CCHP2013-4001

بررسی و شبیه‌سازی یک نمونه سیستم میکرو CHP اجرا شده در دانمارک

دکتر مریم السادات اخوان حجازی[۱]، وحید سپری[۲]، مهدی ذوالفقاری[۳]

[۱] استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه کاشان ، Mhejazi@kashanu.ac.ir
[۲]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشگاه علامه فیض کاشانی، Vsepari@yahoo.com
[۳]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشگاه علامه فیض کاشانی،Mahdizolfaghari66@gmail.com

چکیده

در این مقاله یکی از تجارب موفق در زمینه‌ی سیستم‌های میکروCHP برمبنای پیل سوختی اجرا شده در دانمارک، ارائه شده است. نتایج حاصل از اجرای این پروژه نشان دهنده‌ی رضایت عمومی ۹۰ درصدی از پیل‌های سوختی هیدروژنی می‌باشد. همچنین ایجاد فرصت‌های سرمایه گذاری، اشتغال، بهبود وضعیت اقتصادی و کاهش وابستگی به انرژی‌های فسیلی و واردات آن از جمله نتایج مثبت دیگر این پروژه برای کشور دانمارک بوده است. در این تحقیق سیستم اجرا شده در دانمارک در نرم‌افزار کاربردی هومر شبیه‌سازی شده است. با بهینه‌سازی اقتصادی سیستم میکروگرید شامل توربین بادی، پیل سوختی، مبدل، الکترولایزر و تانک هیدروژن نحوه بهره‌برداری از این سیستم مشخص شده است.

واژه های کلیدی

میکروCHP، پیل‌سوختی، توربین بادی، انرژی تجدیدپذیر، هیدروژن، نرم‌افزار هومر

۱- مقدمه

میکروCHPها[۱] به عنوان سیستم‌هایی برای تولید همزمان برق و حرارت در مصارف مسکونی تا ظرفیت 5KW تعریف می‌شوند. عمر مورد انتظار این سیستم‌ها حدود ده تا بیست سال است که از عمر CHPها کم‌تر می‌باشد و بگونه‌ای طراحی می‌شوند که دارای حداقل بازدهی۷۵٪ باشند[۱]. برای آنکه این سیستم‌ها دارای بازار خوبی باشند بایستی دارای ۱)هزینه کم ۲)حجم و اندازه‌ی فشرده ۳)راحتی در نصب ۴) عملکرد اتوماتیک و ۵)تعمیر و نگهداری کم باشند[۲].

از انواع سیستم‌های میکروCHP می‌توان به نوع موتورهای رفت و برگشتی[۲] که بر مبنای احتراق و سیلندر پیستون کار می‌کنند، موتورهای انبساطی[۳] که یک موتور احتراق خارجی است که بر مبنای چرخه‌ی ترمودینامیکی کار می‌کند، سیستم‌های پیل سوختی و... اشاره نمود[۳,۱]. در ادامه به بررسی پروژه‌ای که بر مبنای پیل سوختی در دانمارک اجرا شده است می‌پردازیم.

۲- موقعیت جغرافیایی و توصیف عمومی پروژه

این پروژه انجمن هیدروژن لولند[۴] نام گرفت با این ایده‌ی پایه که از هیدروژن در پروسه‌های مختلف استفاده شود. این پروسه‌ها شامل استفاده از هیدروژن در پیل‌های سوختی برای تولید انرژی الکتریکی و حرارت در مصارف خانگی و صنعتی بوده و در آن‌ها هیدروژن به عنوان یک گاز صنعتی حاصل از الکترولیز آب، مصرف می‌شود. اکسیژن حاصل از آن نیز برای روش‌های جدید آزمایش تصفیه آب فاضلاب شهری استفاده می‌شود[۴].

طرح نیروگاه مذکور در کشور دانمارک و در یک محیط صنعتی ساخته شده که در این محیط منابع دیگری مانند انرژی بادی و... نیز وجود دارد[۵].

۳- اهداف پروژه

هدف از راه‌اندازی انجمن هیدروژن، ساختن یک نیروگاه کامل پیل سوختی/ هیدروژنی جهت استفاده از هیدروژن در زیر ساخت‌های انرژی موجود می‌باشد. از این منظر می‌توان اهداف پروژه را به این صورت عنوان نمود[۵]:

الف) کاوش بیشتر در تکنولوژی‌های مختلف هیدروژن شامل تجزیه کننده‌هایPEM[۵]، سیستم‌های میکروCHP پیل سوختی PEM[۶]، ذخیره سازی کم فشار هیدروژن و اکسیژن و بکارگیری این سیستم‌ها به صورت انفرادی و جمعی.

ب) ایجاد زمینه‌ی تکنولوژیکی و دانش برای پروژه‌های شرکت IRD[۷] در دانمارک

ج) استفاده از منابع انرژی موجود در لولند (باد و..) در جهت گسترش و فرهنگ سازی برای استفاده از آن‌ها

چ) ابهام زدایی از این تکنولوژی‌ها برای آیندگان

هـ) فراهم آوردن بسترهای تجاری مناسب و ایجاد نهادهای مسئول برای پاسخ‌گویی سریع و مؤثر به عنوان یک عنصر اساسی در جهت حفظ رشد تکنولوژیکی دانمارک.

د) ایجاد زمینه‌ی مساعد برای تحقق کامل انجمن هیدروژن

[1] . Micro- Combined Heat And Power
[2] . Reciprocating Engines
[3] . Stirling Engines

[4] . Hydrogen Community Lolland
[5] . Proton Exchange Membrane electrolysers
[6] . Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cells
[7]. Innovation Resources and Development

۴- فازهای پروژه و سرمایه گذاری

پروژه‌ی بزرگ و ملی دانمارک برای تکنولوژی پیل سوختی، در جهت تولیدهای همزمان در مقیاس میکرو، دارای سه فاز اصلی زیر بوده است که از سال ۲۰۰۷ تا سال جاری(۲۰۱۳) تقریباً به طور کامل انجام شده است[۵,۴].

فاز اول: در این مرحله انواع مختلف سیستم‌های پیل سوختی ساخت دانمارک در آزمایشگاه تکنولوژی گاز دانمارک[1] آزمایش شدند. علاوه بر آن، یک واحد نمونه‌ای تولید هیدروژن و سیستم پیل سوختی در یکی از نقاط محلی جهت استفاده در فازهای دوم و سوم نصب گردید.

فاز دوم: در این مرحله حدود ۱۳ سیستمCHP پیل سوختی در خانه‌های مسکونی و کارگاه‌های کوچک نصب شد.

فاز سوم: در این مرحله حدود ۸۰ سیستم CHP بر مبنای پیل سوختی در خانه‌های مسکونی و کارگاه‌های کوچک نصب گردید. در این فاز سه نوع سیستم پیل سوختی به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت:

الف) سیستم‌های میکرو CHP بر مبنای پیل سوختی PEM با تغذیه هیدروژن[2] توسط IRD تأمین می‌شوند. تغذیه این سیستم‌ها از تجزیه کننده‌های(الکترولایزرها) محلی تأمین می‌گردد.

ب) سیستم‌های میکروCHP بر مبنای پیل سوختی SOFC با تغذیه گاز طبیعی[3]

ج) سیستم‌های میکرو CHP بر مبنای پیل سوختی HT-PEM با تغذیه گاز طبیعی[4]

لازم به توضیح است که همه‌ی سیستم‌های تولید همزمان فوق، جهت عملکرد بهینه، به یک سیستم جمع کننده‌ی آب گرم ۳۵۰ لیتری متصل شده‌اند.

۵- مفاهیم فنی و توصیف اجزا

پروژه‌ی نیروگاه پیل سوختی/هیدروژنی مذکور شامل یک محفظه انرژی[5] (40 Ft) است که حاوی دو الکترولایزر 4kW و دو پشته‌ی پیل سوختی PEM با محفظه 2kW و 7.5KW می‌باشد. به علاوه، این محفظه حاوی لوله‌های اکسیژن، هیدروژن، نیتروژن، آب فرآوری و آب فاضلاب می‌باشدو همچنین این محفظه شامل وسایل حفاظتی مانند آشکار سازهای گاز، هشدار دهنده‌ها و شیرهای قطع کننده می‌باشد. در کنار محفظه انرژی یک محفظه به نام محفظه فرآیند[6][6]وجود دارد. این محفظه حاوی ادوات قدرت و وسایل کنترل، تنظیم و مانیتورینگ(SRO)[7] می‌باشد. دلیل داشتن دو محفظه مجزا از هم دیگر آن است که محفظه حاوی گازهای اشتغال‌زا از تجهیزات الکتریکی دور باشد[۵].

۵-۱- مخزن گاز

دو واحد ذخیره‌ی کم فشار در نزدیکی محفظه انرژی قرار گرفته‌اند، یکی برای اکسیژن و دیگری برای هیدروژن.

ظرف حاوی هیدروژن برای سوخت پیل‌های سوختی و ظرف حاوی اکسیژن جهت تصفیه آب فاضلاب بکار می‌رود. حجم ظرف هیدروژن $25m^3$ و ظرف اکسیژن $12.5m^3$ می‌باشد که توسط شرکت AGA/Linde تامین شده‌اند. به دلایل حفاظتی این دو ظرف در فاصله‌ی ۷۵ متری از هم دیگر قرار گرفته‌اند. شکل ۱ این مخازن را نشان می‌دهد[۵].

شکل ۱: مخازن هیدروژن و اکسیژن

۵-۲ تجزیه کننده‌ها(الکترولایزرها)

دو الکترولایزر 4kW توسط شرکت کانادایی هیدروژن آماده شده‌اند. ماژول HYLYZER[8]،[7]هیدروژن را بر مبنای تکنولوژی مدرن PEM تولید می‌کند و در این مورد از آب تمیز و یک منبع DC یا AC استفاده می‌کند. هیدروژن تولیدی در پیل سوختی مصرف می‌شود ولی ممکن است در وسایل نقلیه، وسایل الکتریکی قابل حمل و ... نیز استفاده شود. اکسیژن نیز می‌تواند در موارد زیادی مثل جوشکاری صنعتی، تصفیه‌ی آب فاضلاب، مزارع پرورش ماهی و ... استفاده شود.

توان این الکترولایزرها از یک منبع بادی با مشخصات 400V و 50Hz تامین می‌شود.

همچنین آب مورد نیاز این الکترولایزر به وسیله‌ی یک سیستم تخلیص دو مرحله‌ای برمبنای تبادل یونی و تراوش معکوس بدست می‌آید. این آب دارای درجه‌ی خلوص بالا (با هدایت کمتراز 0.2 µS) می‌باشد. محفظه این سیستم 60Lit/H بوده و توسط شرکت Silhorko Eurowater تامین شده است [۵].

۵-۳- سیستم تولید همزمان پیل سوختی

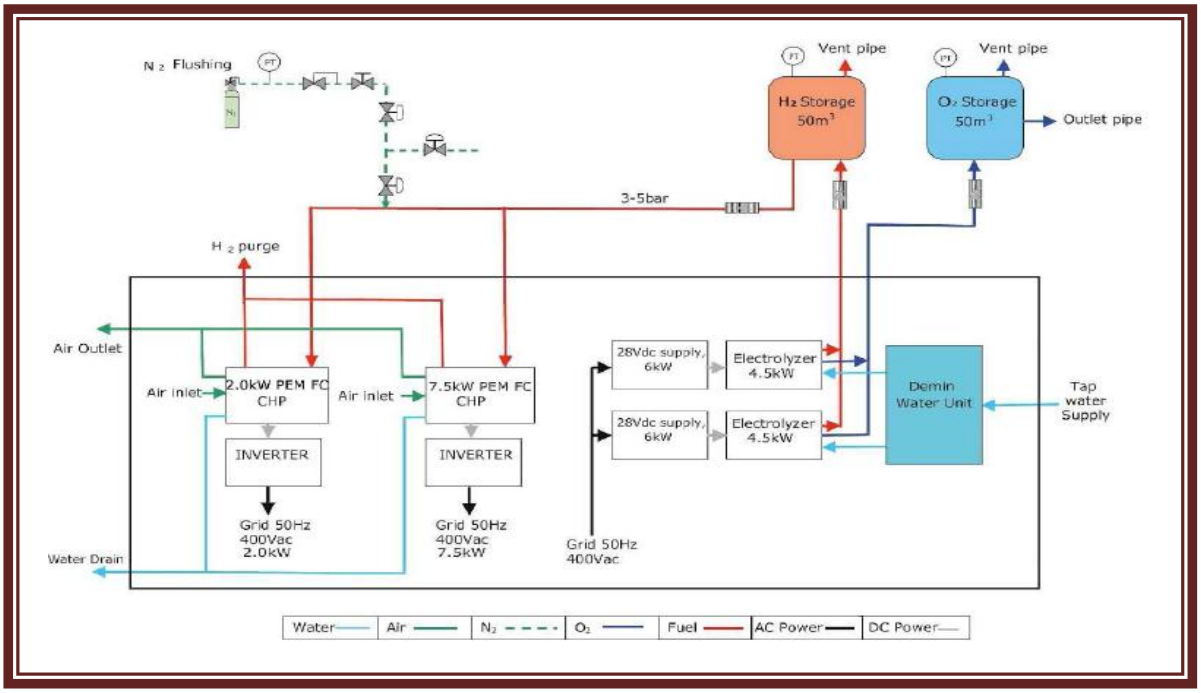
در شکل ۲ نمایی از سیستم پیل سوختی که برای سیستم‌های میکرو CHP خانگی مناسب بوده و در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته را نشان می‌دهد.

طرح کلی آن برای سیستم 7.5 KW دارای سه ماژول مشابه است.

[1]. Danish Gas Technology
[2]. Hydrogen Fueled PEM Fuel- Cell
[3]. Natural Gas Fuelled SOFC(Solid Oxide Fuel Cells)
[4]. Natural Gas Fuelled High Temperature PEM FC
[5]. Energy Container
[6]. Process Container
[7]. Strategy Regulation and Observation
[8]. HYLYZER یک ماژول الکترولایزری می‌باشد که با استفاده از آب تمیز و برق AC و DC، هیدروژن تولید می‌کند.

در این شکل، ماژول‌های پیل سوختی و رطوبت‌سازها در بالا و پمپ‌ها و تجهیزات الکترونیکی در پایین قرار گرفته‌اند. این پشته‌های پیل سوختی توسط شرکت IRD Fuel cells ساخته شده است. این پیل‌های سوختی از هیدروژن حاصل از الکترولایزرها که در سیلندرهایی ذخیره شده‌اند، تغذیه می‌شوند. هر دو سیستم پیل سوختی (2KW و 7.5KW) انرژی الکتریکی DC و گرما تولید می‌کنند. توان الکتریکی به شبکه‌ی سراسری تحویل داده می‌شود و حرارت آن نیز به سیستم‌های حرارتی خارجی ارسال می‌گردد.

شکل ۲: ساختار سیستم پیل سوخت



شکل ۳: شماتیک پروسه

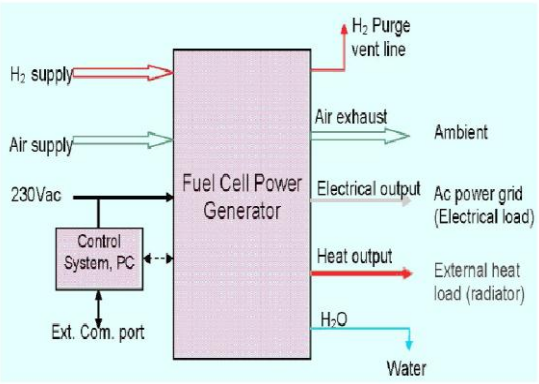
طرح کلی برای سیستم 7.5 KW شامل سه ماژول پیل سوختی مشابه است و دیاگرام آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

هر ماژول شامل پشته‌ی پیل سوختی است که یک توان الکتریکی DC به مقدار 2.5 KW را فراهم می کنند. جریان DC از طریق یک اینورتر(DC/AC) با بازده بالا به شبکه‌ی سراسری وصل می‌شود. خروجی اینورتر 400V متناوب (AC) سه فاز است.

همان طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، سیستم‌های پیل سوختی با توان الکتریکی نامی 2KW و 7.5KW از مخازن هیدروژن تغذیه می‌شوند که این مخازن به عنوان یک تانک بافر[۸۱] برای هیدروژن تولیدی از الکترولایزرها عمل می‌کنند.

یک سیستم کنترل نیز به وسایل حفاظتی مانند آشکار سازهای گاز برای هیدروژن و اکسیژن و... متصل شده است و عملکرد کل نیروگاه را مانیتورینگ می‌کند.

در شکل۴ دیاگرام ورودی/ خروجی برای یک ماژول پیل سوختی 2.5 KW نشان داده شده است.



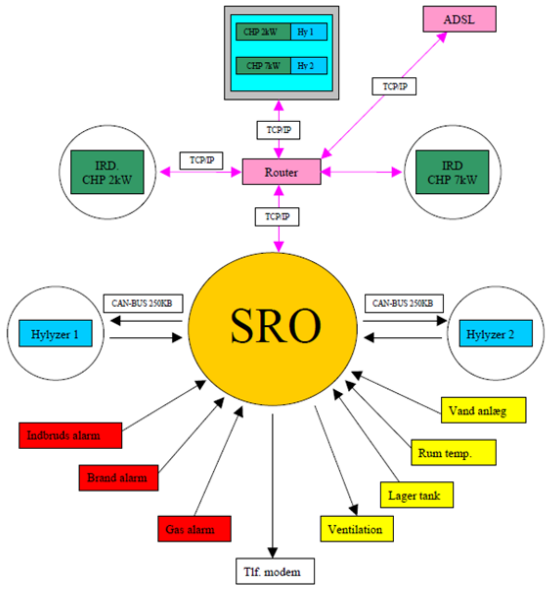
شکل ۴: دیاگرام ورودی/ خروجی برای یک ماژول پیل سوختی 2.5 KW

[1]. Buffer Tank

۴-۵ سیستم کنترلی

قسمت مرکزی سیستم، واحد SRO[۲۱](کنترل، تنظیم و مانیتورینگ است) که در شکل ۵ نشان داده شده است. واحد SRO به تمامی زیر سیستم‌ها ارتباط دارد. هر زیر سیستم مانند پیل‌های سوختی، الکترولایزرها و... از طریق باس CAN و یا اترنت در ارتباط می-باشند[۶,۵].

یک روتر[۲] قابلیت کنترل از راه دور را از طریق یک کامپیوتر PC فراهم می‌کند. یک مودم تلفن نیز تماس‌های هشدار و اخطار را برای افراد مسئول ایجاد می‌کند. سیستم‌های دزدگیر واکتشاف گاز به طور مستقل ازSRO عمل می‌کنند.



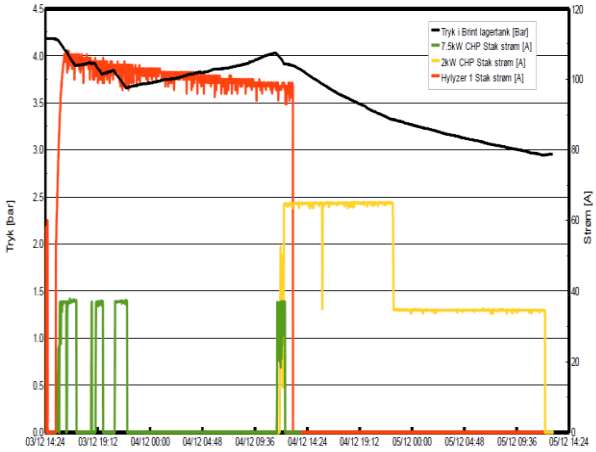
شکل ۵ : سیستم کنترلی SRO

۵- تجربه عملیاتی و عملکرد سیستم

در شکل ۶ نمونه‌ای از راه اندازی، دو روزکاری از این سیستم نشان داده شده است. در این شکل فشار و جریان را برحسب مدت زمان عملیات رسم شده است. خط سیاه فشار در مخزن ذخیره‌ساز هیدروژن را نشان می دهد. خط قرمز جریان ورودی به دو الکترولایزر را نشان می دهد. خطوط سبز و نارنجی هم جریان خروجی از دو پشته پیل سوختی را نشان می دهد. همان طور که در این شکل نشان داده شده است، به هنگام عملکرد الکترولایزرها فشار مخازن هیدروژن افزایش می‌یابد و نیز به هنگام عملکرد پیل‌های سوختی فشار مخازن کاهش پیدا می‌کند .

۶- جنبه‌های محیطی و رضایت عمومی

پاکیزه‌ترین راه برای تولید هیدروژن استفاده از انرژی الکتریکی حاصل از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. توسط این انرژی می‌توان آب را به اجزای تشکیل دهنده‌اش(هیدروژن و اکسیژن) تجزیه نمود.



شکل۶ : داده های عملیاتی سیستم

تلفات این فرایند ممکن است اکسیژن تقطیر شده باشد. با این وجود نیروگاه لولند از این اکسیژن برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌کند.

انرژی باد یکی از منابع تجدیدپذیر و پاکیزه است. می‌توان از این انرژی برای تولید هیدروژن استفاده کرد که در این صورت به این سیستم‌ها، سیستم‌های بادی-هیدروژنی گفته می‌شود. مزیت چنین سیستم‌هایی عبارت است از:

انرژی باد یکی از منابع تجدیدپذیر و پاکیزه است. می‌توان از این انرژی برای تولید هیدروژن استفاده کرد که در این صورت به این سیستم‌ها، سیستم‌های بادی- هیدروژنی گفته می‌شود. مزیت چنین سیستم‌هایی عبارت است از:

الف) کاهش وابستگی دانمارک به واردات انرژی‌های فسیلی

ب) عدم تولید کربن و آلوده سازی هوا

ج) بهبود وضعیت اقتصادی از طریق ایجاد اشتغال و افزایش تولید محصولات

در سیستم‌های بادی- هیدروژنی از آنجایی که انرژی حاصل از باد یک انرژی نوبه‌ای[۳] است، هیدروژن می‌تواند به عنوان ذخیره ساز انرژی مطرح شود. در واقع هیدروژن تطابق بین تولید حاصل از انرژی بادی و تقاضا را فراهم می‌آورد.

یکی از اولویت‌های بالای این پروژه، جلب رضایت‌های عمومی در رابطه با تکنولوژی پیل‌های سوختی و هیدروژنی می‌باشد. از این نظر، پروژه موفقیت بالایی داشته است. مدت کوتاهی پس از اتمام این پروژه بیش از ۹۰٪ ساکنین اطراف Vestenkov مشتاق میزبانی از نیروگاه‌های تولید همزمان پیل‌های سوختی بودند.

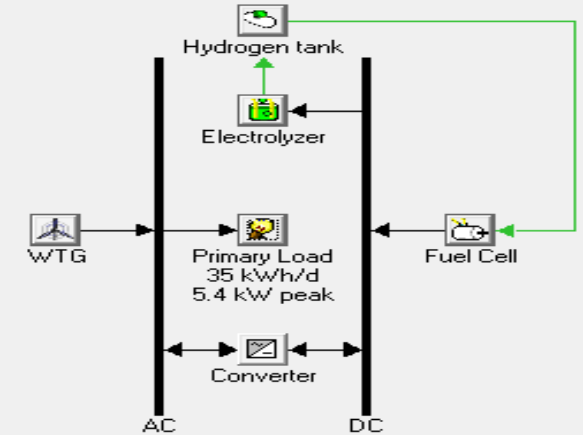
همچنین با اجرای این پروژه، روند افزایشی مصرف انرژی در این کشور متوقف گردیده است به طوری که ذخیره‌ی انرژی در این کشور در سال اتمام پروژه‌ی مذکور حدود ۱.۲۵ ٪ بوده است.

همچنین میزان کاهش در گاز Co_2 در سال ۲۰۱۰ حدود ۲۰٪ برآورد گردید[۷,۶].

---

1. Strategy Regulation and Observation
2. Router
3. Intermittent

پیش‌بینی شده است تا سال ۲۰۲۵ حدود ۵۰ ٪ از کل انرژی مورد نیاز دانمارک توسط منابع بادی تامین شود به طوری که در سال ۲۰۲۵ این کشور حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ توربین بادی ساحلی را نصب خواهد نمود. لذا برای تحقق چنین هدفی و نیز دیگر اهداف مورد نظر در سیاست‌های تدوین شده، این کشور در زمینه‌ی سیستم‌های تولید انرژی تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌ای را در نظر گرفته است [۸].



شکل ۷: مدل سیستم شبیه‌سازی شده

۷- شبیه سازی با نرم‌افزار HOMER [۹]

در این قسمت سعی شده است که مدل سیستم اجراشده در دانمارک، با استفاده از نرم‌افزار هومر [۹] شبیه‌سازی شود. نرم افزار مدل‌سازی انرژی هومر یک ابزار قدرتمند برای طراحی و آنالیز سیستم‌های قدرت هیبریدی است که ترکیبی از ژنراتورها، توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی، پیل سوختی، باتری‌ها، انرژی برق آبی، بیوماس و ... می‌باشد. هومر می‌تواند تعیین کند که برای هر دو حالت متصل به شبکه یا مستقل از شبکه چگونه منابعی مانند باد و خورشید می‌توانند به طور بهینه در سیستم‌های هیبرید، استفاده شود.

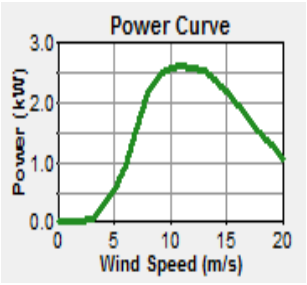
جدول ۱: مشخصات اندازه هر سیستم

Wind turbine	2 WTG
Fuel Cell	12 Kw
Inverter	12 Kw
Rectifier	12 Kw
Electrolyzer	12 Kw
Hydrogen Tank	300 kg

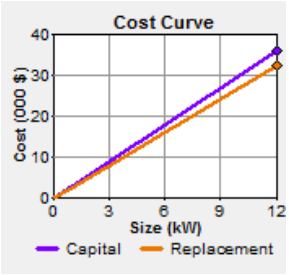
مدل شبیه‌سازی در شکل ۷ نشان داده شده است. این مدل شبیه‌سازی شامل دو عدد توربین بادی که مشخصه توانی آن در شکل ۸ نشان داده شده، همچنین اطلاعات مربوط به مدل پیل سوختی، و بار در شکل‌های ۹ و ۱۰ و جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- جزئیات اجزای سیستم

Components	Capital cost	Replacement cost	Efficiency (%)	Life time
WT	15000	10000	60	25
FC	3000	2700	47	5
Electrolyzer	2000	1800	76	25
H2 tanks	1300	1200	100	10



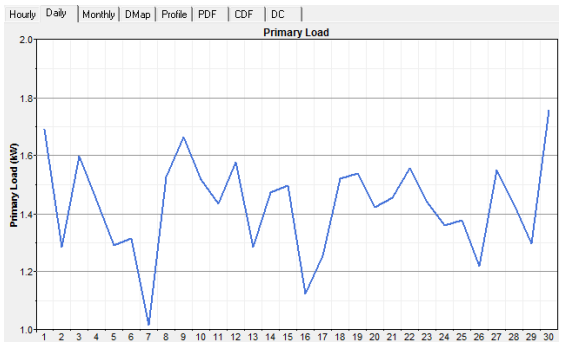
شکل ۸ : منحنی توان توربین بادی



شکل ۹: نمودار هزینه بر حسب اندازه پیل سوختی

۸- نتایج شبیه‌سازی

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل شکل ۷ در زیر آورده شده است. در شکل ۱۱ منحنی توان الکتریکی تولید شده توسط منبع بادی و پیل سوختی را نشان می‌دهد که در این بین ۸۵ درصد از توان تولید شده سهم توربین بادی و ۱۵ درصد هم سهم پیل سوختی می‌باشد. دلیل تولید بیشتر از طرف توربین بادی، مسئله هزینه و بهینه‌سازی سیستم می‌باشد. یعنی در حالتی که شبکه دارای یک بار متوسط 35kWh/d باشد، بهینه‌ترین حالت شبکه این حالتی می‌باشد که هومر تخمین زده است.

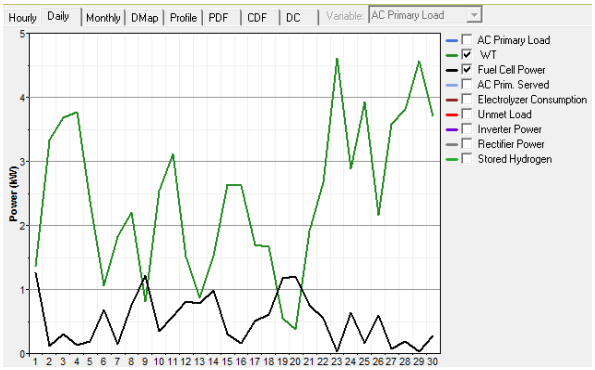


شکل ۱۰: منحنی ساعتی در بار ماه ژانویه

در جدول ۳ قیمت‌های تفکیک‌شده مربوط به هر واحد را نشان می‌دهد. کل هزینه اولیه و هزینه قطعاتی که باید بعد از یک سال تعویض شود 10316$/yr می‌باشد که از این هزینه ۴۷درصد، مربوط به سیستم پیل سوختی، ۲۳ درصد مربوط به توربین بادی، و ۱۴ درصد مربوط به مبدل، ۸ درصد مربوط به الکترولایزر، ۵ درصد

[1] Hybrid Optimization Model for Electrical Renewable

مربوط به تانک هیدروژن و بقیه مربوط به دیگر اجزاء سیستم می‌باشد.



شکل۱۱: منحنی توزیع توان در ماه ژانویه

کل هزینه سیستم 12,012$/yr می‌باشد که از این هزینه ۴۹ درصد سهم سیستم پیل سوختی، ۲۰ درصد سهم توربین بادی، ۱۳ درصد سهم مبدل، ۸ درصد سهم الکترولایزر، ۴ درصد سهم تانک هیدروژن و ۶ درصد مابقی هم مربوط به دیگر قسمت‌های سیستم می‌باشد.

جدول ۳: قیمت‌ها به صورت تفکیک‌شده

Component	Initial Capital	Annualized Replacement	Annual O&M	Total Annualized
	($)	($/yr)	($/yr)	($/yr)
WTG	30,000	0	50	2,397
Fuel Cell	36,000	2,049	1,097	5,962
Converter	11,400	601	120	1,613
Electrolyzer	10,000	782	150	932
Hydrogen Tank	3,900	0	30	547
Other	3,970	0	250	561
Totals	95,270	2,863	1,697	12,012

در نتیجه، پس از تجزیه و تحلیل همه مدل‌های سیستم فوق، این چیدمان به عنوان مقرون به صرفه‌ترین حالت، در مقایسه با دیگر حالت‌ها با کمترین هزینه انرژی (0.94$/kWh) در نظر گرفته شده است. یعنی بهینه‌ترین حالتی که می‌توان برای سیستم فوق در نظر گرفت حالتی است که ۸۵٪ از کل توان مورد نیاز را توسط توربین بادی تولید کنیم و این کار خود ۲۰٪ از کل هزینه سیستم را متحمل می‌شود، ۱۵٪ از کل توان الکتریکی از طریق پیل سوختی تولید شود و این کار خود باعث متقبل شدن ۴۹٪ درصد از کل هزینه سیستم می‌شود.

۹- نتیجه‌گیری

پروژه‌ی میکروCHP اجرا شده در دانمارک به طور مشخص ثابت کرد که می‌توان به طور مؤثری رضایت عمومی را در استفاده از تکنولوژی‌های جدید مانند انرژی بادی و... را جلب نمود و لذا آن‌ها را جهت کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، بهبود اقتصاد و... گسترش داد. همچنین در مناطقی که هنوز استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر رواج نیافته است، کسب مجوزها و هماهنگی‌های لازم ممکن است بسیار زمان‌بر باشد. لذا پیشنهاد می‌شود که استانداردها و مجوزهای لازم در مراحل ابتدایی و آغازین پروژه سازماندهی تنظیم شوند. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار هومر بهینه‌ترین حالت را برای سیستم میکروگرید شبکه مورد نظر در نظر گرفته شده است که طبق این نتایج شبیه‌سازی ۸۵ از تولید سهم توربین بادی و ۱۵ درصد از تولید هم سهم پیل سوختی می‌باشد.

مراجع

[1] Alexandros Arsalis, Development of Next Generation micro-CHP System Based on High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell Technology, Thesis in DOCTOR OF PHILOSOPHY in Mechanical Engineering, Dissertation submitted to the Faculty of Engineering and Science, Aalborg University , (2011)
[2] Mikaeal, Jan, Residential Fuel Cell Micro Cogeneration – Opportunities and Challenges in the System Design, Danish Gas Technology Center, (2008)
[3] J. M. Pearce, Expanding Photovoltaic Penetration with Residential Distributed Generation from Hybrid Solar Photovoltaic and Combined Heat and Power Systems, *Energy* 34, pp. 1947-1954 , (2009)
[4] Utilisation of hydrogen and fuel-cell technology for micro combined heat and power production. Jesper Krog Jensen. Bass Sea Solutions. Jesper Bech –Madsen. IRD Fuel Cell A/S, (2007)
[5] Henrik Iskov, Lolland Case Study: Micro CHP with integrated electrolyser and gas storage,
Danish Gas Technology Centre, IEAHIA Task 18 Integrated Systems, (2009)
[6] EFP-06, Demonstratorium - Hydrogen Society in Nakskov. English summary included. Jesper Bech Madsen, IRD Fuel cells. 2008.
(2008)
[7] European Islands Network on Energy & Environment Newsletter , February (2010).
[8] Ea Energy Analysis,"50% Wind Power in Denmark in 2025", www.eaea.dk
[9] http://www.nrel.gov/international/tools/HOMER/homer.html.