MATLAB تهیه شده الگوریتم جایابی و تعیین ظرفیت در شبکه ۱۴ باس IEEE شبیه سازی شده است .



**کلید واژه:** منابع تولید پراکنده،کاهش هزینه،کاهش تلفات، قابلیت اطمینان، بهینه سازی چند هدفه

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


**فصل اول: منابع تولید پراکنده انواع آن** ..... ۱

۱-۱- مقدمه فصل ..... ۱

۱-۲- منابع تولید پراکنده ..... ۲

۱-۳- ظرفیت تولید پراکنده ..... ۲

۱-۴- گروه بندی تکنولوژی های تولید پراکنده ..... ۴

۱-۵- بررسی انواع تکنولوژی تولید پراکنده ..... ۵

۱-۵-۱-موتورهای احتراق داخلی ..... ۵

۱-۵-۲-توربین های گازی ..... ۵

۱-۵-۳-میکرو توربین ها ..... ۶

۱-۵-۳-۱- توربین‌های گازی سیکل ساده ..... ۷

۱-۵-۳-۲-توربین‌های گازی بهبود یافته ..... ۷

۱-۵-۳-۳- توربین‌های گازی سیکل ترکیبی ..... ۸

۱-۵-۴-پیل های سوختی ..... ۸

۱-۵-۵-توربین های بادی ..... ۱۰

۱-۵-۶-سیستم فتو ولتائیک ..... ۱۰

۱-۵-۷-سیستم های حرارتی -خورشیدی ..... ۱۱

۱-۵-۸-بیوماس ..... ۱۲

۱-۵-۹-زمین گرمایی ..... ۱۲

۱-۵-۱۰-وسایل ذخیره انرژی ..... ۱۲

۱-۶-مشخصه عملکردی تکنولوژی های تولید پراکنده ..... ۱۴

۱-۷-مزایا و معایب استفاده از تولید پراکنده ..... ۱۵

۱-۷-۱- مزایای منابع تولید پراکنده برای مصرف کنندگان ..... ۱۵

۱-۷-۲ مزایای منابع تولید پراکنده برای شرکت‌های برق ..... ۱۵

۱-۷-۳ مزایای ملی منابع تولید پراکنده ..... ۱۶

۱-۸-کاربردهای تولید پراکنده ..... ۱۷

۱-۸-۱- تولید پراکنده آماده به کار ..... ۱۷

۱-۸-۲- اصلاح اوج بار ..... ۱۷

۱-۸-۳- کاربردهای دور دست و محلی ..... ۱۸

۱-۸-۴- تولید همزمان برق و گرما ..... ۱۸

۱-۸-۵- بار پایه ..... ۱۸
۱-۹- جمع بندی و نتیجه گیری ..... ۱۸

**فصل دوم: مقدمه ای بر شبکه‌های توزیع و انتقال** ..... ۱۹
۲-۱- مقدمه فصل ..... ۱۹
۲-۲- تاثیر تولیدات پراکنده در شبکه توزیع و انتقال ..... ۲۰
۲-۳- مروری برسیستم توزیع ..... ۲۰
۲-۴- سیستم توزیع شعاعی ..... ۲۱
۲-۵- فیدرهای فشار متوسط ..... ۲۲
۲-۶- پست های توزیع و شبکه فشار ضعیف ..... ۲۳
۲-۷- بازیابی بار سیستم های توزیع ..... ۲۴
۲-۸- جزیره شدن ..... ۲۵
۲-۹- مروری بر شبکه انتقال ..... ۲۶
۲-۱۰- جمع بندی و نتیجه گیری ..... ۲۶

**فصل سوم- تاثیر منابع تولید پراکنده بر تلفات الکتریکی و قابلیت اطمینان شبکه** ..... ۲۸
۳-۱- مقدمه فصل ..... ۲۸
۳-۲- تاثیر تولید پراکنده بر تلفات شبکه ..... ۲۹
۳-۳- بررسی تلفات الکتریکی با توزیع بارهای مختلف و مکانیابی بصورت تحلیلی ..... ۳۰
۳-۴- ارتباط قابلیت اطمینان شبکه و تولید پراکنده ..... ۳۲
۳-۵- بررسی کیفیت برق، قابلیت اطمینان و دسترسی ..... ۳۳
۳-۶- قابلیت لطمینان سیستم توزیع ..... ۳۴
۳-۷- ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های تولید ..... ۳۵
۳-۸- ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های انتقال ..... ۳۶
۳-۹- ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع ..... ۳۷
۳-۱۰- جمع بتدی و نتیجه گیری ..... ۳۸

فصل‌چهارم-الگوریتم‌های جایابی و روش‌های بهینه سازی ..... ۳۹
۴-۱- مقدمه فصل ..... ۳۹
۴-۲- پخش بار در فرایند مکان یابی DG ..... ۴۰
۴-۳- تعیین ظرفیت تولید پراکنده در فیدرهای بابار یکنواخت ..... ۴۰

۴-۴- قانون $\frac{2}{3}$ فیدر در تعیین مکان مولد DG ..... ۴۱
۴-۵- الگوریتم ژنتیک ..... ۴۱
۴-۶- الگوریتم حذفی ..... ۴۲
۴-۷- الگوریتم ژنتیک و فازی ..... ۴۲
۴-۸- الگوریتم ژنتیک و تئوری تصمیم ..... ۴۳
۴-۹- تحلیل حساسیت ..... ۴۳
۴-۱۰- الگوریتم HRA ..... ۴۴
۴-۱۱- جایابی تولید پراکنده با هدف کاهش هزینه ..... ۴۴
۴-۱۲ بهینه سازی چند هدفه ..... ۴۴
۴-۱۳ برخی مفاهیم مقدماتی در بهینه سازی چند هدفه ..... ۴۵
۴-۱۴- مروری بر تکنیکهای برنامه نویسی ریاضی در بهینه سازی چند هدفه ..... ۴۷
۴-۱۴-۱- روش بهینه سازی ترتیبی(متوالی) ..... ۴۷
۴-۱۴-۲- روش توابع هدف وزن دار ..... ۴۸
۴-۱۴-۳-روش محدودیت ε ..... ۴۹
۴-۱۴-۴- روش برنامه نویسی آرمانی ..... ۴۹
۴-۱۴-۵- مقایسه مزایا و معایب روشهای ریاضی بهینه سازی چند هدفه ..... ۵۰
۴-۱۵- بهینه سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک ..... ۵۱
۴-۱۵-۱ -کاهش به یک هدف ..... ۵۲
۴-۱۵-۲ -استفاده از توابع جریمه ..... ۵۲
۴-۱۵-۳ -روش مجموع وزنی ..... ۵۳
۴-۱۵-۴ -VEGA ..... ۵۳
۴-۱۵-۵ -MOGA ..... ۵۴
۴-۱۶-جمع بندی و نتیجه گیری ..... ۵۵

فصل پنجم- **بررسی تابع هدف مساله و قیود آن** ..... ۵۶
۵-۱- مقدمه فصل ..... ۵۶
۵-۲- تابع هدف مساله ..... ۵۷
۵-۳- قیود قابلیت اطمینان ..... ۵۸
۵-۳-۱-تامین رزرو کافی ..... ۵۸
۵-۳-۲-رابطه قید قابلیت اطمینان و ظرفیت تولید پراکنده ..... ۵۹
۵-۳-۳- ظرفیت خطوط انتقال ..... ۵۹
۵-۴- قیود نابرابری شبکه ..... ۶۰

۵-۴-۱- قید ولتاژ ۶۰
۵-۴-۲- قید توان اکتیو ۶۰
۵-۴-۳- قید توان راکتیو ۶۰
۵-۴-۴- قید خط انتقال ۶۰
۵-۵- قیود برابری شبکه ۶۱
۵-۵-۱- قید توان اکتیو ۶۱
۵-۵-۲- قید توان راکتیو ۶۱
۵-۶- تابع هزینه ۶۱
۵-۷- جمع بندی و نتیجه گیری ۶۲

فصل ششم- مطالعات عددی و نتایج شبیه سازی مساله ۶۳
۶-۱-اطلاعات شبکه ۶۴
۶-۲- نتایج شبیه سازی مساله ۶۶
۶-۲-۱-شبیه سازی شبکه بدون حضور تولیدات پراکنده ۶۶
۶-۲-۲-شبیه سازی شبکه با حضور واحدهای تولیدات پراکنده ۶۷
۶-۲-۲-۱-تاثیر واحد ۱ بر تلفات ۶۷
۶-۲-۲-۲-تاثیر واحد ۲ بر تلفات ۶۸
۶-۲-۲-۳-تاثیر واحد ۳ بر تلفات ۶۸
۶-۲-۲-۴-تاثیر واحد ۴ بر تلفات ۶۹
۶-۲-۲-۵-تاثیر واحد ۵ بر تلفات ۶۹
۶-۲-۲-۶-تاثیر واحد ۶ بر تلفات ۷۰
۶-۲-۳- شبیه سازی تاثیر واحد تولید پراکنده بر هزینه‌ها ۷۲
۶-۲-۳-۱-تاثیر واحد ۱ بر هزینه شبکه ۷۲
۶-۲-۳-۲-تاثیر واحد ۲ بر هزینه شبکه ۷۲
۶-۲-۳-۳-تاثیر واحد ۳ بر هزینه شبکه ۷۳
۶-۲-۳-۴-تاثیر واحد ۴ بر هزینه شبکه ۷۳
۶-۲-۳-۵-تاثیر واحد ۵ بر هزینه شبکه ۷۴
۶-۲-۳-۶-تاثیر واحد ۶ بر هزینه شبکه ۷۴

فصل هفتم-نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۰
۷-۱-نتیجه گیری ۸۱
۷-۲-پیشنهادات ۸۱

فهرست مراجع ..... ۸۳
پیوست ۱ ..... ۸۶
چکیده انگلیسی ..... ۹۱

فصل اول

# منابع تولید پراکنده و انواع آن

## ۱-۱- مقدمه

صنعت برق نیز مانند سایر تکنولوژی‌ها مرتباً در حال تحول است، بخصوص اینکه زیر بنای این صنعت انرژی است و منابع انرژی در حال تغییر هستند. امروزه با تغییر ساختار سیستم‌های قدرت به منظور بهینه‌سازی آنها و تغییر در ساختار آنها از شکل سنتی به ساختار جدید، استفاده از منابع تولید پراکنده اهمیت انکار ناپذیری دارد. تولیدات پراکنده شامل منابع انرژی های تجدید پذیر و تجدید-ناپذیر می باشند که با توجه به موقعیت جغرافیایی و امکان دسترسی به انرژی‌های تجدیدپذیر وارد شبکه می‌شوند.

## ۱-۲- منابع تولید پراکنده

منابع تولید پراکنده در مقایسه با ژنراتورهای بزرگ و نیروگاهها ، حجم و ظرفیت تولید کمتری داشته و با هزینه پایین تری راه اندازی می شوند . همچنین اتصال این تولیدات به شبکه منافع و سودمندی-های زیادی به دنبال دارد . از جمله مواردی که استفاده از واحدهای تولید پراکنده را مورد توجه قرار می دهند می توان به مسائلی نظیر مسائل اقتصادی در توسعه نیروگاهها ، کاهش آلودگی محیط زیست ، بالا بودن بازدهی این منابع در تولید برق ، بالا بردن کیفیت برق رسانی به مشتریان ، کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع ، بهبود پروفیل ولتاژ ، آزاد سازی ظرفیت شبکه و بسیاری از موارد دیگر اشاره نمود .

در مورد هدف استفاده از تولیدات پراکنده در میان تعاریف ارائه شده ،تشابه زیادی وجود دارد طبق تعریف ،هدف از تولیدات پراکنده ایجاد منابع تولید توان اکتیو می باشد . بنابراین با توجه به تعریف ، در تولیدات پراکنده لزومی به توانایی تولید توان راکتیو نیست.

در مورد مکان تولیدات پراکنده نظرات متفاوتی وجود دارد . عده زیادی مکان تولیدات پراکنده را محل شبکه توزیع می دانند ، عده ای نیز مکان آن را در محل مصرف کننده بیان می کنند و عده کمی نیز مکان تولید پراکنده را در محل خطوط انتقال معرفی می کنند .

## ۱-۳- ظرفیت تولید پراکنده

بر اساس تعاریف صورت گرفته برای منابع تولید پراکنده ، ظرفیت تولید آنها از چندین ده کیلووات تا چندین ده مگاوات تغییر می کند . در جدول زیر یک تقسیم بندی از واحدهای تولید پراکنده بر اساس ظرفیت تولیدی آنها ارائه شده است . [2و1]

جدول (۱-۱) تقسیم بندی تولید پراکنده بر اساس ظرفیت تولید

| نوع تولید پراکنده | محدوده تولید |
|---|---|
| میکرو | 5KW-1W |
| کوچک | 5MW-5 KW |
| متوسط | 50MW-5 MW |
| بزرگ | 300MW-50 MW |

همچنین در جدول زیر انواع مختلفی از تکنولوژی‌های تولید پراکنده همراه با محدوده ظرفیت تولید توان آنها آورده شده است . در ادامه بطور مختصر به بررسی هر کدام از تکنولوژی های تولید پراکنده خواهیم پرداخت .

جدول (۱-۲) برخی از نکنولوژی های تولید پراکنده و ظرفیت قابل دسترس

| تکنولوژی های تولید پراکنده | ظرفیت قابل دسترس |
|---|---|
| توربین گازی سیکل ترکیبی | 35-400 MW |
| موتورهای احتراق داخلی | 5KW-10 MW |
| توربین احتراقی | 1-250 MW |
| میکروتوربین | 35KW-1 MW |
| هیدرو کوچک | 1-100 MW |
| میکرو هیدرو | 25KW-1 MW |
| توربین بادی | 200W-3 MW |
| آرایه فتوولتاییک | 20W-100 KW |
| حرارتی خورشیدی (دریافت کننده مرکزی) | 1-10 MW |

| | |
|---|---|
| حرارتی خورشیدی (سیستم لوتز) | 10-80 MW |
| بیوماس | 100KW-20 MW |
| پیل سوختی (PAFC) | 200KW-2 MW |
| پیل سوختی (MAFC) | 250KW-2 MW |
| پیل سوختی (PEMFC) | 1KW-250 KW |
| پیل سوختی (SOFC) | 250KW-5 MW |
| زمین گرمایی (ژنراترمال) | 5-100 MW |
| انرژی موج | 100MW-1 MW |
| موتور استرلینگ | 2-10 KW |
| ذخیره سازی باتری | 500KW-5 MW |

### ۱-۴- گروه بندی تکنولوژیهای تولید پراکنده

تولید پراکنده دارای انواع گوناگونی می باشد. از متداولترین واحدهای تولید پراکنده می توان به موتورهای احتراقی ، توربین‌های احتراقی، میکروتوربین ها، وسایل ذخیره انرژی ، توربین‌های بادی، انرژی بیوماس ، پیل‌های سوختی و سلول‌های فتوولتاییک اشاره کرد. این تکنولوژی‌ها را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم بندی نمود :

- تکنولوژیهایی که بر اساس سوختهای فسیلی کار می کنند . این دسته شامل موتورهای احتراقی ، میکروتوربین ها ، پیل های سوختی می باشد .
- تکنولوژیهایی که بر پایه استفاده از انرژی های نو استوارند . این دسته شامل توربین های بادی ، سلول های خورشیدی ، انرژی موج ، زمین گرمایی و بیوماس می باشد .

- تکنولوژی هایی که بر اساس ذخیره سازی انرژی استوارند. این دسته شامل باتریها ، چرخهای طیار ، ذخیره سازهای انرژی ابر رسانای مغناطیسی ، خازنها ، ذخیره سازهای انرژی با فشرده سازی هوا و هیدروپمپ ها می باشد . [3و4]

### ۱-۵- بررسی انواع تکنولوژی های تولید پراکنده

در ذیل به اختصار به بررسی برخی از تکنولوژی های مهم تولید پرداخته شده است .

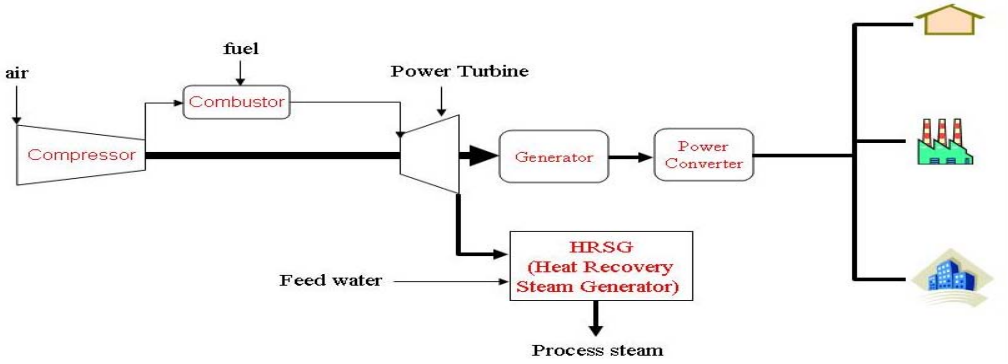
#### ۱-۵-۱- موتورهای احتراق داخلی [5]:

موتورهای پیستونی به صورت گسترده برای انواع ژنراتورهای توزیع استفاده می شوند . پیش بینی می گردد این موتورها در آینده ، بویژه برای ژنراتورهای کوچکتر از 250 کیلووات ، بخاطر عملکرد رضایت بخش آنها ، استفاده بیشتری داشته باشند . چنین موتورهایی از گازوییل ، گاز طبیعی ، پروپان یا متان برای سوخت مورد نیاز خود استفاده می کنند ، دو روش مختلف برای احتراق سوخت در موتورهای پیستونی وجود دارد ، یکی از این روش‌ها احتراق جرقه‌ای است که در آن از یک جرقه الکتریکی که به داخل سیلندر وارد می شود ، استفاده می شود . در روش دوم که احتراق تراکمی می باشد ، سیلندر با بالا رفتن خود مخلوط سوخت و هوا را متراکم می کند تا جایی که درجه حرارت آن تا حدی بالا می رود که خود به خود منفجر می شود . در چنین موتورهایی روتور ژنراتور معمولاً در همان سرعت میل لنگ موتور می چرخد ، اگر چه ممکن است استثنائاتی نیز در این زمینه وجود داشته باشد . فرکانس جریان نیز اغلب با کنترل سرعت موتور ، کنترل می شود .

#### ۱-۵-۲- توربین های گازی

قسمت های اصلی یک توربین گازی چنانکه در شکل ۱-۱ ملاحظه می شود شامل کمپرسور ، اتاق احتراق ، توربین انبساط و مجرای گاز خروجی می باشد . مکانیزم عملکرد توربین های گازی به این ترتیب است که هوا با عبور از کمپرسور فشرده شده سپس تحت شرایط کنترل شده در اتاق احتراق

با سوخت ترکیب می شود و پس از احتراق باعث گردش توربین و در نهایت باعث تولید توان الکتریکی از طریق ژنراتور سنکرون می شود



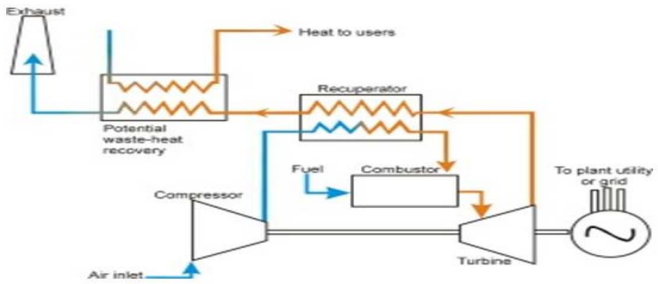

شکل۱-۱: نمایی از تکنولوژی توربین گازی

### ۱-۵-۳- میکرو توربین ها

انتظار می رود که میکرو توربین ها دارای آینده درخشانی برای تولید پراکنده برق باشند . در واقع میکرو توربین ها ، توربین های احتراقی با ظرفیت تولید پایین می باشند که می توانند از گاز طبیعی و نیز سوخت مایع استفاده کنند . در ساده ترین حالت مطابق شکل ۱-۲ ، میکروتوربین ها شامل یک کمپرسور ، احتراقگر (Combustor) برگشت دهنده (Recuperator) ، توربین کوچک و یک ژنراتور می باشند . در سیستم روان سازی آنها از هوا یا روغن استفاده می شود . در مقیاس حجمی ، میکرو توربین ها دارای حجم 1-0.4 متر مکعب و ظرفیت تولید 500-20 کیلووات می باشند . بر خلاف توربین های بزرگ ، میکروتوربین ها در فشار و درجه حرارت پایین تری کار می کنند و سرعت بالایی دارند (1000pm) که گاهی نیاز به هیچ گیربکسی ندارند . واحدهای تجاری میکروتوربین ها دارای هزینه تولید کمی بوده و از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار می باشند . به دلیل سرعت بالای میکروتوربین ها از ژنراتورهای DC در آنها استفاده می گردد . مکانیزم عملکرد میکروتوربین به این ترتیب است که هوا با عبور از فیلتر و کمپرسور در محفظه احتراق به سوخت ترکیب شده و محترق می گردد و سپس توربین به گردش درآمده و ژنراتور توان الکتریکی تولید می نماید . توان تولید شده

توسط مبدل های توان به شبکه تزریق می شود . انواع مختلفی از میکروتوربین ها بر اساس نحوه عملکردشان وجود دارد ، مانند توربین های گازی و توربین های احتراقی.

توربین های گازی ، در واقع ، توربین های احتراقی می باشند که گاز با فشار و دمای بالا تولید می شود ، این گاز فشار بالا ، برای چرخانیدن محور توربین استفاده می گردد . توربین های از نوع گازی معمولاً در واحدهایی با ظرفیت حدود 1MW استفاده می شوند ، اما امروزه مدولهای کوچکتری از میکروتوربین های گازی با ظرفیت تولید 200KW وجود دارند . گرمای تولید شده در فرآیند کاری میکروتوربین ، می تواند به عنوان گرمای بازیافتی برای سیستم های CHP مورد استفاده قرار می گیرد و یا اینکه در سیستم ترکیبی واحد پیل های سوختی با توربین ها به کار گرفته شود .




شکل۱-۲: نمایی از تکنولوژی میکرو توربین

انواع مختلف میکروتوربین ها بر اساس سیکل عملکرد عبارتند از [1,6]

**۱-۵-۳-۱- توربین های گازی سیکل ساده**

در این توربین ها از یک سیکل ترمودینامیکی ساده در ساختار توربین استفاده شده است .

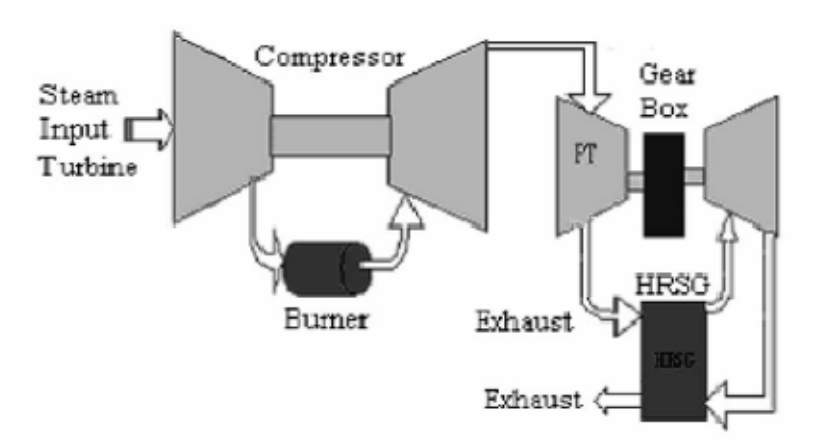
**۱-۵-۳-۲- توربین ها گازی بهبود یافته**

این توربین ها شبیه به توربین های گازی سیکل ساده می باشند ، با این تفاوت که دارای مبدل (Exchanger) گرما نیز می باشند . در واقع این جبرانگر از انرژی حرارتی خروجی توربین ، برای دوباره گرم کردن هوای فشره شده در مسیر عبوری به قسمت احتراقگر ، جهت افزایش بازدهی میکروتوربین ، استفاده می نماید

### ۱-۵-۳-۳- توربین های گازی سیکل ترکیبی

این توربین ها از انرژی حرارتی خروجی ، در یک ژنراتور بخاری بازیافت گرما (HRSG[1]) که بر پایه اصل بازیافت گرما می باشد ، استفاده می کنند که ممکن است شامل یک احتراقگر ، جهت افزایش بخار خروجی نیز باشد.

در شکل ۱-۳ یک میکروتوربین مجهز به سیستم بازیافت گرما نشان داده شده است .




شکل ۱-۳: میکروتوربین مجهز به سیستم بازیافت گرما

استفاده از میکروتوربین ها به دلیل حجم کوچک ، راه اندازی سریع و آلایندگی کم در حال رشد و توسعه می باشد.

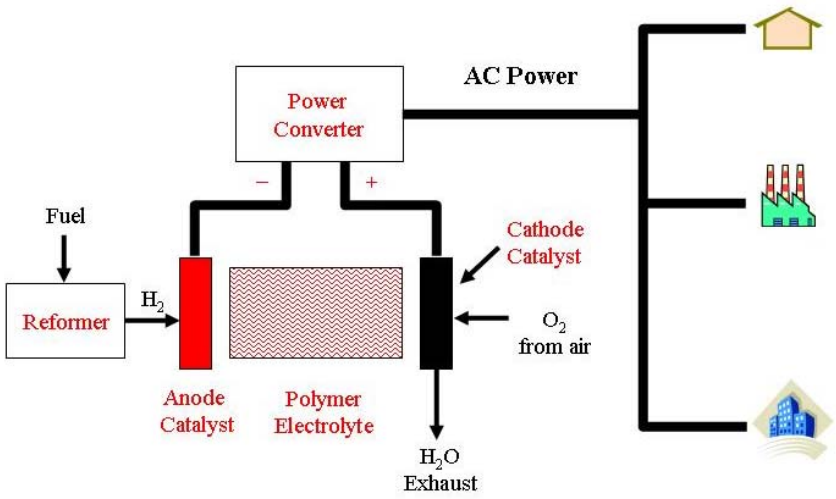
### ۱-۵-۴- پیل های سوختی

در حال حاضر تهیه انرژی ثانویه در جهان به میزان زیادی به احتراق سوخت های فسیلی وابسته است ، لیکن احتراق سوخت های فسیلی با بازدهی نسبتاً کمی صورت می پذیرد و گازهای حاصل از احتراق از عوامل آلودگی محیط زیست محسوب می شوند . بنابراین بشر مدتها است در جستجوی روش ها و توسعه فن آوریهای جدیدی است تا با بازدهی بیشتر و آلودگی کمتری از منابع انرژی سوخت های فسیلی استفاده نماید . پیل سوختی یکی از تکنولوژی های بدیع و نوظهور می باشد ، که

[1] -Heat Recovery Steam Generator

از تطابق و سازگاری خوبی با محیط زیست برخوردار است و عمل تبدیل انرژی در آن بـا بـازدهی بـالا صورت می پذیرد و به نظر می رسد که در آینده نزدیک با توجـه بـه پیشـرفت سـریع فـن آوری آنهـا ،جانشینی مناسب برای فرآیندهای احتراقی سوخت های فسیلی گردند . استفاده از پیل های سـوختی نقطه عطفی در صنعت تولید انرژی به حساب می آید زیرا که تولید الکتریسیته در آن به طور مستقیم و از طریق فعل و انفعالات الکتروشیمیایی و بدون نیاز به احتراق صورت می گیرد ، عـلاوه بـر بـازدهی بالا و تولید انرژی در ابعاد کوچک و بزرگ دارای مزایای ویژه ای چون آلودگی انـدک و سـر و صـدای نامحسوس می باشند . پیل های سوختی علاوه بر تولید الکتریسیته ، حرارت مورد نیاز بـرای مصـارف گرمایشی را نیز تامین می نمایند . بطوریکه با در نظر گرفتن تولیـد مشـترک الکتریسـیته و حـرارت ، بازدهی این سیستم ها به حدود 80٪ درصد می رسد . اجزاء اصلی تشکیل دهنده پیل سوختی در کل عبارت است از : مخزن سوخت ، الکترولیت و الکترود های آند و کاتد .

مطابق شکل ۱-۴ سوخت با ورود به الکترود متخلل و برخورد با یک کاتالیست اکسید کننده ، الکترون از دست می دهد و یونیزه می گردد و اکسیژن هوا نیز با ورود به الکتـرود متخلـل کاتـد و برخـورد بـا کاتالیست احیاء کننده ، احیاء می گردد . الکترون آزاد شده از طریق یک مدار خارجی از آند به طـرف کاتد جریان پیدا می کند و یک جریان الکتریکی DC ایجاد می کند [6].




شکل۱-۴: نمایی از تکنولوژی پیل سوختی و چگونگی عملکرد آن