



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدیریت توان در یک سیستم تولید ترکیبی آرایه های خورشیدی / پیل سوختی /
الکترو لایزر / ذخیره ساز انرژی متصل به شبکه توزیع

محمد علی اسماعیلی

استاد راهنما:

دکتر امین حاجی زاده

آذر ۱۳۹۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه قدرت

مدیریت توان در یک سیستم تولید ترکیبی آرایه های خورشیدی / پیل سوختی /
الکترو لایزر / ذخیره ساز انرژی

دانشجو : محمد علی اسماعیلی

استاد راهنما:

دکتر امین حاجی زاده

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

آذر ۱۳۹۴

تقدیم به تمامی محققین دوستدار علم و دانش

آنچنان زندگی کن گویی که فردا فواهی مرد
آنچنان بیاموز گویی که تا ابد زنده فواهی ماند

ماهاتما گاندی

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بگوییم یا بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین کرده و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین می‌کند؛ بر حسب وظیفه و به مصداق "من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق"، شایسته است:

- از پدر دلسوز و مادر فداکارم، این دو معلم بزرگوار، که همواره بر کوتاهی و درشتی من قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند. آن‌ها که در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده‌اند و با حمایت‌های خود در محیطی مطلوب، آرامش روحی و آسایش فکری لازم را فراهم نمودند تا مراتب تحصیلی و نیز پایان‌نامه خود را به نحو احسن به اتمام برسانم؛

- از استاد شایسته، جناب آقای دکتر حاجی زاده، که در کمال سعه‌صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه برای من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند؛

کمال تشکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید. همچنین، بر خود فرض می‌دانم که سپاسگزار کمک‌ها و حمایت‌های تمامی اعضای خانواده و دوستان صمیمی خود، به ویژه آقای علی علاالدینی، باشم.

محمدعلی اسماعیلی

آذر ۱۳۹۴

در سال های اخیر استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی به سرعت در حال توسعه است که از مهم ترین علل آن می توان به ظرفیت محدود و روبه پایان سوخت های فسیلی و افزایش قیمت سوخت اشاره کرد. از جمله این منابع تجدید پذیر می توان به آرایه های خورشیدی و نیز پیل های سوختی اشاره کرد که هر یک مزایا و معایب مربوط به خود را دارند. معمولا این منابع به صورت ترکیبی مورد بهره برداری قرار می گیرند. مهم ترین دلیل استفاده از سیستم های تولید ترکیبی، پوشش معایب هر یک از منابع با استفاده از منابع دیگر می باشد.

در این پایان نامه رفتار یک سیستم قدرت ترکیبی متصل به شبکه توزیع، توسط یک الگوریتم مدیریت توان، تحت الگوی بار متغیر در یک شبانه روز مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا ظرفیت هر یک از منابع، توسط نرم افزار HOMER و با توجه به قیمت سوخت و انرژی تعیین می شود و سپس در این سیستم ترکیبی که شامل: آرایه های خورشیدی، پیل سوختی، الکترولایزرو باتری می باشد، اولویت عملکرد منابع توان، توسط این الگوریتم تعیین می شود و عملکرد این سیستم ترکیبی تحت الگوی بار متغیر در یک شبانه روز در شرایط عادی؛ و نیز باوجود خطای تکفاز در خروجی آرایه خورشیدی مدیریت می شود. الگوریتم پیشنهادی در این پایان نامه، با در نظر گرفتن پارامتر های وضعیت شارژ باتری و نیز میزان فشار تانک هیدروژن، دستور لازم را جهت شارش توان از جانب هر یک از منابع صادر می کند. توان مربوط به بار و نیز هر یک از منابع، ولتاژ لینک DC، فشار تانک هیدروژن و وضعیت شارژ باتری در هر مرحله و تحت شرایط ذکر شده، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. تحلیل و بررسی ابعادی سیستم توسط نرم افزار HOMER و شبیه سازی های مربوط به عملکرد سیستم تولید ترکیبی متصل به شبکه توزیع در محیط Simulink/MATLAB انجام شده است.

کلمات کلیدی:

مدیریت توان، سیستم توزیع، سیستم تولید ترکیبی، آرایه های خورشیدی، پیل سوختی، باتری، الکترولایزر، تانک هیدروژنی، ولتاژ لینک DC، خطای تکفاز

فهرست عناوین

فصل ۱: مقدمه	۱
۱-۱- ضرورت استفاده از منابع تجدید پذیر (RES)	۲
۲-۱- ذخیره سازهای انرژی	۳
۱-۲-۱- باتری	۴
۳-۱- سیستم های تولید توان ترکیبی	۵
۱-۳-۱- ضرورت استفاده از سیستم های تولید توان ترکیبی	۵
۲-۳-۱- سیستم های تولید ترکیبی و الکترولیز	۸
۴-۱- فصل بندی گزارش	۹
فصل ۲: معرفی منابع تجدید پذیر انرژی و مروری بر کارهای انجام شده در زمینه سیستم	
های تولید ترکیبی	۱۱
۱-۲- معرفی اصلی ترین منابع انرژی تجدید پذیر مد نظر پایان نامه	۱۲
۱-۱-۲- انرژی خورشیدی	۱۲
۱-۱-۱-۲- روند کار سیستم تبدیل انرژی خورشیدی (SECS)	۱۲
۲-۱-۲- پیل سوختی	۱۳
۳-۱-۲- انواع پیل های سوختی	۱۵
۱-۳-۱-۲- پیل سوختی تبادل غشای یونی	۱۶
۲-۳-۱-۲- طرز کار پیل سوختی تبادل غشای یونی	۱۶
۳-۳-۱-۲- ویژگی های پیل سوختی تبادل غشای یونی	۱۷
۴-۳-۱-۲- کاربرد های پیل سوختی تبادل غشای یونی	۱۷
۴-۱-۲- الکترو لایزر	۱۷
۱-۴-۱-۲- الکترو لایز	۱۷
۲-۴-۱-۲- فرآیند الکترو لایز	۱۸
۱-۲-۴-۱-۲- آلکالین	۱۸
۲-۲- انرژی های تجدید پذیر و سیستم های تولید ترکیبی	۱۹
۳-۲- معرفی برخی از کارهای تحقیقاتی در زمینه مدیریت توان در سیستم های تولید ترکیبی	۲۰

۲۰	۱-۳-۲- سیستم ترکیبی متصل به شبکه
۲۲	۲-۳-۲- سیستم ترکیبی متصل به باس DC
۲۲	۱-۲-۳-۲- اتصال سیستم ترکیبی به یک باس DC
۲۳	۲-۲-۳-۲- اتصال سیستم ترکیبی با پارامتر کنترلی متفاوت
	۳-۳-۲- سیستم تولید ترکیبی با حضور توربین بادی، آرایه های خورشیدی، پیل سوختی-
۲۴	الکترولایزر
۲۴	۱-۳-۳-۲- در سیستم ترکیبی با حضور باتری
۲۵	۲-۳-۳-۲- سیستم ترکیبی بدون حضور باتری
۲۶	۴-۳-۲- ضرورت استفاده از ترکیب مورد نظر این پایان نامه
۲۹	فصل ۳: مدلسازی و تشریح اجزای سیستم تولید ترکیبی
۳۰	۱-۳- مقدمه
۳۰	۲-۳- معرفی کلی سیستم ترکیبی مد نظر
۳۱	۳-۳- تشریح مدل منابع
۳۱	۱-۳-۳- سیستم خورشیدی
۳۱	۱-۱-۳-۳- آرایه خورشیدی
۳۳	۲-۱-۳-۳- ردیابی بیشینه توان (MPPT)
۳۴	۲-۳-۳- پیل سوختی-الکترولایزر-تانک هیدروژنی
۳۴	۱-۲-۳-۳- پیل سوختی
۳۵	۲-۲-۳-۳- الکترولایزر-تانک هیدروژن
۳۵	۱-۲-۲-۳-۳- الکترولایزر
۳۵	۲-۲-۲-۳-۳- تانک هیدروژن
۳۷	۳-۳-۳- باتری
۳۷	۴-۳- تشریح مبدا
۴۱	فصل ۴: معرفی و طراحی سیستم کنترلی
۴۲	۱-۴- مقدمه
۴۲	۲-۴- ضرورت طراحی و استفاده از سیستم کنترلی
۴۲	۳-۴- تشریح روند طراحی و عملکرد سیستم کنترلی

۴۴	۱-۳-۴- حالات مختلف عملکرد سیستم کنترلی
۴۷	فصل ۵: شبیه سازی و تحلیل نتایج
۴۸	۱-۵- مقدمه
۴۸	۲-۵- نتایج نرم افزار هومر
۴۹	۳-۵- شبیه سازی
۴۹	۱-۳-۵- شرایط کلی
۵۰	۴-۵- تحلیل شبیه سازی
۵۰	۱-۴-۵- شبیه سازی تحت شرایط معمول در یک شبانه روز
۵۷	۲-۴-۵- بررسی افزایش فشار تانک هیدروژن
۶۱	۳-۴-۵- فرمان گیت های مبدل در زمان شبیه سازی
۶۳	فصل ۶: نتیجه گیری و پیشنهادات
۶۴	۱-۶- نتیجه گیری و پیشنهادات
۶۴	۲-۶- نتیجه گیری
۶۵	۳-۶- پیشنهادات
۶۷	پیوست: نرم افزار هومر؛ ویژگی ها و مزایای آن
۶۷	الف: معرفی نرم افزار هومر
۶۹	ب: قابلیت ها و نحوه کار نرم افزار هومر
۶۹	ج: کارهای تحقیقاتی صورت گرفته در زمینه نرم افزار هومر در سیستم های تجدیدپذیر
۷۱	د: شبیه سازی عملکرد سیستم های متشکل از ترکیب های مختلف منابع تأمین بار
	د-۱: یافتن بهینه ترین ترکیب ممکن از میان ساختارها و ظرفیت های پیشنهادی شبیه سازی
۷۲	شده و تحقق پذیر و مرتب سازی آنها بر اساس هزینه خالص نهایی
۷۲	د-۲: انجام آنالیز حساسیت
۷۵	مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: (الف) استفاده از باتری در کنار پیل سوختی در هنگام راه اندازی (ب) استفاده از سیستم ترکیبی در حالات کار معمول ، اضافه بار و مازاد انرژی ۶
- شکل ۱-۲: نمایش بلوک دیاگرامی مربوط به استفاده از سیستم های ترکیبی شامل تمامی منابع تجدید پذیر (الف) : متصل با باس DC و (ب) : متصل به باس AC ۸
- شکل ۱-۳: نمایش بلوک دیاگرامی سیستم ترکیبی با حضور سیستم های بادی ، خورشیدی ، پیل سوختی و الکترولایزر متصل به باس بار DC با حضور مبدل های رابط DC / AC و بارهای مصرف کننده و بار های ائتلافی ۸
- شکل ۱-۴: نمایش بلوک دیاگرامی مربوط به چگونگی بکار گیری منابع تجدید پذیر انرژی در کنار الکترولایزر به عنوان سیستم های ترکیبی ۹
- شکل ۱-۲: نمایش بلوک - دیاگرامی مربوط به سلول خورشیدی با ورودی و خروجی های متغیر . ۱۳
- شکل ۲-۲: شکل ساده از یک پیل سوختی ۱۴
- شکل ۲-۳: مقطع یک پیل سوختی تبادل غشای یونی ۱۶
- شکل ۲-۴: نمای شماتیک از ساختار و عملکرد الکترولایزر آکالین ۱۹
- شکل ۲-۵: نمایش بلوکی سیستم ترکیبی مورد مطالعه ۲۱
- شکل ۲-۶: سیستم کنترل مربوط به پیل سوختی، (ب): نمای بلوک دیاگرامی مربوط به سیستم کنترل جریان ۲۱
- شکل ۲-۷: دیاگرام سیستم کنترلی مورد استفاده ۲۲
- شکل ۲-۸: نمایش بلوک دیاگرامی سیستم کنترلی پیل سوختی ۲۳
- شکل ۲-۹: نمایش بلوک دیاگرامی مربوط به روش کنترلی سیستم تولید ترکیبی ۲۵
- شکل ۲-۱۰: نحوه کنترل و مدیریت توان در یک سیستم ترکیبی با حضور منابع مختلف ۲۶
- شکل ۳-۱: نمای عمومی از سیستم تولید ترکیبی ۳۰
- شکل ۳-۲: ترکیب کلی سیستم تولید ترکیبی مد نظر ۳۱
- شکل ۳-۳: مدار معادل مربوط به یک آرایه خورشیدی ۳۲
- شکل ۳-۴: الگوریتم ردیابی بیشینه توان به روش اغتشاش و مشاهده (P&O) ۳۳
- شکل ۳-۵: نحوه اتصال سیستم MPPT به مبدل خروجی آرایه خورشیدی ۳۴
- شکل ۳-۶: نحوه پیاده سازی الگوریتم P&O ۳۴

- شکل ۳-۷: مدل توسعه داده شده برای الکترو لایزر ۳۶
- شکل ۳-۸: مدل استفاده شده برای تانک هیدروژن ۳۶
- شکل ۳-۹: ساختار کلی اینورتر ۳۸
- شکل ۳-۱۰: اینورتر استفاده شده در سیستم ترکیبی ۳۸
- شکل ۳-۱۱: مدل مداری سیستم تنظیم ولتاژ جهت کنترل اینورتر ۳۹
- شکل ۴-۱: الگوریتم سیستم کنترل و مدیریت توان ۴۳
- شکل ۵-۱: ترکیب مداری در نرم افزار هومر ۴۸
- شکل ۵-۲: منحنی تابش روزانه خورشید ۵۰
- شکل ۵-۳: تغییرات ولتاژ لینک DC در دوره ۲۴ ساعته فعالیت سیستم ۵۳
- شکل ۵-۴: تغییرات وضعیت شارژ باتری در دوره ۲۴ ساعته ۵۳
- شکل ۵-۵: تغییرات فشار تانک هیدروژن در دوره ۲۴ ساعته ۵۴
- شکل ۵-۶: توان مربوط به منابع و بار در بازه ۲۴ ساعته ۵۴
- شکل ۵-۷: شکل موج فرمان های مبدل سیستم ردیابی بیشینه توان: (الف): در ساعت پنجم، (ب): در ساعت ششم، (ج): در ساعت هفتم، (د): در ساعت هجدهم، (ه): در ساعت نوزدهم ۵۶
- شکل ۵-۸: تغییرات جریان منابع با توجه به وضعیت کلی سیستم در بازه ۲۴ ساعته ۵۷
- شکل ۵-۹: تغییرات ولتاژ لینک DC در بازه یک ساعته عملکرد الکترو لایزر ۵۹
- شکل ۵-۱۰: تغییرات وضعیت شارژ باتری ۵۹
- شکل ۵-۱۱: وضعیت فشار تانک هیدروژن ۶۰
- شکل ۵-۱۲: تغییرات توان منابع در بازه یک ساعته ۶۰
- شکل ۵-۱۳: فرمان گیت مبدل DC/DC در بازه یک ساعته فعالیت الکترو لایزر ۶۱
- شکل ۵-۱۴: فرمان های مربوط به سویچ های مبدل در زمان عملکرد سیستم کنترلی ۶۲

فهرست جداول

- جدول ۵-۱: ظرفیت منابع سیستم ترکیبی حاصل از نرم افزار هومر ۴۹
- جدول ۵-۲: الگوی بار مورد استفاده در سیستم ترکیبی ۴۹
- جدول ۵-۳: وضعیت عملکرد منابع در طول شبانه روز ۵۱
- جدول ۵-۴: شرایط اولیه برای عملکرد سیستم در حالت ۸ ۵۸
- جدول ۵-۵: وضعیت توان منابع در حالت ۸ ۵۸

فصل ۱:

مقدمه

در این فصل ضرورت استفاده از منابع تجدید پذیر و همچنین سیستم های تولید ترکیبی تبیین می شود و در نهایت هدف اصلی استفاده از سیستم ترکیبی مورد نظر پایان نامه، عنوان خواهد شد.

۱-۱- ضرورت استفاده از منابع تجدید پذیر^۱ (RES)

امروزه، روند گرم شدن کره زمین و نیز افزایش میزان آلاینده ها، یکی از اصلی ترین دغدغه های مسئولین و نیز فعالان بخش انرژی است، چرا که به نظر بسیاری از کارشناسان یکی از اساسی ترین علل گرم شدن کره زمین، استفاده ی بی رویه از سوخت های فسیلی است که باعث انتشار گاز های گلخانه ای در جو زمین و نتیجتاً افزایش دمای سطح زمین، به دلیل پدیده ی اثر گلخانه ای می شود. از این رو تلاش کارشناسان و مهندسان در زمینه تامین انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان، یافتن راه کار های مناسب و مطمئن جهت کاهش روند صعودی گرمایش جو زمین و جلوگیری از افزایش میزان آلاینده ها در سر تا سر کره زمین است .

دست اندر کاران بخش انرژی، پاسخ این پرسش را در طبیعت یافته اند، جایی که به عنوان یک منبع غنی از انرژی، می تواند آن ها را در رسیدن به این هدف بزرگ یاری کند. منابعی نظیر: باد، خورشید، ماه و نیز منابعی که به مرور و با پیشرفت تکنولوژی ، به عنوان منابع پاک در دسترس قرار گرفته اند، می توانند نقش مهم و موثری را در کاهش میزان آلاینده ها و کندتر شدن روند آلودگی کره زمین ایفا نمایند. در سال های اخیر، منابع انرژی تجدید پذیر، با توجه به مزایای موجود در آن ها از یک سو و از سوی دیگر با توجه به معایب موجود در منابع معمول انرژی، به عنوان یک راه حل مناسب جهت کاهش میزان آلاینده ها، توجهات زیادی را به خود جلب نموده اند.

در کنار آلودگی محیط زیست، به عنوان اصلی ترین عامل سوق به سمت منابع پاک و تجدید پذیر انرژی، عوامل مهم دیگری نیز وجود دارند که استفاده از این منابع را به عنوان منبع اصلی انرژی و

^۱ Renewable Energy Sources

جایگزین منابع معمول انرژی و یا به عنوان یک منبع کمک کننده در کنار منابع معمول تولید انرژی، اجتناب ناپذیر کرده است. از جمله این عوامل می توان به: افزایش جمعیت و نیاز به افزایش میزان ظرفیت تولید، افزایش هزینه های مربوط به احداث سیستم های تولید، انتقال و توزیع و محدود بودن سطح ذخایر سوخت های فسیلی و کاهش میزان این منابع (پایان پذیر بودن سوخت های فسیلی) اشاره کرد.

با توجه به نکات ذکر شده، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر نظیر: انرژی باد، انرژی خورشید، پیل های سوختی، انرژی آب (انرژی امواج، جزر و مد، سد ها) روز به روز در حال افزایش است. اما با توجه به عدم قطعیت که در منابع تجدید پذیر وجود دارد، معمولاً از این منابع، به صورت ترکیبی و در کنار هم (به منظور پوشش نقصان موجود در هر کدام توسط دیگری) استفاده می شوند. استفاده از سیستم های تجدید پذیر انرژی، به صورت ترکیبی، قابلیت اطمینان سیستم تولید را به شکل قابل توجهی افزایش می دهد که بسیار مطلوب می باشد، اما از سوی دیگر باعث پیچیده تر شدن فرآیند نظارت و کنترل بر این سیستم ها می شود.

۱-۲- ذخیره ساز های انرژی

با افزایش استفاده از منابع تجدید پذیر، استفاده از سیستم های ذخیره ساز انرژی نیز روز به روز در حال توسعه می باشد. در گذشته و در سیستم های معمول تولید انرژی، انرژی الکتریکی تولید شده به محض تولید، توسط مصرف کننده ها مورد استفاده قرار می گرفت و نیاز چندانی به سیستم های ذخیره ساز انرژی احساس نمی شد. اما با توسعه ی استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی و با توجه به عدم قطعیت موجود در انرژی الکتریکی حاصله از این منابع، نیاز به استفاده از ذخیره ساز های انرژی بیش از پیش احساس می شود.

ذخیره ساز های انرژی، معمولاً در زمان های مازاد انرژی، شارژ شده و در زمان هایی که به انرژی الکتریکی مازاد نیاز است، انرژی الکتریکی ذخیره شده در خود را آزاد می کنند [۱].

انواع تکنولوژی های ذخیره سازی انرژی را می توان به صورت زیر نام برد که توضیحات تکمیلی

آن ها در [۲] آمده است:

۱. ذخیره ساز هوای فشرده^۱ (CAES)
۲. ذخیره ساز آبی^۲
۳. چرخ طیار^۳
۴. سیستم های ذخیره ساز باتری^۴ (BESS)
۵. سیستم های ذخیره ساز الکترو شیمیایی^۵
۶. سیستم های ذخیره ساز حرارتی شیمیایی^۶
۷. سیستم های ذخیره ساز ابر رسانا^۷ (SMES)

از مهمترین و شاخص ترین این سیستم های ذخیره ساز انرژی می توان به: ^۱ سیستم های ذخیره ساز آبی؛ که به عنوان ساده ترین و قدیمی ترین روش برای ذخیره انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می گرفته اند، ^۲ پیل های سوختی؛ که با توسعه تکنولوژی به عنوان ابزاری مناسب جهت ذخیره انرژی نیز مورد استفاده قرار گرفته اند و ^۳ باتری ها؛ که معمول ترین و عام ترین سیستم های ذخیره انرژی به شمار می آیند، اشاره کرد. در ادامه با توجه به مورد استفاده در این پایان نامه، سیستم ذخیره سازی باتری تشریح می شود.

۱-۲-۱- باتری

باتری ها را می توان به عنوان یکی از تجهیزات الکترو شیمیایی نام برد. این تجهیزات در زمان شارژ، انرژی الکتریکی را به انرژی شیمیایی تبدیل کرده و آن را در خود ذخیره می کنند و در زمان های دشارژ، از انرژی شیمیایی موجود در خود استفاده کرده و آن را به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. انواع باتری ها را می توان به صورت فهرست زیر نام برد [۱]:

^۱ Compressed Air Energy Storage

^۲ Pumped Hydro Energy Storage

^۳ Fly Wheel

^۴ Battery Energy Storage System

^۵ Electrochemical Energy Storage

^۶ Thermochemical Energy Storage

^۷ Superconductive Magnetic Energy Storage

۱. سرب اسید^۱

۲. نیکل کادمیوم^۲ (NiCd)

۳. سولفور سدیم^۳ (NaS)

۴. لیتیوم یون^۴

ویژگی های مربوط به هر کدام از انواع باتری ها، در [۱] به صورت کامل بیان شده است.

در میان انواع باتری ها، باتری های سرب اسید به دلیل بازدهی بالا و عملکرد مناسب و همچنین ارزان بودن آن ها [۳] و نیز نوع لیتیوم یون به واسطه طول عمر بالا و کارایی و عملکرد ثابت [۴]، بیشتر از سایر انواع دیگر در سیستم های ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرند و باتری های لیتیوم یون در سیستم های قدرت توان بالا مورد استفاده قرار می گیرند [۵].

۳-۱- سیستم های تولید توان ترکیبی

۳-۱-۱- ضرورت استفاده از سیستم های تولید توان ترکیبی

با توجه به مطالب عنوان شده درباره ضرورت استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی و همچنین با توجه به ویژگی های ذکر شده در مورد این منابع، استفاده از آن ها روز به روز در حال گسترش است. اما از طرفی به دلیل عدم قطعیتی که در تمامی این منابع انرژی وجود دارد، بهترین تصمیم، استفاده از این سیستم های تولید انرژی به صورت ترکیبی و در کنار هم است. هرچند که استفاده از این سیستم های ترکیبی کنترل و نظارت بر آن ها را دشوار تر می کند، اما می توان قابلیت اطمینان سیستم های قدرت را با این شیوه به نحو قابل ملاحظه ای افزایش داد. همچنین می توان مشکل عدم قطعیت هر یک از منابع تجدید پذیر را با استفاده از منبع تجدید پذیر دیگر به میزان زیادی پوشش داد.

به عنوان نمونه، همانطور که می دانیم پیل های سوختی به دلیل مزایایی که برخوردار هستند، روز به روز طرفداران زیادی را به خود جذب می کنند که از این تجهیزات به عنوان منبع انرژی، هم در

^۱ Lead Acid

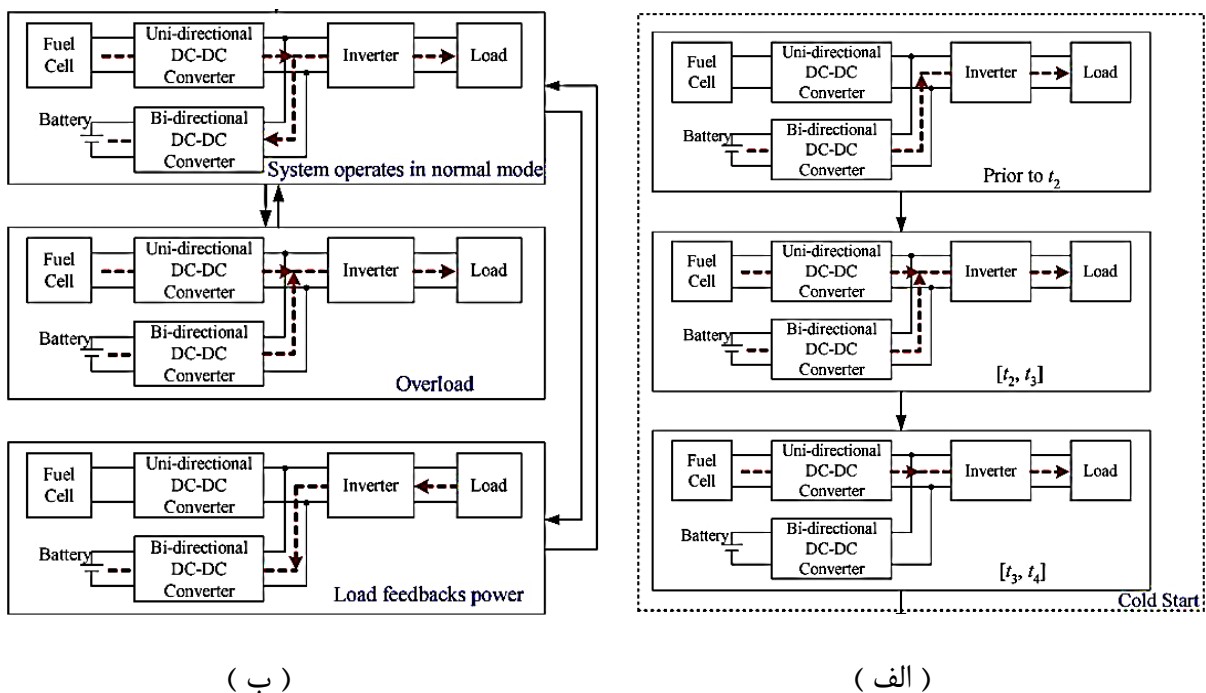
^۲ Nickel Cadmium

^۳ Sodium Sulfur

^۴ Lithium Ion

سیستم های تولید پراکنده و هم در خودرو های الکتریکی استفاده می کنند. اما با وجود این مزایا، معایبی نیز متوجه این سیستم ها است که از اصلی ترین این منابع می توان به: ^۱ پاسخ آرام و با تاخیر به تغییرات بار، ^۲ عدم توانایی در ذخیره سازی انرژی تولیدی (در صورت عدم استفاده از سیستم الکترولایزر در کنار پیل های سوختی) و نیز ^۳ وابستگی شدید انرژی تولیدی به بار متصل، اشاره نمود. علاوه بر موارد عنوان شده، نیاز به کاهش هزینه های مربوط به این تکنولوژی (و سایر تکنولوژی های تجدید پذیر) و همچنین نیاز به توسعه ی گسترده ی آن، ضرورت وجود یک عامل کمکی در کنار این سیستم ها، تبیین می شود. ساده ترین و ابتدایی ترین سیستم کمکی می تواند باتری باشد. با استفاده از یک ذخیره ساز انرژی مانند باتری، در کنار یک سیستم تبدیل انرژی تجدید پذیر مانند پیل سوختی، می توان هم از مزایای سیستم تبدیل انرژی تجدید پذیر بهره برد و هم نقصان های موجود در سیستم اصلی تبدیل انرژی را مرتفع نمود [۶] - [۸].

در شکل ۱-۱ می توان نحوه ی بکار گیری از سیستم ترکیبی باتری - پیل سوختی و نحوه بکار گیری آن ها را مشاهده کرد [۶]، [۹].

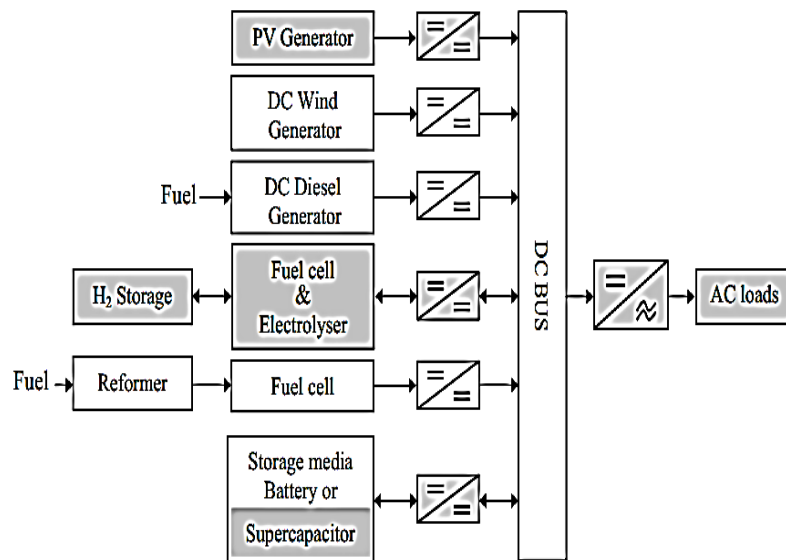


شکل ۱-۱: (الف) استفاده از باتری در کنار پیل سوختی در هنگام راه اندازی (ب) استفاده از سیستم ترکیبی در

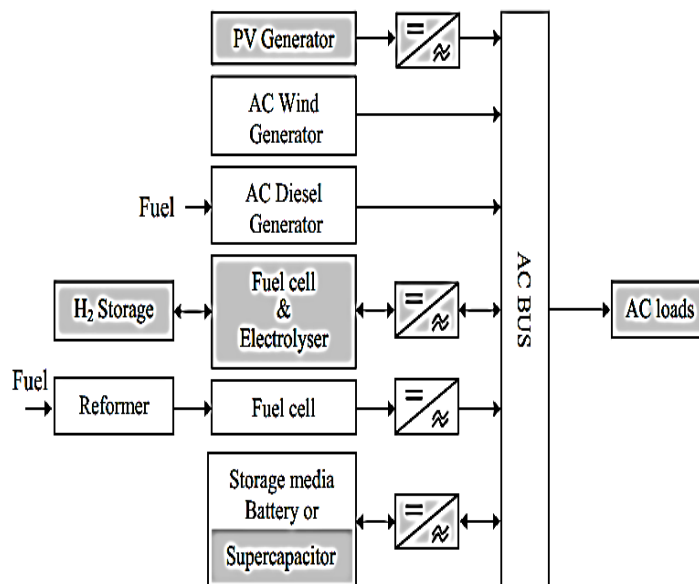
حالات کار معمول، اضافه بار و مازاد انرژی [۶]

با توجه به عدم قطعیت موجود در سایر منابع اصلی تبدیل انرژی تجدید پذیر مانند: انرژی باد، انرژی خورشید، انرژی آب (انرژی جزر و مد و انرژی امواج دریا) و ... می توان ضرورت استفاده از

سیستم های تولید ترکیبی را به مانند توضیحات ارائه شده درباره ی پیل سوختی، به خوبی درک کرد. نحوه ی ترکیب این منابع با یکدیگر با توجه با ضرورت ها و امکانات و پتانسیل های موجود در یک منطقه ، متفاوت از یکدیگر است. در شکل ۱-۲، نمونه ای از سیستم های تولید ترکیبی آورده شده است که از تمامی این منابع و یا تعدادی از آن ها می توان استفاده کرد.



(الف)



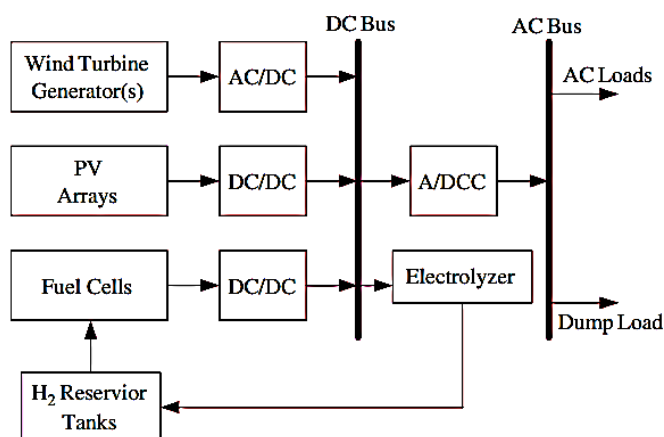
(ب)

شکل ۱-۲: نمایش بلوک دیاگرامی مربوط به استفاده از سیستم های ترکیبی شامل تمامی منابع تجدید پذیر (الف) :

متصل با باس DC و (ب) : متصل به باس AC [۲]

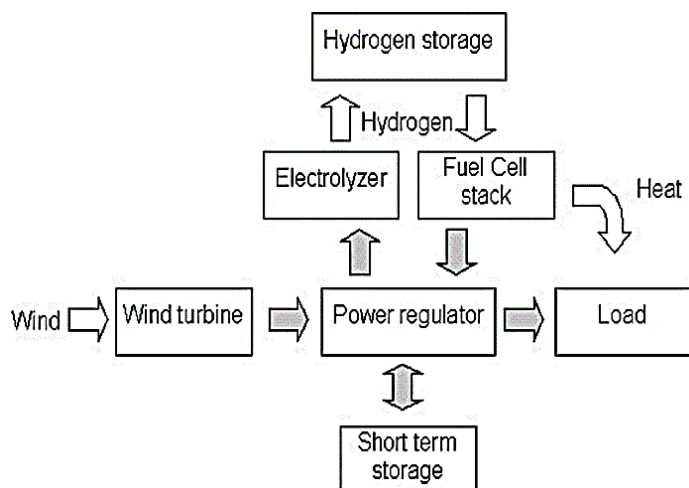
۱-۳-۲- سیستم های تولید ترکیبی و الکترولیز

همانگونه که در بخش مربوط به الکترولیز عنوان شد، الکترولیز، یک روش مطمئن و پاک جهت بدست آوردن و ذخیره سازی هیدروژن است. عملکرد الکترولیزر، دقیقا عکس عملکرد پیل های سوختی است و این بدان معناست که در صورت استفاده از پیل سوختی و الکترولیزر در کنار هم، می توان انرژی لازم برای فرآیند الکترولیز آب را از خود پیل سوختی تامین کرد. اما با توجه به موارد عنوان شده در مورد عدم قطعیت موجود در پیل های سوختی و به طور کلی تمامی منابع تجدید پذیر انرژی، می توان با استفاده از سیستم های ترکیبی و نیز بکار گیری الکترولیزر ها در این مجموعه با استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی و در زمان های مازاد انرژی آن ها، انرژی لازم را برای الکترولیز آب از مجموعه ی کلی سیستم ترکیبی به دست آورد. شکل های مربوط به این سیستم ها را می توان در ادامه مشاهده نمود [۱۰]، [۱۱]:



شکل ۱-۳: نمایش بلوک دیاگرامی سیستم ترکیبی با حضور سیستم های بادی ، خورشیدی ، پیل سوختی و

الکترولیزر متصل به باس DC با حضور مبدل های رابط DC / AC و بارهای مصرف کننده و بارهای اتلافی [۱۰]



شکل ۱-۴: نمایش بلوک دیاگرامی مربوط به چگونگی بکارگیری منابع تجدید پذیر انرژی در کنار الکترولایزر به عنوان سیستم های ترکیبی [۱۱]

۴-۱- فصل بندی گزارش

در فصل ۲، پس از معرفی اصلی ترین منابع تجدید پذیر انرژی و کاربرد های آن ها، برخی از مهم ترین کارهای تحقیقاتی صورت گرفته در زمینه سیستم های تولید ترکیبی مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت و نکات شاخص، مزایا و معایب مربوط به هر کدام مورد بحث قرار خواهد گرفت و پس از بررسی هر یک از این کارهای تحقیقاتی، ضرورت استفاده از سیستم ترکیبی مد نظر این پایان نامه، بیان می شود. در ادامه و در فصل ۳، پس از معرفی ترکیب کلی سیستم ترکیبی، مدل هر یک از اجزای سیستم و نیز مدل سازی کلی سیستم ترکیبی، تشریح می شود. در فصل ۴، به معرفی سیستم کنترلی مورد استفاده و روند طراحی آن به طور کامل پرداخته خواهد شد. فصل ۵ به شبیه سازی سیستم ترکیبی و حالات مختلف در نظر گرفته شده اختصاص می یابد و نهایتاً تحلیل نتایج حاصل از عملکرد سیستم ترکیبی تحت الگوریتم کنترلی طراحی شده در فصل ۶ صورت می گیرد؛ همچنین در این فصل پیشنهادات لازم در زمینه استفاده از سیستم ترکیبی و الگوریتم کنترلی ارائه می شود.

فصل ۲:

معرفی منابع تجدیدپذیر انرژی و مروری بر

کارهای انجام شده در زمینه سیستم های

تولید ترکیبی

در فصل ۱ اصلی ترین علل استفاده از انرژی های تجدید پذیر بیان شد و سپس ضرورت استفاده از سیستم های تولید ترکیبی تبیین گردید. در این فصل پس از معرفی اصلی ترین منابع انرژی تجدید پذیر در این فصل، پس از معرفی برخی از منابع تجدیدپذیر انرژی و تجهیزات الکتریکی بکار رفته در سیستم های تبدیل انرژی ترکیبی، نحوه عملکرد هر کدام، مزایا و معایب آن ها نیز بیان می شود و سپس به معرفی برخی از مهمترین کارهای تحقیقاتی صورت گرفته در زمینه مدیریت توان در سیستم های تولید ترکیبی با ترکیبات مختلف پرداخته خواهد شد و در ادامه، ضرورت بکارگیری سیستم ترکیبی مورد نظر در این پایان نامه تشریح خواهد شد.

۲-۱- معرفی اصلی ترین منابع انرژی تجدید پذیر مد نظر پایان نامه

۲-۱-۱- انرژی خورشیدی

اهمیت انرژی خورشیدی بر هیچ کس پوشیده نیست. خورشید، به عنوان یک منبع پایان ناپذیر و همواره در دسترس انرژی، امروزه نقش مهمی در تولید انرژی و نیز استفاده از گرمای آن در سیستم های حرارتی ایفا می کند.

انرژی خورشیدی در کنار انرژی باد، از اصلی ترین منابع تجدید پذیر انرژی به شمار می آیند که استفاده از این منابع در سرتاسر جهان روز به روز در حال گسترش است و همزمان با توسعه ی استفاده از این منابع، با پیشرفت تکنولوژی مربوط به آن ها، هزینه های تولید، نصب و احداث آن ها، در حال کاهش است [۱۲].

۲-۱-۱-۱- روند کار سیستم تبدیل انرژی خورشیدی (SECS)

اساس کار سیستم های فتو ولتایک^۲ (PV) برپایه جذب انرژی تابشی خورشید و تبدیل این انرژی به انرژی الکتریکی می باشد. صفحات خورشیدی، با بهره گیری از تکنولوژی نیمه رسانا ها، این تبدیل انرژی را انجام می دهند. انرژی الکتریکی حاصل از این سیستم، به صورت جریان مستقیم^۳ (DC) است که با توجه به نوع مصرف کننده، قابلیت استفاده به صورت جریان مستقیم و یا پس از تبدیل به برق

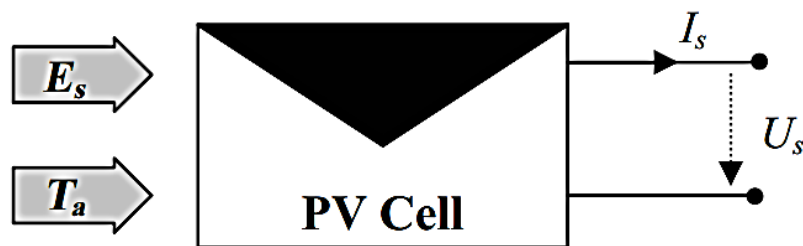
^۱ Solar Energy Conversion System

^۲ Photo Voltaic

^۳ Direct Current

جریان متناوب^۱ (AC)، قابل بهره برداری خواهد بود. نمای بلوکی بسیار ساده و شماتیک از این سیستم، در شکل ۱-۲ قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می شود، این سیستم ها با دریافت انرژی حاصل از تابش خورشید^۲ (E_s) و در دمای محیط^۳ (T_a)، در سمت خروجی خود، جریان (I_s) و ولتاژ (U_s) را تحویل می دهند. سلول های فتو ولتاییک، با اتصال به یکدیگر، ماژول های خورشیدی را تشکیل می دهند که این ماژول ها با اتصال به یکدیگر به صورت سری و یا به شکل موازی برای تولید جریان الکتریکی با توجه به هدف مد نظر (که در صورت نیاز به جریان بالا تر به صورت موازی و در صورت نیاز به ولتاژ بالا تر به صورت سری با هم متصل می شوند) مورد استفاده قرار می گیرند [۲].

توضیحات تکمیلی راجع به انواع تکنولوژی های مورد استفاده در سیستم های خورشیدی به همراه سایر مشخصات مربوط به این سیستم ها از قبیل مدل سازی، مدار معادل، انواع تلفات و مشخصه های مورد استفاده در [۲] به تفصیل بیان شده است.



شکل ۱-۲: نمایش بلوک - دیاگرامی مربوط به سلول خورشیدی با ورودی و خروجی های متغیر [۲]

۲-۱-۲- پیل سوختی

پیل سوختی، یک وسیله ی تبدیل انرژی است که انرژی شیمیایی موجود در سوخت را از طریق یک واکنش شیمیایی، به طور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. این فرآیند تبدیل انرژی، کاملاً غیر احتراقی است. فرآیند غیر احتراقی پیل های سوختی که اصلی ترین وجه تمایز آن ها با موتور های احتراق داخلی است، به صورت ساده قابل توضیح است: در موتور های احتراق داخلی، تولید انرژی الکتریکی، مستلزم تبدیل انرژی حرارتی حاصل از احتراق، به انرژی مکانیکی، و سپس تبدیل این انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی است که این فرآیند همراه با تلفات است. اما در پیل های سوختی، این فرآیند تولید انرژی الکتریکی، شامل یک واکنش شیمیایی و به دنبال آن تبدیل انرژی

^۱ Alternative Current

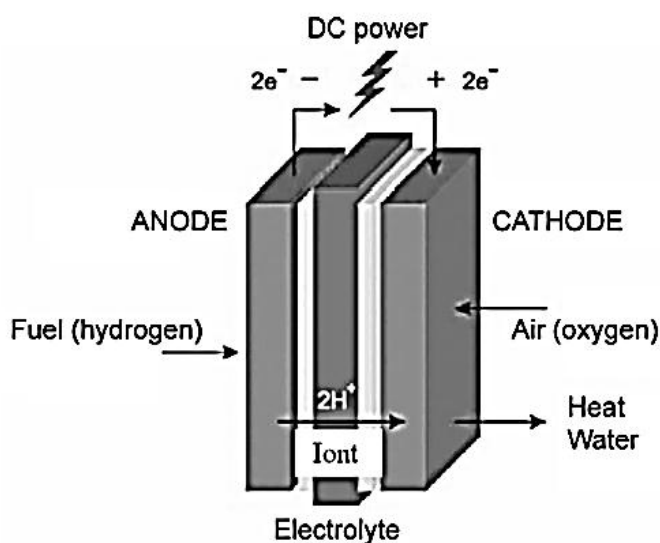
^۲ Solar radiation

^۳ Ambient Temperature

شیمیایی به انرژی الکتریکی است [۱۳], [۱۴]. واکنش شیمیایی که در هر پیل سوختی روی می دهد، به صورت زیر است [۱۴]:



نمای عمومی و کلی پیل سوختی در شکل ۲-۱ آورده شده است.



شکل ۲-۲: شکل ساده از یک پیل سوختی [۱۳]

اجزای مربوط به پیل های سوختی را می توان در شکل ۲-۲ مشاهده نمود:

۱. آند: محل ورود گاز (هیدروژن) می باشد.
۲. کاتد: محل ورود اکسیژن حاصل از فشار هوا و ترکیب شدن آن با اتم های هیدروژن می باشد.
۳. الکترولیت: مسیر عبور یون های مثبت است.
۴. مدار الکتریکی: مسیر عبور الکترون ها است که جریان الکتریکی در این قسمت قابل استحصال است.
۵. اگزوز (خروجی): محل خروج گرما و آب تولیدی است که در صورت استفاده از پیل های سوختی در سیستم های تولید ترکیبی، این حرارت و آب حاصله دوباره مورد بازیابی قرار می گیرد.

بازدهی تولید انرژی در پیل های سوختی با توجه به شرایط بار، و نیز نوع پیل سوختی متفاوت است و معمولا بازدهی آن ها در شرایط آزمایشگاهی در حدود ۶۰ درصد، و در شرایط عملکرد معمول در حدود ۳۰ الی ۳۵ درصد می باشد. در ادامه به معرفی انواع پیل های سوختی و طرز کار و ویژگی های پیل ها خواهیم پرداخت.

۲-۱-۳- انواع پیل های سوختی

تمامی انواع پیل های سوختی، دارای یک فرآیند کلی و عملکرد یکسان هستند، اما بر اساس نوع الکترولیت مورد استفاده، به هفت دسته ی کلی قابل تقسیم بندی هستند. هر یک از این انواع پیل ها، از نظر ویژگی هایی چون دمای عملکرد و کاربرد آن ها، متفاوت از یکدیگر می باشند. انواع پیل های سوختی را می توان به صورت زیر نام برد [۱۴]:

۱. پیل سوختی تبادل غشای یونی^۱ (PEMFC)

۲. پیل سوختی اکسید جامد^۲ (SOFC)

۳. پیل سوختی کربنات مذاب^۳ (MCFC)

۴. پیل سوختی فسفریک اسید^۴ (PAFC)

۵. پیل سوختی متانول مستقیم^۵ (MDFC)

۶. پیل سوختی آلکالین^۶ (AFC)

۷. پیل سوختی احیا کننده^۷ (RFC)

در میان این انواع، پنج نوع اول، اصلی ترین و معروف ترین انواع پیل های سوختی هستند. در [14]، طرز کار و نحوه عملکرد تمامی انواع پیل های سوختی، قابل مشاهده است.

در ادامه، با توجه به عملکرد مناسب، ویژگی ها و توسعه ی استفاده، صرفا به معرفی پیل سوختی تبادل غشای یونی (PEMFC) می پردازیم.

^۱ Proton Exchange Membrane Fuel Cell (also known as: Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)

^۲ Solid Oxide Fuel Cell

^۳ Molten Carbonate Fuel Cell

^۴ Phosphoric Acid Fuel Cell

^۵ Direct Methanol Fuel Cell

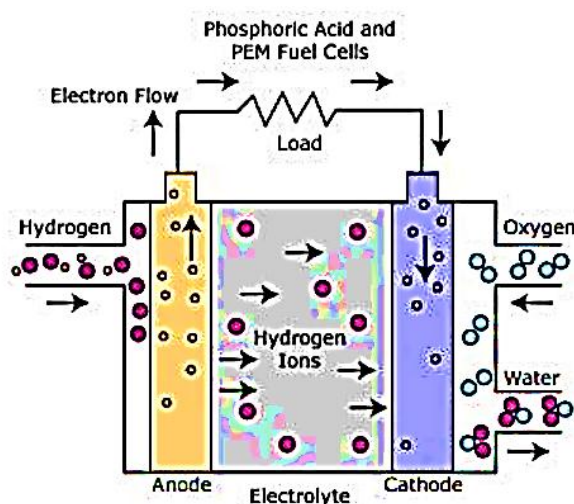
^۶ Alkaline Fuel Cell

^۷ Regenerative Fuel Cell

۲-۱-۳-۱- پیل سوختی تبادل غشای یونی

این نوع پیل سوختی، دارای یک غشا شامل یک لایه پلیمری جامد است که این پلیمر، در حالتی که توسط آب به اشباع برود، قابلیت عبور پروتون ها را دارا است، ولی این غشای پلیمری اجازه عبور الکترون ها را نمی دهد. در نتیجه تنها مسیر عبور الکترون ها، مدار خارجی است که عبور الکترون ها از این مسیر، باعث ایجاد جریان الکتریکی می گردد.

شکل ۲-۳، یک پیل سوختی تبادل غشای یونی را نشان می دهد [۱۴].



شکل ۲-۳: مقطع یک پیل سوختی تبادل غشای یونی [۱۴]

۲-۱-۳-۲- طرز کار پیل سوختی تبادل غشای یونی

واکنش شیمیایی که داخل این پیل ها اتفاق می افتد را می توان در زیر مشاهده کرد:

واکنش شیمیایی آند :



واکنش شیمیایی کاتد :



واکنش شیمیایی کلی :



همان طور که ملاحظه می شود، در آند، اتم های هیدروژن به یون های هیدروژن و الکترون

ها تجزیه می شوند. پروتون ها (H^+) ، از طریق غشای پلیمری به سمت کاتد حرکت کرده و الکترون ها نیز از طریق مدار خارجی، مسیر خود را به سمت کاتد می بندند و سپس در کاتد، اکسیژن ورودی حاصل از جریان هوا با اتم هیدروژن حاصل از ترکیب یون های مثبت و منفی هیدروژن ترکیب شده و تشکیل مولکول های آب را می دهند [۱۴].

۲-۱-۳- ویژگی های پیل سوختی تبادل غشای یونی

این نوع از پیل های سوختی ، دارای ویژگی های زیر هستند [۱۳]، [۱۴]:

۱. دمای عملکرد پایین در حدود ۶۰ - ۸۰ درجه سلسیوس

۲. زمان آغاز به کار پایین (راه اندازی سریع)

۳. پاسخ گذرای مناسب

۴. بکار گیری عنصر پلاتینیوم به عنوان کاتالیزور: که علاوه بر گران قیمت بودن این عنصر با توجه به حساسیت بیش از حد آن به مونوکسید کربن، بکار گیری مکانیزم مناسب جهت زدودن مونوکسید کربن حاصل از فرآیند استحصال هیدروژن از الکل و یا هیدرو کربن ها، ضروری به نظر می رسد.

۵. این نوع از پیل های سوختی، دارای بالاترین چگالی انرژی در میان انواع پیل های سوختی هستند، که این مساله باعث پایین آمدن وزن این پیل ها و نیز کوچک تر شدن اندازه آن ها می شود.

۲-۱-۴- کاربرد های پیل سوختی تبادل غشای یونی

به دلیل مزایایی که از این نوع پیل های سوختی نام برده شد، از آن ها در سیستم های حمل و نقل و نیز کاربرد های مسکونی استفاده می شود و همچنین این نوع از پیل های سوختی، برای استفاده در سیستم های مسافر بری نظیر ماشین ها و اتوبوس ها مناسب هستند.

۲-۱-۴- الکترو لایزر

۲-۱-۴-۱- الکترو لایزر^۱

همان طور که بیان شد یکی از ضروری ترین عناصر برای عملکرد پیل های سوختی،

هیدروژن است. این هیدروژن مورد نیاز، می تواند از طرق مختلف فراهم شود از آن مهم ترین این راه ها می توان به: ^۱ استحصال هیدروژن از سوخت های فسیلی و نیز ^۲ به دست آوردن آن از الکترولیز اشاره کرد. فرآیند الکترولیز آب، تنها راه ممکن جهت به دست آوردن عناصر سازنده آب، بدون بهره گیری از سوخت های فسیلی می باشد. هیدروژن به دست آمده حاصل از الکترولیز آب، به صورت کاملا فشرده قابل ذخیره سازی است [۱۳] و هیدروژن به دست آمده از این فرآیند از خلوص بسیار بالایی برخوردار است. البته میزان این خلوص، بسته به نوع الکترولیزر مورد استفاده، متفاوت است اما میزان آن تقریبا برای همه ی انواع الکترولیزر ها فراتر از ۹۹ درصد می باشد [۱۵].

۲-۱-۴-۲- فرآیند الکترولیز

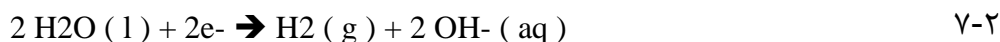
با عبور جریان الکتریسیته از آب می توان آن را به عناصر تشکیل دهنده آن یعنی هیدروژن و اکسیژن تجزیه نمود. در این واکنش شیمیایی علاوه بر عناصر هیدروژن و اکسیژن، گرما نیز آزاد می شود. معادله شیمیایی کلی مربوط به الکترولیز آب در زیر آمده است [۱۴]:



انواع تکنولوژی های مربوط که در سیستم های الکترولیز مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: آلکالین ^۱ (AE)، غشای پلیمری ^۲ (PEME) و اکسید جامد ^۳ (SOE). ویژگی ها، مزایا، معایب و واکنش شیمیایی حاکم بر هر کدام از این الکترولیزر ها، در [۱۴]، [۱۶] به تفصیل بیان شده است. با توجه به اینکه الکترولیزر آلکالین، از قدیمی ترین و ابتدایی ترین انواع الکترولیزرهای مورد استفاده می باشد، در این قسمت به اختصار به بررسی ویژگی های این الکترولیزر می پردازیم .

۲-۱-۴-۱- آلکالین

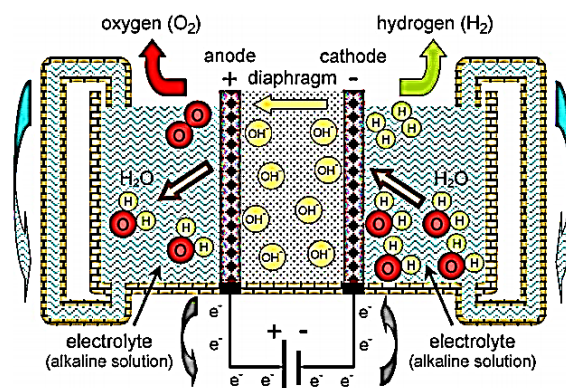
شکل مربوطه به همرا واکنش شیمیایی حاکم بر این الکترولیزر در زیر آمده است:



^۱ Alkaline Electrolyzer

^۲ Proton Exchange Membrane Electrolyzer

^۳ Solid Oxide Electrolyzer



شکل ۲-۴: نمای شماتیک از ساختار و عملکرد الکترولایزر آلکالین [۱۶]

ویژگی های این الکترولایزر را می توان به این صورت برشمرد: ^۱ قابل اطمینان، ^۲ امنیت بالا، ^۳ طول عمر مناسب و نسبتاً زیاد (در حدود ۱۵ سال).

بازدهی این نوع از الکترولایزر ها در حدود ۴۷-۸۲٪ است و با توجه به پیشرفت های اخیر، قابلیت بهبود ویژگی های آن ها نیز وجود دارد و به همین دلیل به عنوان گزینه ای مناسب جهت استفاده های تجاری مد نظر هستند. برخی از پیشرفت های حاصله در این زمینه را می توان در [۱۶] و کلیه روابط مربوط به بازدهی، ولتاژ و سایر مشخصات آن ها در [۴] مشاهده نمود.

۲-۲- انرژی های تجدید پذیر و سیستم های تولید ترکیبی

بدون شک اصلی ترین دلیل رغبت به انرژی های تجدید پذیر (چه به صورت مستقل و چه در کنار هم و به عنوان سیستم های تولید ترکیبی)، افزایش دمای کره زمین و نگرانی های زیست محیطی ناشی از استفاده از سوخت های فسیلی است. عوامل دیگری نیز نظیر: ^۱ افزایش جمعیت، ^۲ محدودیت مکانی، ^۳ افزایش قیمت سوخت های فسیلی (بدلیل محدودیت این منابع) و ^۴ پیشرفت های صورت گرفته در زمینه انواع منابع تجدید پذیر انرژی، باعث تسریع استفاده از این منابع شده اند. [۱۷]-[۲۰]

سیستم های تولید ترکیبی، چه به صورت مستقل ^۱ و چه به صورت متصل به شبکه ^۲ قابل استفاده هستند. رابطه ۲-۹، اصلی ترین رابطه حاکم بر سیستم های تولید ترکیبی مورد استفاده در مدیریت

^۱ Stand Alone

^۲ Grid Connected

توان می باشد.

$$\Delta P = \bar{P}_{supply} - \bar{P}_{demand} \quad 9-2$$

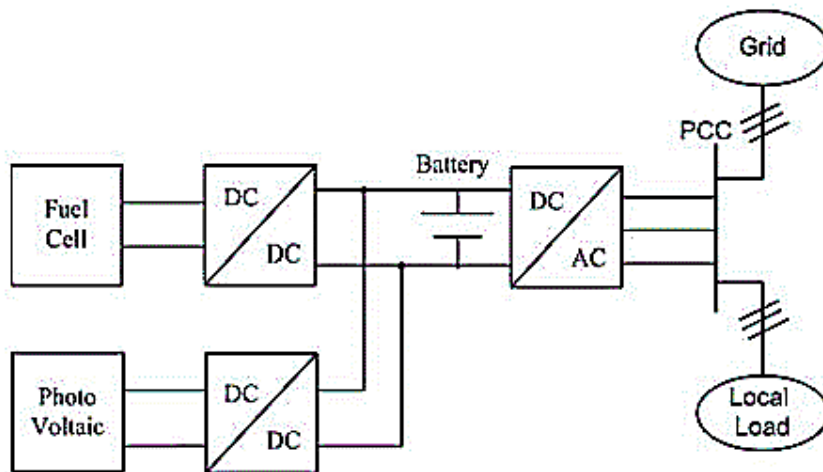
در این رابطه، \bar{P}_{supply} ، مجموع تمامی توان های تولید شده از جانب منابع و \bar{P}_{demand} مجموع توان های مصرف شده توسط بارهای سیستم می باشد و براساس علامت ΔP ، تصمیم مربوط به نحوه شارش و مدیریت توان اتخاذ می شود.

۳-۲- معرفی برخی از کارهای تحقیقاتی در زمینه مدیریت توان در

سیستم های تولید ترکیبی

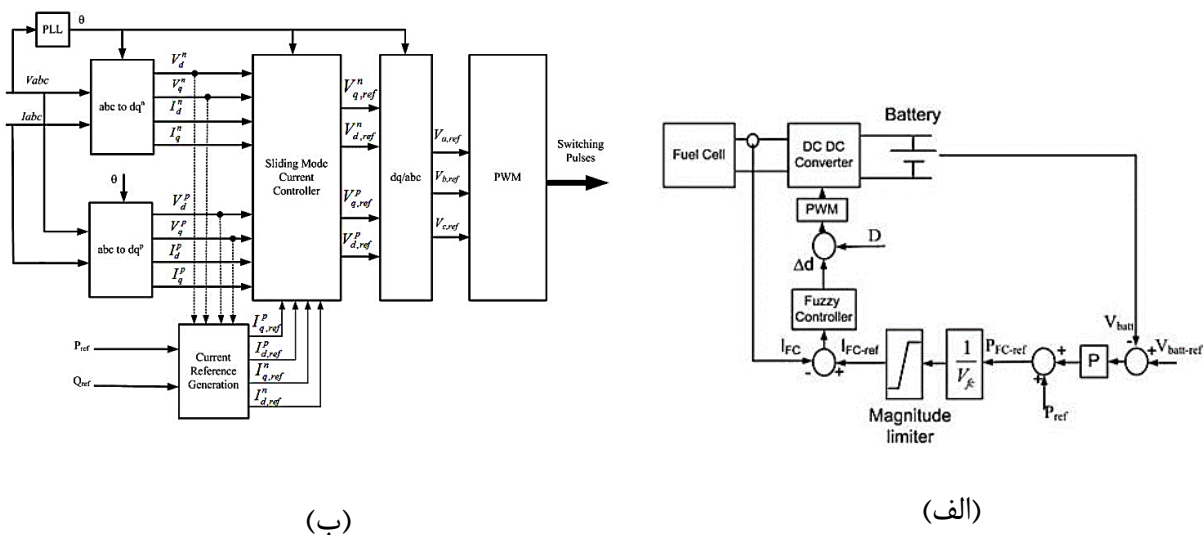
۳-۲-۱- سیستم ترکیبی متصل به شبکه

در [۲۱]، مدل سازی و کنترل یک شبکه ترکیبی شامل آرایه خورشیدی، پیل سوختی و باتری در حالت متصل به شبکه ارائه شده است. روش بکارگرفته شده در این مقاله، روش "عصبی-فازی" می باشد. مدل کلی سیستم مربوطه در شکل ۲-۵ مشاهده می شود.



شکل ۲-۵: نمایش بلوکی سیستم ترکیبی مورد مطالعه [۲۱]

در این سیستم، از توان های اکتیو و راکتیو، به عنوان مقادیر مرجع، جهت کنترل اینورتر استفاده شده است. سیستم کنترلی مد نظر، با بهره گیری از کنترلر جریان، جریان مرجع را بر اساس تغییرات توان اکتیو و راکتیو ورودی تشکیل می دهد. سیستم های کنترلی مربوطه را می توان در شکل ۲-۶ مشاهده نمود.



شکل ۲-۶: سیستم کنترل مربوط به پیل سوختی، (ب): نمای بلوک دیاگرامی مربوط به سیستم کنترل جریان

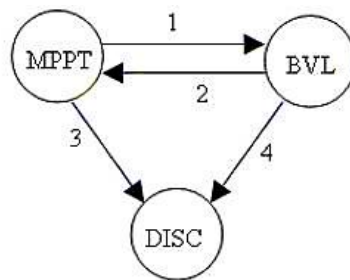
تحت این سیستم کنترلی، شبکه ترکیبی مربوطه توانایی تامین هر بار دلخواه را داراست، همچنین با استفاده از روش "عصبی-فازی" ارائه شده، شارش توان بین تمامی منابع به خوبی قابل کنترل است. اما عیب اصلی این سیستم، با توجه به توضیحات ارائه شده راجع به توسعه و استفاده انرژی تجدید

پذیر، عدم حضور الکترو لایزر است که سیستم را ملزم به استفاده از منابع دیگر هیدروژن می کند که هر کدام به نوعی از سوخت های فسیلی استفاده می کنند و یا در صورت استفاده از روش های نوین استحصال هیدروژن، به دلیل استفاده از هیدروکربن ها، زمینه آلاینده گی (هرچند به میزان اندک) را فراهم می کند.

۲-۳-۲- سیستم ترکیبی متصل به باس DC

۲-۳-۲-۱- اتصال سیستم ترکیبی به یک باس DC

مرجع [۲۲]، یک سیستم ترکیبی شامل آرایه های خورشیدی، پیل سوختی و باتری را مورد مطالعه قرار داده است که منابع این سیستم، همگی به یک باس DC متصل شده و شبکه توانایی تامین بار DC و AC را دارا هستند. همانطور که در شکل ۷-۲ مشاهده می شود، فرآیند کنترلی در این سیستم شامل دو بخش است: (۱) محدود کننده ولتاژ باس (باتری) BVL^۱ و (۲) MPPT. در شرایط معمول، آرایه خورشیدی در حالت MPPT عمل می کند و هر زمان که میزان ولتاژ باس به شرایط مرزی نزدیک شود، حالت BVL اعمال شده و همچنین در شرایط خاصی که جریان دشارژ باتری افزایش می یابد (مانند زمانی که بار سنگین به باس متصل شود)، بار از سیستم ترکیبی جدا می شود.



States:

MPPT: Maximum Power Point Tracking mode

BVL: Bus (battery) Voltage Limit mode

DISC: Disconnecting the Load

Conditions of Events:

1: $V_b > V_{ref}$

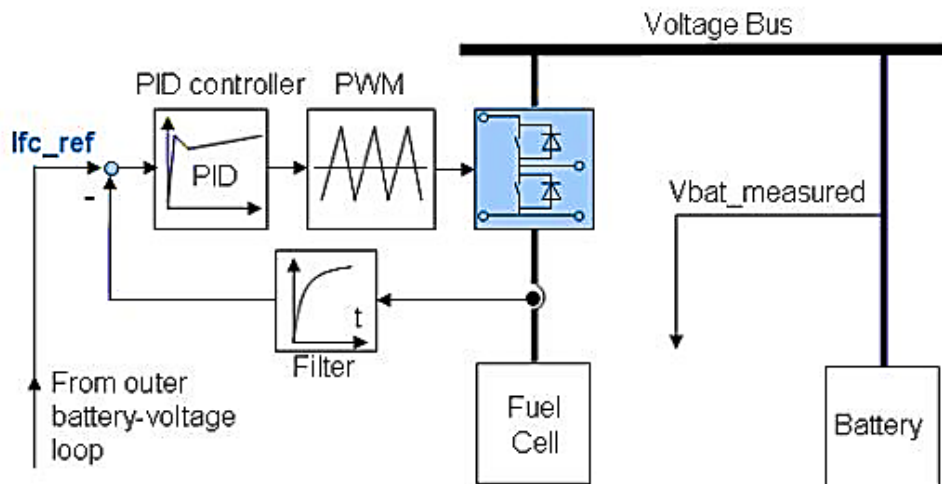
2: $V_b < V_{ref}$

3, 4: $|I_b| > I_{disc}$ (for instance, $I_{disc} = 4 \times I_{ref}$)

شکل ۷-۲: دیاگرام کنترلی مورد استفاده [۲۲]

^۱ BUS (Batory) Voltage Limit

به دلیل بالا بودن ثابت زمانی در پیل سوختی، سرعت عملکرد آن را کند می کند، به همین دلیل از آن تنها برای تامین بار باقیمانده که توسط آرایه خورشیدی قابل تامین نیست، استفاده می شود. در سیستم کنترلی پیل سوختی که در شکل ۸-۲ مشاهده می شود، از ولتاژ باتری برای کنترل مبدل، استفاده می شود.



شکل ۸-۲: نمایش بلوک دیاگرامی سیستم کنترلی پیل سوختی [۲۲]

در این سیستم ترکیبی، تا زمان زیاد شدن میزان تابش خورشید و شروع عملکرد آرایه خورشیدی به عنوان منبع اصلی تامین بار، وظیفه اصلی تامین بار به عهده پیل سوختی می باشد و در این مدت باتری شارژ می شود. اما به مرور زمان و با زیاد شدن تابش خورشید، پیل سوختی خاموش شده و باتری، به میزان بسیار کم در تامین بار مشارکت می کند. پس از اتمام تابش، پیل و باتری مجدداً به تامین بار می پردازند.

در این سیستم ترکیبی، مدیریت توان به خوبی پیاده سازی شده است و تمامی منابع در تامین بار مشارکت دارند. ^۱ نبود الکترولایزر و ^۲ عملکرد مستقل و جدای از شبکه، را می توان از نقایص این سیستم برشمرد.

۲-۳-۲- اتصال سیستم ترکیبی با پارامتر کنترلی متفاوت

در مرجع [۵] یک روش مدیریت انرژی در سیستم ترکیبی PV/FC/Battery ارائه شده است که در آن هر یک از منابع به صورت مجزا به مبدل متصل شده و این مجموعه به باس DC متصل شده اند. اصلی ترین پارامتر کنترلی که در این تحقیق مورد اسفاده قرار گرفته، انرژی مباله شده در باس DC می باشد. پارامتر بعدی که مورد توجه و استفاده قرار گرفته است، ظرفیت باتری است و به روشی

تقریباً مشابه سایر روش های کنترلی، با مقایسه توان تولیدی و مصرفی در مجموعه شبکه ترکیبی، به تنظیم عملکرد منابع می پردازد.

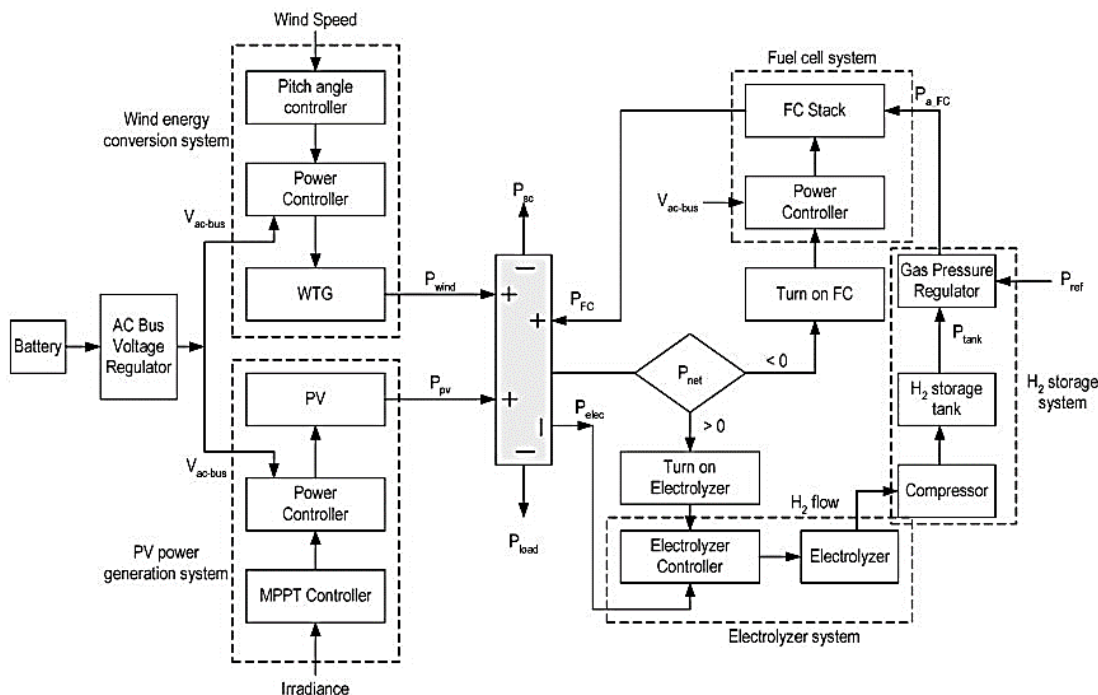
در سیستم ترکیبی مورد نظر در این مرجع، الکترولایزر مورد بررسی قرار نگرفته است در حالیکه هیدروژن مورد نیاز پیل سوختی، با توجه به مسائل اقتصادی، امری قابل توجه است.

۲-۳-۳- سیستم تولید ترکیبی با حضور توربین بادی، آرایه های خورشیدی، پیل سوختی-الکترولایزر

۲-۳-۳-۱- در سیستم ترکیبی با حضور باتری

در سیستم تولید ترکیبی که در [۲۳] آمده است، توربین بادی به همراه آرایه های خورشیدی، هر دو به عنوان منابع اصلی، و همچنین سیستم پیل سوختی-الکترولایزر همراه با باتری، به عنوان سیستم ذخیره انرژی مورد مطالعه قرار گرفته است. از این ترکیب، به عنوان سیستم مستقل و جدای از شبکه بهره برداری می شود.

در این سیستم ترکیبی، هر یک از منابع پس از یک مبدل، توسط یک مبدل دیگر DC/AC، به باس AC متصل می شوند و از آن جهت تغذیه یک بار با بیشینه مقدار ۱۴,۶ کیلووات مورد استفاده قرار گرفته است. بانک باتری مورد نظر نیز جهت جبران تغییرات گذرای بار استفاده می شود. نمایش بلوک دیاگرامی سیستم کنترلی مورد نظر را می توان در شکل ۲-۹ مشاهده نمود.



شکل ۲-۹: نمایش بلوک دیاگرامی مربوط به روش کنترلی سیستم تولید ترکیبی [۲۳]

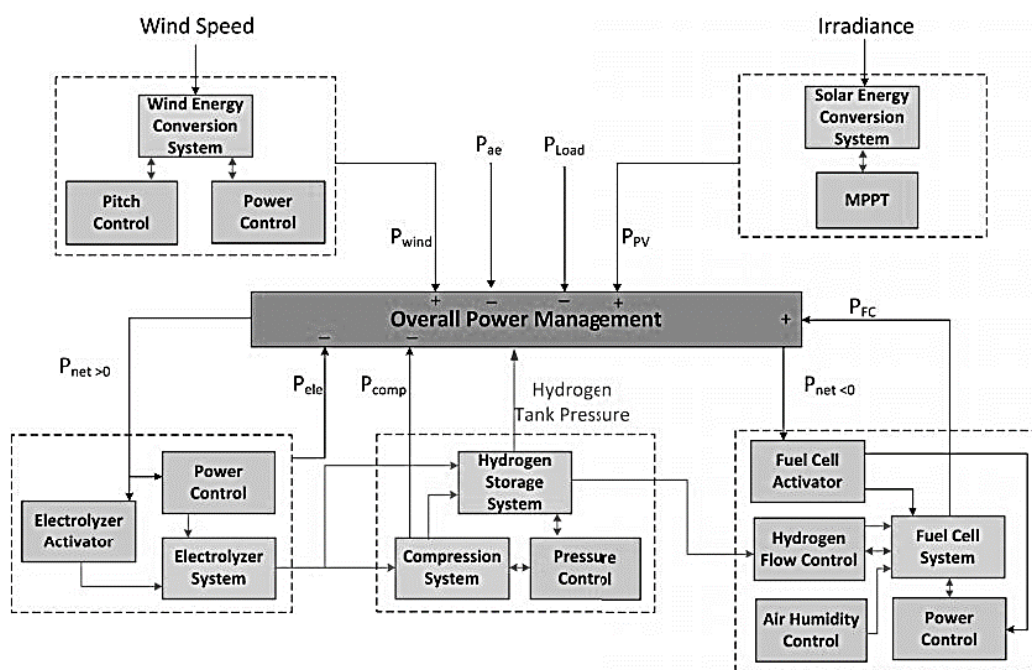
رابطه اصلی حاکم بر سیستم کنترلی به صورت زیر است:

$$P_{net} = P_{wind} + P_{pv} - P_{load} - P_{sc} \quad ۱۰-۲$$

در این رابطه، P_{wind} توان تولیدی توربین بادی، P_{pv} توان تولیدی آرایه های خورشیدی، P_{load} توان مصرفی بار متصل و P_{sc} مصرف داخلی هر یک از منابع و مبدل ها می باشد. همانطور که در شکل مشاهده می شود، جهت شارش توان و نحوه روشن و خاموش شدن هر یک از منابع و ذخیره ساز های انرژی، با توجه به علامت P_{net} تعیین می شود. در این سیستم، برخلاف دو سیستم معرفی شده در بخش های قبل، از الکترولیزر استفاده شده است، اما ظرفیت پایین مصرف کننده را می توان شاخص ترین نقطه ضعف این سیستم کنترلی دانست.

۲-۳-۳-۲ - سیستم ترکیبی بدون حضور باتری

در مرجع [۲۴] نیز سیستمی ترکیبی با حضور توربین بادی، آرایه خورشیدی، پیل سوختی، الکترولیزر و تانک هیدروژنی مورد بررسی قرار گرفته است که در آن یک مدیریت توان یک سیستم تولید ترکیبی با عملکرد مستقل ارائه شده است که در شکل ۲-۱۰، روش کنترل این سیستم که یک بار با ظرفیت محدود را در یک بازه ۲۴ ساعته تغذیه می کند مشاهده می شود.



شکل ۲-۱۰: نحوه کنترل و مدیریت توان در یک سیستم ترکیبی با حضور منابع مختلف [۲۴]

در این سیستم، عملکرد یک سیستم ذخیره ساز هیدروژن، مد نظر قرار گرفته در حالیکه این سیستم از باتری جهت ذخیره انرژی استفاده نکرده است و ذخیره سازی توان توسط سیستم الکترو لایزر و تانک هیدروژنی صورت می گیرد.

۲-۳-۴- ضرورت استفاده از ترکیب مورد نظر این پایان نامه

وجه مشترک تمامی کارهای تحقیقاتی بررسی شده، وجود یکی از منابع خورشیدی و بادی و یا هردو منبع به عنوان منبع اصلی تامین کننده بار و در کنار آن ها استفاده از پیل سوختی و یا باتری به عنوان سیستم ذخیره ساز انرژی می باشد و هر یک از این سیستم ها به صورت مستقل و یا متصل به شبکه به فعالیت می پردازند. اما با توجه به ویژگی های مناسبی که در مورد پیل سوختی و باتری ذکر شد، حضور همزمان باتری و پیل سوختی (به همراه الکترو لایزر و تانک هیدروژنی) مورد مطالعه قرار نگرفته است که به منظور بررسی سیستمی با وجود ذخیره سازهای مذکور، در این پایان نامه چنین سیستم تولید ترکیبی در حضور باتری و پیل به همراه الکترو لایزر و تانک هیدروژنی، معرفی و

مدیریت توان در یک شبانه روز مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین با توجه به مطالب ذکر شده در بخش های قبل درباره ویژگی های سیستم های ترکیبی و روش کنترلی بکار گرفته شده در هر یک، می توان ضرورت استفاه از یک سیستم تولید ترکیبی با عملکرد متصل به شبکه با حضور پیل سوختی، جهت تغذیه یک بار بزرگ را به خوبی درک کرد. لذا یک سیستم تولید ترکیبی متشکل از آرایه های خورشیدی، پیل سوختی-الکترولایزر-تانک هیدروژنی و باتری در حالت متصل به شبکه در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته است که در فصل های آینده، ویژگی سیستم، مدل مربوط به هر یک از منابع و طراحی روش کنترلی بیان خواهد شد.

فصل ۳:

مدلسازی و تشریح اجزای سیستم تولید

ترکیبی

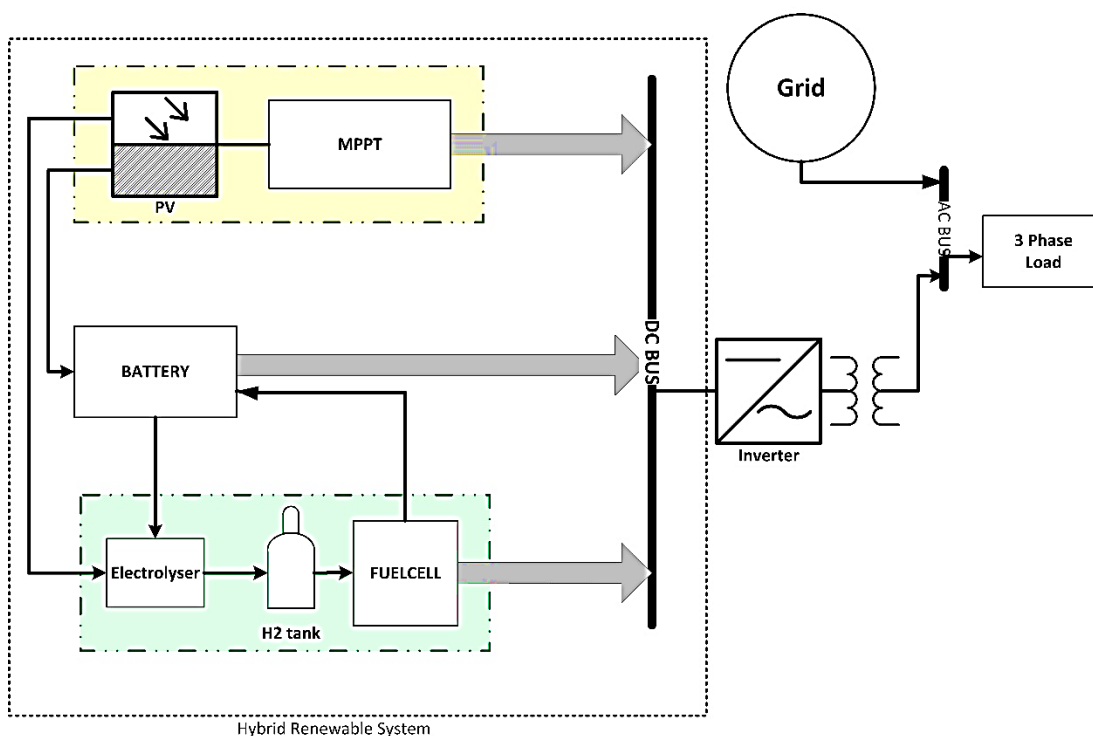
۳-۱- مقدمه

در دو فصل گذشته، با ضرورت استفاده از سیستم های تولید ترکیبی با انواع ترکیبات مختلف به همراه مزایا و معایب مربوط به استفاده هر کدام آشنا شدیم و نحوه کنترل و مدیریت توان در این سیستم ها در حالات مختلف و با ترکیبات مختلف بیان شد.

در این فصل به تشریح اجزای سیستم تولید ترکیبی مورد استفاده پرداخته خواهد شد و مدل های استخراج شده برای هر یک از اجزای آن ارائه می شود.

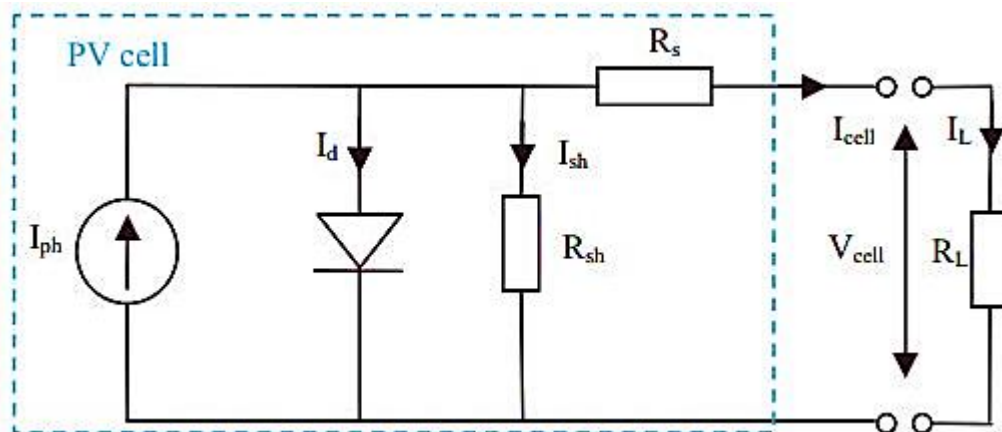
۳-۲- معرفی کلی سیستم ترکیبی مد نظر

در شکل ۳-۱ نمای کلی و عمومی از سیستم ترکیبی مورد استفاده قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱: نمای عمومی از سیستم تولید ترکیبی

همانطور که در شکل مشاهده می شود، در این سیستم از آرایه های خورشیدی، پیل سوختی-الکترولایزر-تانک هیدروژنی به عنوان منابع تجدید پذیر انرژی به استفاده شده است. در کنار این منابع



شکل ۳-۳: مدار معادل مربوط به یک آرایه خورشیدی [۲۵]

در این مدل مداری، I_{ph} ، جریان حاصل از حرکت پروتون هاست و اندازه آن به دما و میزان تابش خورشید وابسته است. R_{sh} ، برای نشان دادن افت ولتاژ ناشی از جریان نشتی (I_{sh}) استفاده می شود و R_s ، برای بیان افت ولتاژ در خروجی مدار بکار می رود. افزایش کوچک در R_s ، باعث کاهش شدید ولتاژ خروجی می شود و این در حالیتی که بازدهی سیستم خورشیدی به تغییرات R_{sh} ، حساسیتی ندارد. I_{cell} نیز جریان خروجی سیستم خورشیدی است که به بار ارائه می شود. در رابطه های ۱-۳ و ۲-۳، جریانی که توسط سیستم خورشیدی به بار ارائه می شود آمده است:

$$I_{cell} = I_r + \left[\alpha \left(\frac{G}{G_r} \right) (T_c - T_{cr}) + \left(\frac{G}{G_r} - 1 \right) I_{sc} \right] \quad 1-3$$

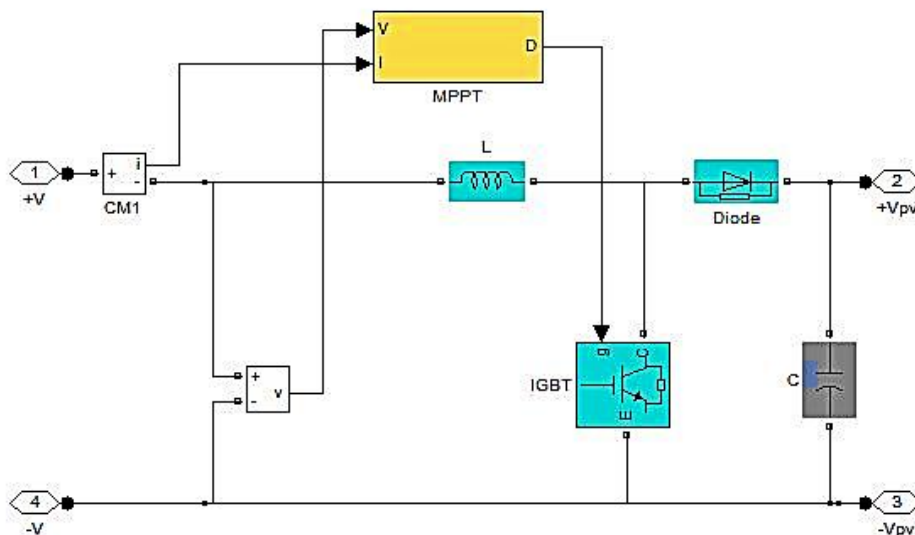
$$\Delta I = \alpha \left(\frac{G}{G_r} \right) (T_c - T_{cr}) + \left(\frac{G}{G_r} - 1 \right) I_{sc} \quad 2-3$$

در این رابطه، G و G_r به ترتیب مقادیر واقعی و مرجع تابش خورشید، T_c و T_{cr} دمای مجموعه خورشیدی هستند که معمولاً مقادیر مرجع به صورت $T_c = 25^\circ C$ و $G_r = 100 \text{ W/m}^2$ مورد استفاده قرار می گیرند، I_{sc} ، جریان اتصال کوتاه و α ضریب دمایی اتصال کوتاه است. در رابطه ۳-۳ نحوه محاسبه ولتاژ آرایه خورشیدی آمده است:

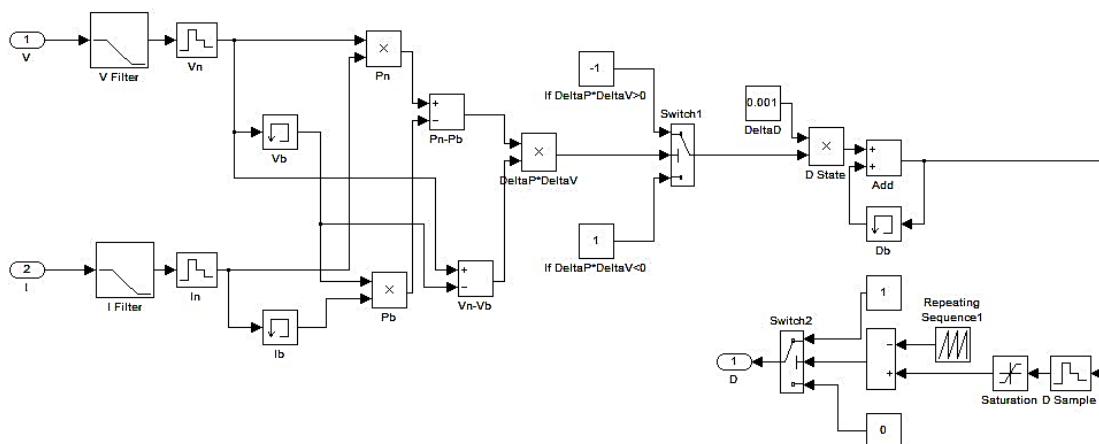
$$v_{cell} = -\beta(T_c - T_{cr}) - R_s \cdot \Delta I + v_r \quad 3-3$$

در روابط بالا، I_r و v_r به عنوان مقادیر مرجع، از منحنی ولتاژ جریان آرایه خورشیدی بدست می آیند.

های ۳-۵ و ۳-۶ نحوه پیاده سازی مدار این الگوریتم را نشان می دهد. در شکل ۳-۵، نحوه اتصال سیستم ردیابی بیشینه توان مشاهده می شود و همچنین شکل ۳-۶ مدل مدار این الگوریتم شکل ۳-۴ را نمایش می دهد.



شکل ۳-۵: نحوه اتصال سیستم MPPT به مبدل خروجی آرایه خورشیدی



شکل ۳-۶: نحوه پیاده سازی الگوریتم P&O

۳-۳-۲- پیل سوختی-الکترولایزر-تانک هیدروژنی

۳-۳-۲-۱- پیل سوختی

همانگونه که در فصل های قبل بیان شد، پیل سوختی به دلیل ویژگی های مناسب، طرفداران

P_b : فشار تانک هیدروژن (bar) P_{bi} : فشار اولیه داخل تانک هیدروژن (bar)

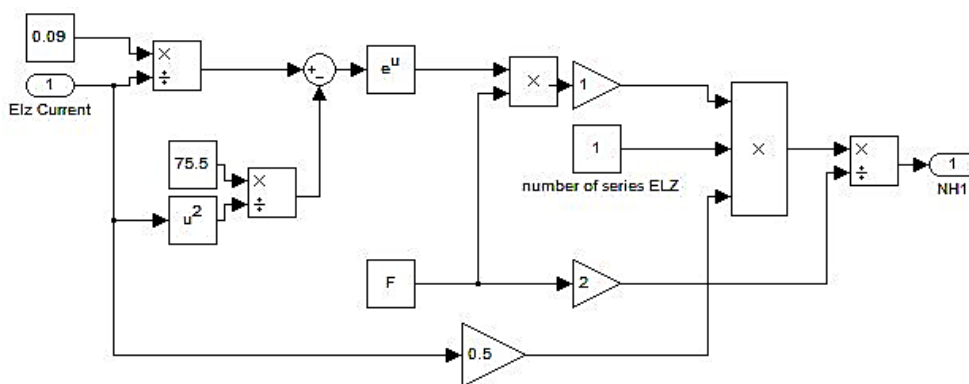
T_b : دمای عملکرد (K) R: ثابت جهانی گازها (ثابت ریذبرگ) (J/kmol.K)

T: دمای محیط (K) V_b : ضریب تراکم پذیری گاز (به عنوان تابعی از فشار)

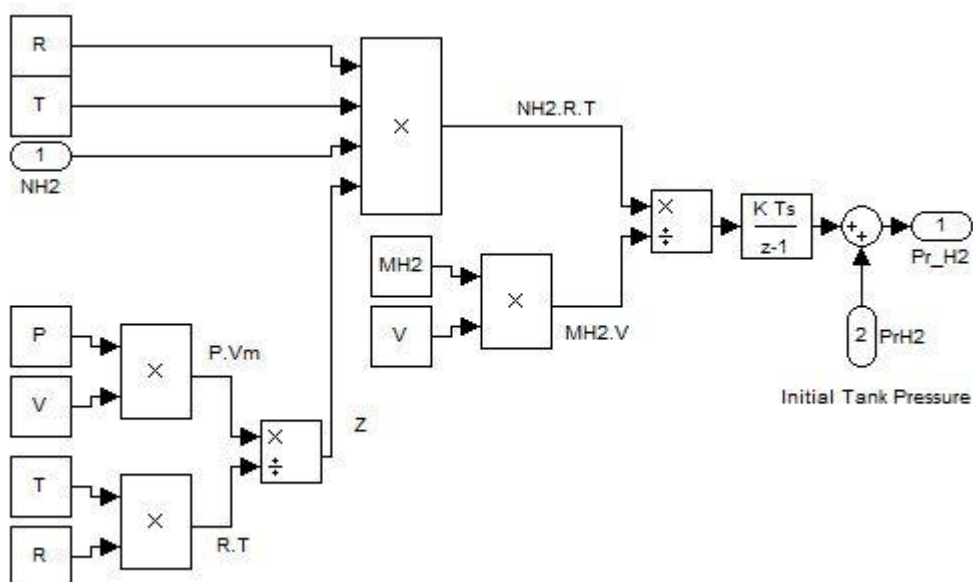
V_m : حجم مولی گاز P: فشار داخل تانک

این مدل، فشار تانک هیدروژن را مستقیماً از طریق شارش هیدروژن محاسبه می‌کند. در این مدل مداری از مدل تجهیزات همراه تانک نظیر پمپ، فن و دریچه‌ها صرف‌نظر شده است.

شکل‌های زیر، مدل مداری توسعه داده شده توسط روابط ۳-۴ تا ۳-۷ را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷: مدل توسعه داده شده برای الکترولایزر



شکل ۳-۸: مدل استفاده شده برای تانک هیدروژن

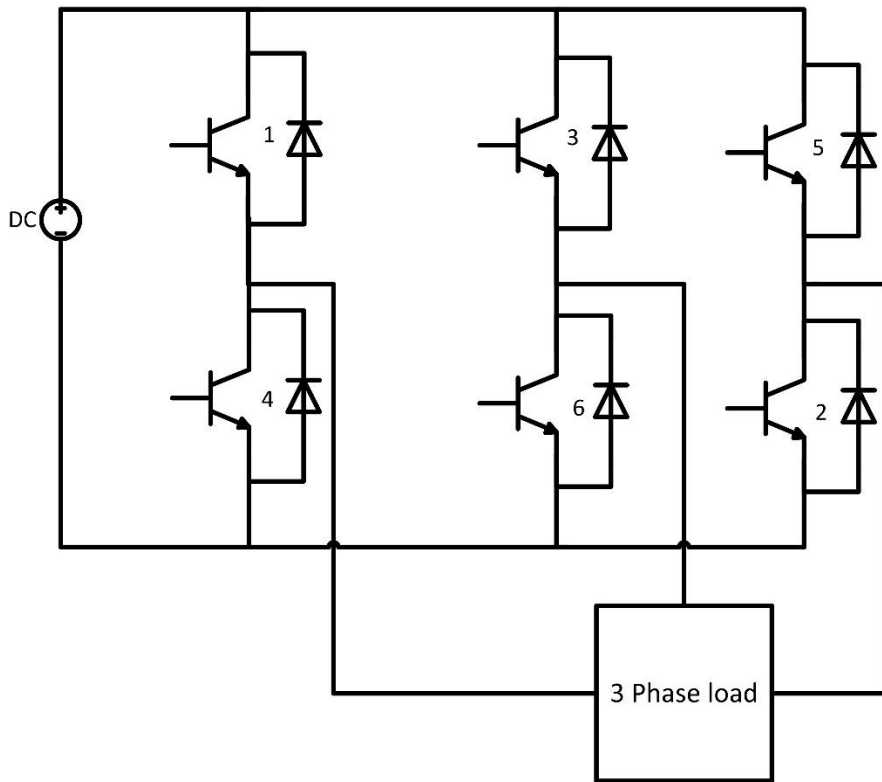
۳-۳-۳- باتری

در مورد ویژگی انواع باتری ها در فصل ۱ توضیحات لازم ارائه شد. در سیستم های تولید ترکیبی، معمولاً برای تثبیت ولتاژ باس DC مورد استفاده قرار می گیرند. استفاده دیگر باتری ها در ذخیره سازی انرژی به عنوان سیستم های ذخیره ساز کوتاه مدت انرژی است [۳۱]. در این پایان نامه نیز همانند بسیاری از کار های تحقیقاتی صورت گرفته، وضعیت شارژ باتری به عنوان پارامتر اصلی و تعیین کننده در سیستم کنترل و مدیریت توان بکار رفته است. مدل باتری استفاده شده، از کتابخانه نرم افزار متلب اقتباس شده است.

۳-۴- تشریح مبدل

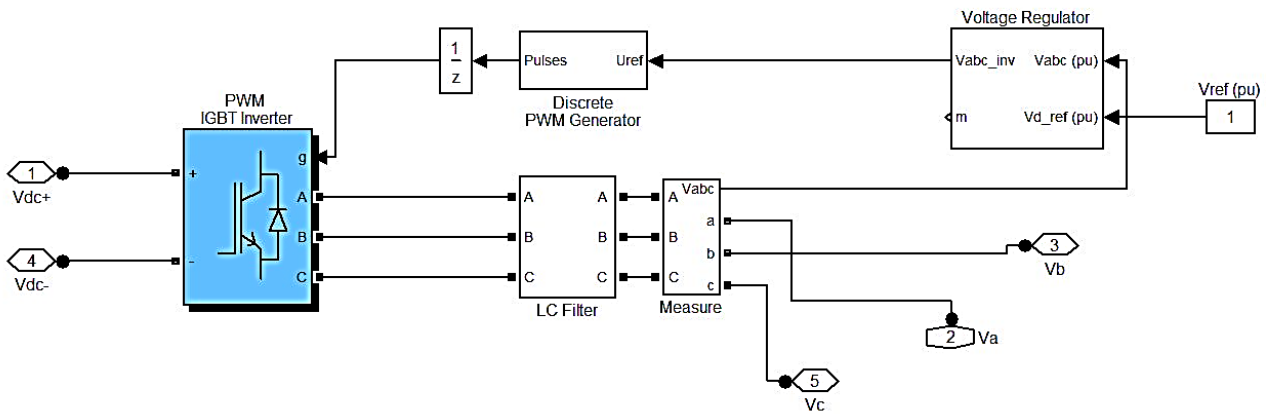
در شکل ۵-۹، ساختار عمومی و کلی اینورتر های سه فاز مشاهده می شود. در این مدل از یک Universal Bridge به عنوان اینورتر استفاده شده است. کنترل این مبدل با استفاده از روش مدولاسیون پهنای باند^۱ (PWM) صورت گرفته که هر یک از سویچ ها با توجه به وضعیت مدار و سیستم کنترلی مبدل شروع به هدایت می کنند.

^۱ Pulse Width Modulation



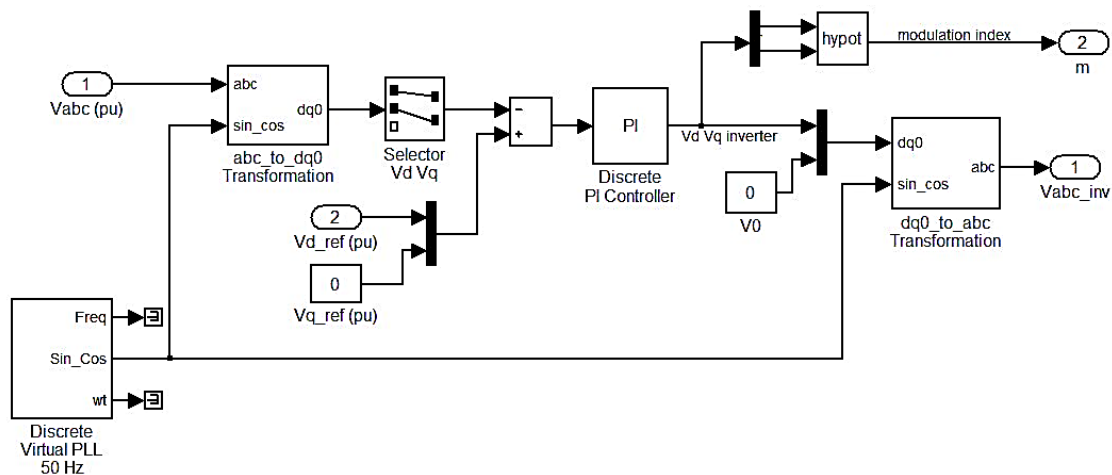
شکل ۳-۹: ساختار کلی اینورتر

همچنین مدل مداری استفاده شده در این شبیه سازی در شکل ۵-۱۰ آمده است.



شکل ۳-۱۰: اینورتر استفاده شده در سیستم ترکیبی

مبدل بکار رفته در این سیستم ترکیبی، به روش تنظیم ولتاژ، که ساختار مداری آن در شکل ۵-۱۱ مشاهده می شود کنترل شده و فرمان های هر یک از سویچ ها توسط این سیستم تنظیم ولتاژ ایجاد و صادر می شود.



شکل ۱۱-۳: مدل مداری سیستم تنظیم ولتاژ جهت کنترل اینورتر

همانگونه که ملاحظه می شود، سیستم کنترل اینورتر، با نمونه گیری از ولتاژ سه فاز و سپس تبدیل به دستگاه $d-q$ ، و سپس با عکس این تبدیل، ولتاژهای مرجع را برای ایجاد فرامین گیت اینورتر صادر می کند.

فصل ۴:

معرفی و طراحی سیستم کنترلی

۴-۱- مقدمه

در این فصل، روند طراحی و ضرورت استفاده از سیستم های کنترلی مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد. در سیستم های تولید ترکیبی با توجه به استفاده از منابع مختلف با شرایط مختلف، کنترل نحوه شارش توان و مدیریت منابع، امری ضروری است.

در ادامه، ابتدا ضرورت طراحی و استفاده از سیستم کنترل منابع توان بیان شده و سپس مراحل مربوط به طراحی الگوریتم کنترل توان مورد استفاده در این پایان نامه، به صورت کامل ارائه می شود.

۴-۲- ضرورت طراحی و استفاده از سیستم کنترلی

در سیستم های تولید ترکیبی از انواع منابع با امکانات و ویژگی های مختلف استفاده می شود. این منابع گاه به صورت مستقل، برای تامین یک بار محلی و گاه به صورت متصل به شبکه مورد بهره برداری قرار می گیرند.

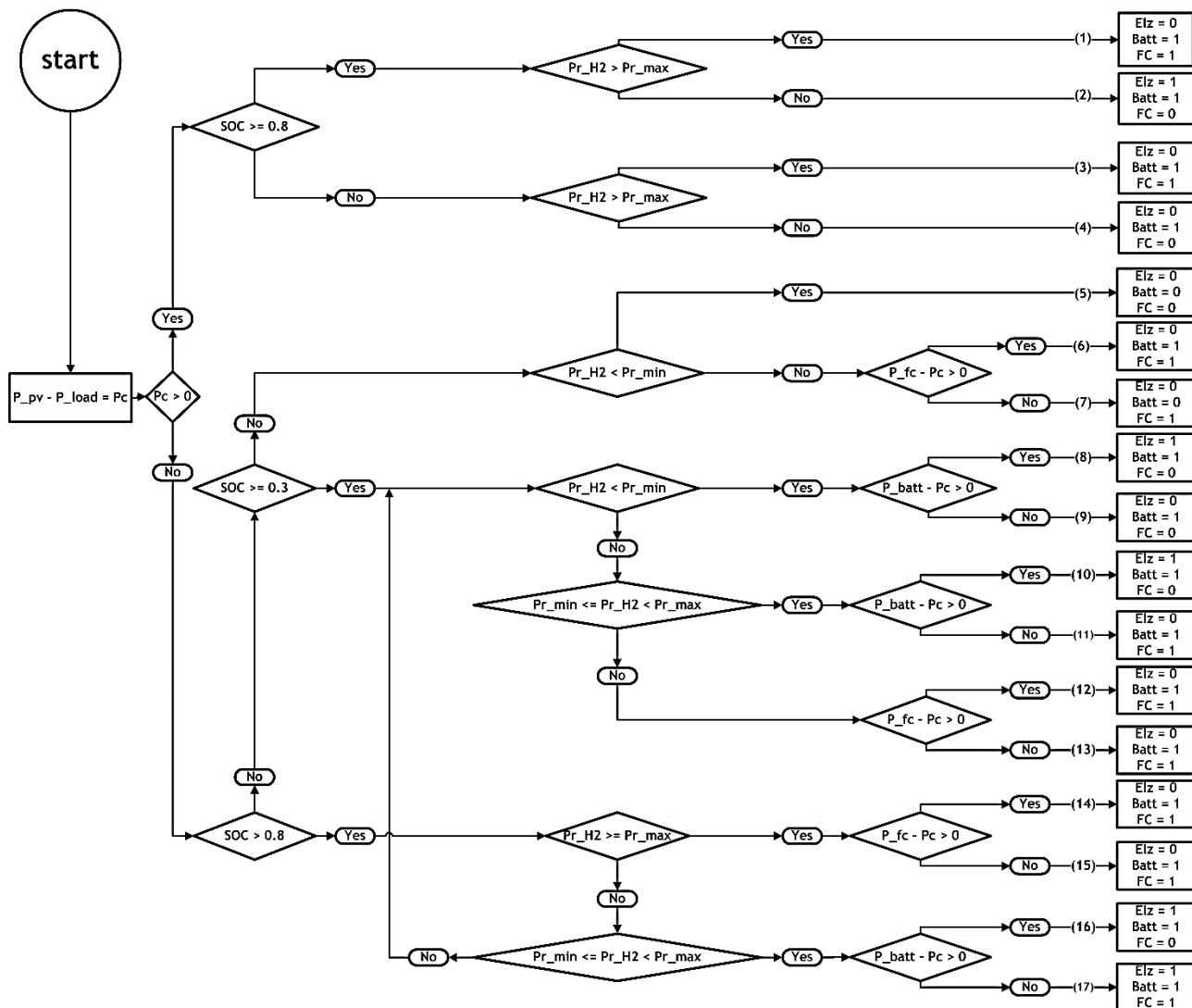
همانگونه که در مزایای منابع تجدید پذیر انرژی بیان شد، این منابع جهت کاهش هزینه ها، افزایش بهره وری و قابلیت اطمینان سیستم های تولید توان استفاده می شوند. با توجه به ماهیت تصادفی برخی از منابع تجدید پذیر، ضرورت بکارگیری سیستم های ذخیره ساز انرژی و مدیریت این منابع در کنار هم به خوبی قابل درک است، همچنین استفاده بیش از حد از این منابع بدون برنامه ریزی باعث کاهش کارایی آن ها و در نتیجه ناتوان شدن سیستم می گردد به همین دلیل بهره برداری مدیریت شده از سیستم های تولید ترکیبی، چه در حالت متصل و چه در حالت جدا از شبکه، ضروری به نظر می رسد.

جهت درک بهتر ضرورت استفاده از سیستم کنترلی، می توان به این موضوع نیز اشاره کرد که در صورت استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی مانند: باد، خورشید، پیل سوختی و ... و در حضور شبکه توزیع، با توجه به ماهیت متغیر و تصادفی باد و خورشید، امکان نوسانات شدید در میزان توان تولیدی آن ها وجود دارد. پس باید برنامه ریزی مناسب جهت ذخیره سازی انرژی تولیدی در زمان های مازاد تولید و استفاده از آن در زمان کمبود توان صورت گیرد.

۴-۳- تشریح روند طراحی و عملکرد سیستم کنترلی

در این بخش، روند طراحی و عملکرد سیستم کنترل و مدیریت توان توضیح داده خواهد شد.

در شکل ۴-۱ الگوریتم مربوط به این سیستم مشاهده می شود.



شکل ۴-۱: الگوریتم سیستم کنترل و مدیریت توان

با توجه به امکان نمونه گیری لحظه ای و نیز سادگی تحلیل ، ملاک اصلی تصمیم گیری برای کنترل توان، وضعیت شارژ باتری است. پس از محاسبه P_c ، طبق علامت آن به ترتیب با توجه به وضعیت شارژ باتری و فشار داخلی تانک هیدروژن، حالت عملکرد سیستم کنترلی در بین ۱۷ حالت ممکن انتخاب می شود. بیشینه و کمینه مقدار مجاز وضعیت شارژ باتری و فشار تانک هیدروژن در زیر آمده است.

$$SOC_{max} = 80\%$$

$$SOC_{min} = 30\%$$

$$Pr_{max} = 5 \text{ bar}$$

$$Pr_{max} = 0.2 \text{ bar}$$

۴-۳-۱- حالات مختلف عملکرد سیستم کنترلی

الف) $P_c > 0$: در حالات ۱ تا ۴، شرایط لازم برای عملکرد آرایه خورشیدی فراهم بوده و میزان توان تولیدی آن از توان مورد نیاز بار بیشتر است بنابراین تصمیم لازم به صورت زیر اتخاذ می شود:

حالت ۱: با توجه به این که وضعیت شارژ باتری بیشتر از ۰,۸ است، امکان دشارژ شدن باتری وجود دارد و چون فشار هیدروژن از بیشینه فشار مجاز بیشتر است، پس نیازی به روشن شدن الکترولایزر و تولید و ذخیره سازی هیدروژن نمی باشد، لذا در این حالت باتری و پیل سوختی هردو روشن شده و هر کدام بار Dump load را تغذیه می کنند.

حالت ۲: در این حالت وضعیت شارژ باتری همانند حالت ۱ است اما فشار هیدروژن، از کمتر از بیشینه فشار مجاز است، پس با روشن شدن الکترولایزر، اضافه توان موجود، به هیدروژن تبدیل و ذخیره می شود. در این حالت با توجه به وضعیت توان منابع و فشار تانک هیدروژن، نیازی به روشن شدن پیل سوختی نمی باشد.

حالت ۳: وضعیت شارژ باتری کمتر از ۰,۸ است و هنوز شرایط لازم برای دشارژ باتری وجود دارد و از آنجا که فشار گاز از فشار بیشینه مجاز بیشتر است، باتری از طریق پیل سوختی شارژ می شود. در این حالت نیز نیازی به عملکرد الکترولایزر نبوده پس خاموش نگهداشته می شود.

حالت ۴: وضعیت شارژ باتری مانند حالت ۳ است و چون فشار هیدروژن کمتر از بیشینه فشار مجاز می باشد، پس امکان شارژ باتری از طریق پیل سوختی وجود ندارد. در این حالت باتری تنها از طریق اضافه توان حاصل از آرایه خورشیدی شارژ می شود و پیل سوختی و الکترولایزر خاموش هستند. همچنین در این حالت امکان شارژ باتری از طریق شبکه نیز وجود دارد.

ب) $P_c < 0$: در حالات ۵ تا ۱۷ با توجه به اینکه آرایه خورشیدی نتوانسته توان مورد نیاز بار را به طور کامل تامین نماید، تصمیمات لازم اینگونه اتخاذ می شود:

حالت ۵: چنانچه وضعیت شارژ باتری کمتر از ۰,۳ باشد، باتری نمی تواند در تامین بار مشارکت داشته باشد و اگر فشار هیدروژن نیز از کمینه فشار مجاز کمتر باشد، پیل سوختی هم امکان تامین بار را ندارد. پس با فعال شدن حالت ۵، باتری، پیل سوختی و الکترولایزر خاموش شده و بار باقیمانده از شبکه تامین می شود.

حالات ۶ و ۷: در این حالات وضعیت شارژ باتری مشابه حالت ۵ است و فشار گاز بیشتر از کمینه فشار مجاز تانک هیدروژنی است، پس باتری توانایی تامین بار را ندارد اما برای پیل سوختی امکان مشارکت در

تامین بار وجود دارد. چنانچه توان پیل سوختی از توان مورد نیاز بار بیشتر باشد، حالت ۶ فعال شده و باتری از طریق پیل سوختی شارژ می شود اما اگر توان پیل سوختی نیز برای تامین بار کافی نباشد، بافعال شدن حالت ۷، باتری خاموش شده و علاوه بر پیل سوختی و آرایه خورشیدی، شبکه نیز در تامین بار مشارکت می کند.

حالات ۸ و ۹: در این حالات وضعیت شارژ باتری بیشتر از ۰,۳ است یعنی امکان عملکرد باتری و تامین بار از این طریق وجود دارد. چنانچه فشار هیدروژن از کمینه فشار مجاز کمتر بوده و باتری توانایی تامین کامل بار را داشته باشد، حالت ۸ فعال شده و مازاد توان باتری، الکترولایزر را شارژ می کند تا هیدروژن تولید و ذخیره شود. اما اگر توان باتری هم برای تامین بار کافی نباشد، با خاموش شدن الکترولایزر، حالت ۹ فعلا شده و اضافه توان مورد نیاز بار را شبکه تامین می کند. در هر دو این حالات، به دلیل شرایط فشار هیدروژن، پیل سوختی خاموش می شود.

حالات ۱۰ و ۱۱: چنانچه وضعیت شارژ باتری بیشتر از ۰,۳ باشد، امکان عملکرد باتری چه برای شارژ و چه برای دشارژ وجود دارد. اگر فشار هیدروژن در بازه بین بیشینه و کمینه فشار مجاز قرار داشته باشد و توان باتری بیشتر از توان مورد نیاز بار باشد، حالت ۱۰ فعال شده و با روشن شدن الکترولایزر، مازاد توان باتری جهت تولید و ذخیره سازی هیدروژن مورد استفاده قرار می گیرد. در این حالت نیازی به عملکرد پیل سوختی نبوده، لذا خاموش می ماند. اما اگر توان باتری برای تامین بار کافی نباشد، از آنجا که شرایط فشار هیدروژن، اجازه فعالیت پیل سوختی را می دهد، حالت ۱۱ فعال شده و علاوه بر باتری، پیل سوختی نیز در تامین بار مشارکت می کند. همچنین در حالت ۱۱ چنانچه شبکه نیز بتواند مازاد توان بار را تامین کند و اضافه توان وجود داشته باشد، باتری شروع به فعالیت نموده و از اضافه توان شبکه برای شارژ خود استفاده می کند. در این حالت برای تامین بهینه بار از جانب پیل سوختی و باتری، الکترولایزر خاموش می شود.

حالات ۱۲ و ۱۳: در این حالات، وضعیت شارژ باتری همانند حالات ۸ تا ۱۱ می باشد با این تفاوت که فشار هیدروژن بیشتر از بیشینه فشار مجاز می باشد، پس به دلیل شرایط امنیتی فشار تانک هیدروژن، ابتدا پیل سوختی روشن شده و اگر توان ارائه شده از جانب پیل سوختی بیشتر از توان مورد نیاز بار باشد، با فعال شدن حالت ۱۲، مازاد توان آن توسط باتری مورد استفاده قرار می گیرد اما اگر توان پیل سوختی برای تامین بار کافی نباشد، حالت ۱۳ فعال شده و این بار باتری در شرایط معکوس با حالت ۱۲، دشارژ شده و در تامین بار مشارکت می کند در این دو حالت، با توجه به شرایط فشار هیدروژن، نیازی به روشن شدن الکترولایزر نمی باشد.

حالات ۱۴ و ۱۵: چنانچه وضعیت شارژ باتری بیشتر از ۰,۸ باشد، در صورتی که فشار هیدروژن از بیشینه فشار مجاز بیشتر باشد، به دلیل مسائل امنیتی، ابتدا پیل سوختی روشن شده و اگر توان ارائه شده

توسط پیل سوختی بیشتر از توان مورد نیاز بار باشد، حالت ۱۴ فعال شده و پیل سوختی در تامین بار مشارکت می کند، اما با توجه به وضعیت شارژ باتری و توان سایر منابع، باتری از طریق Dump load تخلیه می شود. اما اگر توان پیل سوختی برای تامین بار کافی نباشد، باتری نیز به صورت منبع عمل کرده و در تامین بار مشارکت می کند. در این حالات، الکترولایزر خاموش می ماند.

حالات ۱۶ و ۱۷: وضعیت شارژ باتری در این حالات مشابه حالات ۱۴ و ۱۵ می باشد با این تفاوت که فشار تانک هیدروژن، در محدوده بین بیشینه و کمینه فشار مجاز قرار دارد. چنانچه توان باری برای تامین بار کافی باشد، حالت ۱۶ فعال شده و الکترولایزر با بهره گیری از مازاد توان باتری به تولید و ذخیره سازی هیدروژن می پردازد. در حالت ۱۶ نیازی به عملکرد پیل سوختی نمی باشد. اگر توان باتری برای تامین اضافه توان بار کافی نباشد، در این حالت پیل سوختی نیز روشن شده و با فعال شدن حالت ۱۷، باتری و پیل سوختی به همراه سیستم خورشیدی، به تامین بار می پردازند. در حالت ۱۷ با توجه به این که فشار هیدروژن اجازه می دهد، الکترولایزر، پیل سوختی و باتری همزمان با هم فعالیت می کنند. چنانچه همین وضعیت شارژ باتری، فشار هیدروژن کمتر از کمینه فشار مجاز باشد، در این صورت با توجه به وضعیت توات منابع، سیستم ترکیبی در یکی از حالات ۸ و ۹ فعالیت می کند.

با مشخص شدن نحوه عملکرد سیستم کنترلی، در فصل بعد، شبیه سازی و نتیجه گیری حاصل از اعمال الگوریتم کنترلی بر سیستم تولید ترکیبی مورد بررسی قرار می گیرد.

از ویژگی های سیستم کنترلی مورد استفاده در این پایان نامه می توان موارد زیر را بر شمرد:

- در این کار مطالعاتی صرفاً بر روی عملکرد ترکیبی سیستم تجدید پذیر و شبکه توزیع تمرکز شده است اما عملکرد جزیره ای سیستم تجدید پذیر نیز قابل بررسی و توسعه است.

- می توان از توان های مازاد در صورت نیاز جهت فعالیت های دیگر نظیر سیستم های ترکیب توان و حرارت^۱ (CHP) نیز بهره گرفت.

سایر ویژگی ها و عملکرد های مورد نیاز نیز می توانند در صورت امکان سنجی به این سیستم ترکیبی افزوده شوند.

^۱ Combined Heat and Power

فصل ۵:

شبیه سازی و تحلیل نتایج

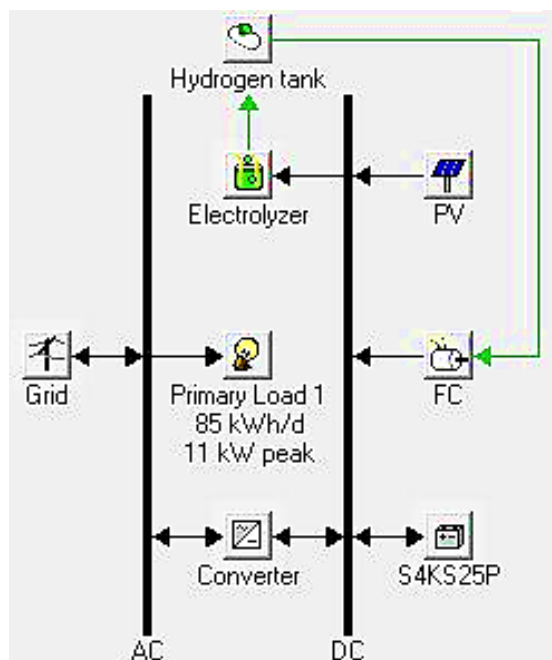
۵-۱- مقدمه

ضرورت استفاده از سیستم های تولید ترکیبی و بویژه سیستم مد نظر این پایان نامه و همچنین نحوه مدلسازی اجزای سیستم، در فصول قبل تبیین شد. با مشخص شدن مدل هر یک از اجزای سیستم ترکیبی و پس از طراحی الگوریتم کنترلی، در این فصل به شبیه سازی و تحلیل نتایج حاصل از اعمال سیستم کنترلی پرداخته خواهد شد.

در شکل ۳-۱ نمایش بلوک دیاگرامی کامل سیستم تولید ترکیبی، نشان داده شده است.

۵-۲- نتایج نرم افزار هومر

ترکیب مداری مورد استفاده در نرم افزار هومر در شکل ۵-۱ مشاهده می شود. هزینه های مربوط به سوخت و هر یک از منابع از [۳۲] به سیستم اعمال شده است و پس از اعمال این هزینه ها، ظرفیت هرکدام از منابع حاصل شده است که این ظرفیت ها در جدول ۵-۱ آمده است.



شکل ۵-۱: ترکیب مداری در نرم افزار هومر

جدول ۵-۱: ظرفیت منابع سیستم ترکیبی حاصل از نرم افزار هومر

سیستم خورشیدی (kW)	پیل سوختی (kW)	بانک باتری (Ah)	مبدل (kW)	الکترولایزر (kW)	تانک هیدروژن (kW)
۸۵۰	۵۰	۱۹۰۰*۳	۶۵۰	۱۰	۱

۵-۳- شبیه سازی

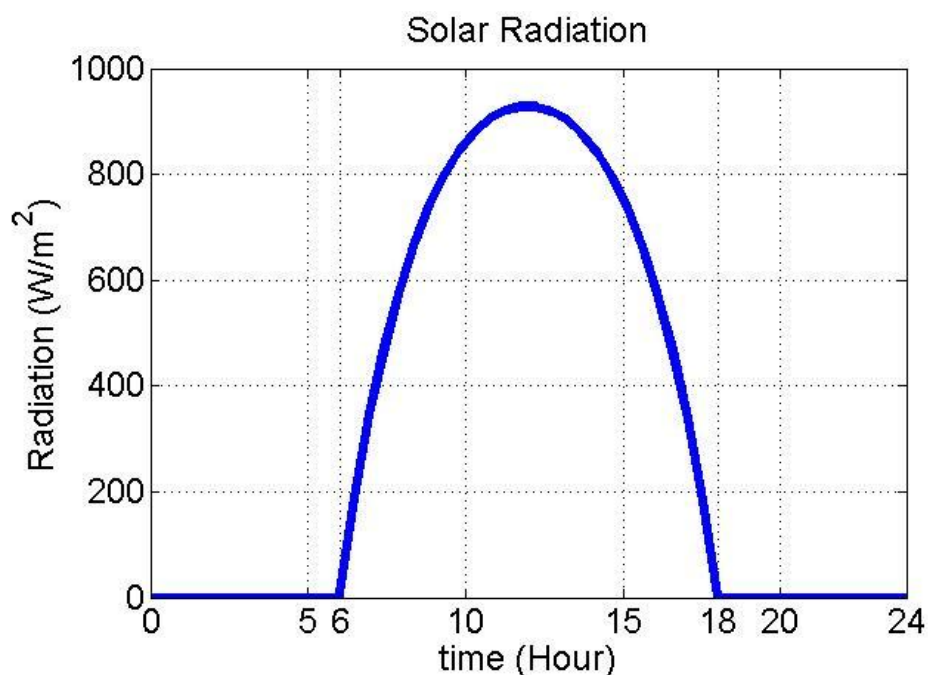
۵-۳-۱- شرایط کلی

شبیه سازی در یک دوره زمانی ۲۴ ساعته صورت گرفته که شرایط اولیه مربوط به شارژ باتری، ۸۰٪ و فشار اولیه تانک هیدروژن نیز برابر با ۳ بار گرفته شده است، همچنین الگوی بار مورد استفاده نیز در جدول ۵-۳ آمده است.

جدول ۵-۲: الگوی بار مورد استفاده در سیستم ترکیبی

بازه زمانی(ساعت)	بار (kW)	بازه زمانی(ساعت)	بار (kW)	بازه زمانی(ساعت)	بار (kW)
۰۱:۰۰ - ۰۰:۰۰	۳۰۸,۲۹۲	۰۸:۰۰ - ۰۹:۰۰	۶۰۸,۴۸۷	۱۶:۰۰ - ۱۷:۰۰	۷۴۳,۲۹۰
۰۲:۰۰ - ۰۱:۰۰	۲۹۳,۲۹۷	۰۹:۰۰ - ۱۰:۰۰	۶۰۵,۹۳۸	۱۷:۰۰ - ۱۸:۰۰	۸۵۶,۲۰۰
۰۳:۰۰ - ۰۲:۰۰	۲۷۴,۸۵۴	۱۰:۰۰ - ۱۱:۰۰	۵۹۷,۳۹۱	۱۸:۰۰ - ۱۹:۰۰	۱۰۰۰
۰۴:۰۰ - ۰۳:۰۰	۲۷۳,۳۵۴	۱۱:۰۰ - ۱۲:۰۰	۶۲۱,۰۸۳	۱۹:۰۰ - ۲۰:۰۰	۸۲۹,۰۶۰
۰۵:۰۰ - ۰۴:۰۰	۲۷۷,۴۰۳	۱۲:۰۰ - ۱۳:۰۰	۶۰۲,۰۳۹	۲۰:۰۰ - ۲۱:۰۰	۵۶۴,۸۵۲
۰۶:۰۰ - ۰۵:۰۰	۳۴۰,۳۸۱	۱۳:۰۰ - ۱۴:۰۰	۶۱۵,۰۸۵	۲۱:۰۰ - ۲۲:۰۰	۴۳۳,۳۴۸
۰۷:۰۰ - ۰۶:۰۰	۴۲۶,۳۰۱	۱۴:۰۰ - ۱۵:۰۰	۵۹۷,۳۹۱	۲۲:۰۰ - ۲۳:۰۰	۳۶۲,۷۲۳
۰۸:۰۰ - ۰۷:۰۰	۵۶۴,۱۰۳	۱۵:۰۰ - ۱۶:۰۰	۶۲۸,۱۳۰	۲۳:۰۰ - ۲۴:۰۰	۳۲۲,۵۳۷

همچنین منحنی مربوط به تابش روزانه خورشید که مبین تابش روزانه در کشور ایران است نیز مطابق شکل ۲-۵ است.



شکل ۲-۵: منحنی تابش روزانه خورشید

در ادامه پس از معرفی مبدل بکار رفته در سیستم به تحلیل شبیه سازی پرداخته خواهد شد. شبیه سازی سیستم ترکیبی در دو حالت عملکرد سیستم تحت شرایط بار در یک روز عادی و نیز بررسی تاثیر خطای تکفاز بر عملکرد و پارامترهای سیستم ترکیبی و نحوه فعالیت منابع صورت گرفته است.

در شکل ۳-۵، فرمان های صادر شده برای اینورتر مشاهده می شود و شماره های ذکر شده در بالای هر یک از اشکال با توجه به شکل ۳-۵، آمده اند.

۴-۵- تحلیل شبیه سازی

۴-۵-۱- شبیه سازی تحت شرایط معمول در یک شبانه روز

با توجه به تابش خورشید در شکل ۲-۵، در ۶ ساعت آغازین روز (ساعات ۰۰:۰۰ تا ۰۶:۰۰) و همچنین ۶ ساعت پایانی (ساعات ۱۸:۰۰ تا ۲۴:۰۰) سیستم تبدیل انرژی خورشیدی هیچگونه فعالیتی در تامین بار ندارد و به مرور از ساعت ۰۶:۰۰ تا ۱۸:۰۰ با توجه به شرایط و میزان تابش، سیستم

خورشیدی در تامین بار مشارکت می کند. پس در ساعات غیبت آرایه خورشیدی، تامین بار به عهده شبکه، پیل سوختی و بانک باتری است. در ادامه به تحلیل ساعت به ساعت شبیه سازی می پردازیم. در ادامه و در جدول ۵-۳ میانگین توان منابع در ساعات مختلف آورده شده است.

۶ ساعت اول: در این ساعات، باتوجه به این که تابش خورشید هنوز آغاز نشده است، لذا بار از طریق سایر منابع تامین می شود. و از آنجا که باتری و پیل سوختی، توانایی تامین بار را ندارند پس شبکه نیز به تامین بار می پردازد. در تمامی این ۶ ساعت حالت ۱۱ از سیستم کنترلی فعال شده است.

ساعات ۶ تا ۱۸: در این ساعات با توجه به شروع تابش خورشید وضعیت عملکرد منابع برای تامین بار نیز متفاوت خواهد بود. در ساعت ۶ تا ۷ با توجه به این که تازه تابش خورشید آغاز شده است، وضعیت منابع مشابه ۶ ساعت قبل است اما در ساعات بعد، به مرور، سیستم خورشیدی شروع به فعالیت نموده وظیفه تامین بار به عنوان منبع اصلی را به عهده می گیرد. لذا در دو ساعت اول، در حالت ۱۱ فعالیت کرده و در ساعات ۸ تا ۱۶ که توان سیستم خورشیدی بیشتر از توان مورد نیاز بار است، در سیستم کنترلی، حالت ۴ فعال می شود و باتری با استفاده از توان سیستم خورشیدی و شبکه شارژ می شود. در دو ساعت پایانی این بازه نیز با توجه به افزایش تقاضا، مجدداً باتری در کنار سایر منابع دشارژ شده و به تامین بار می پردازد.

۶ ساعت پایانی: با اتمام تابش خورشید، مجدداً وضعیت منابع به حالت ۶ ساعت ابتدایی برمی گردد. پس مجدداً، سیستم ترکیبی در حالت ۱۱ الگوریتم کنترلی به فعالیت پرداخته و بار را تامین می کند.

در ادامه ابتدا متوسط توان منابع در جدول ۵-۳ ارائه شده و سپس نتایج حاصل از شبیه سازی آمده است.

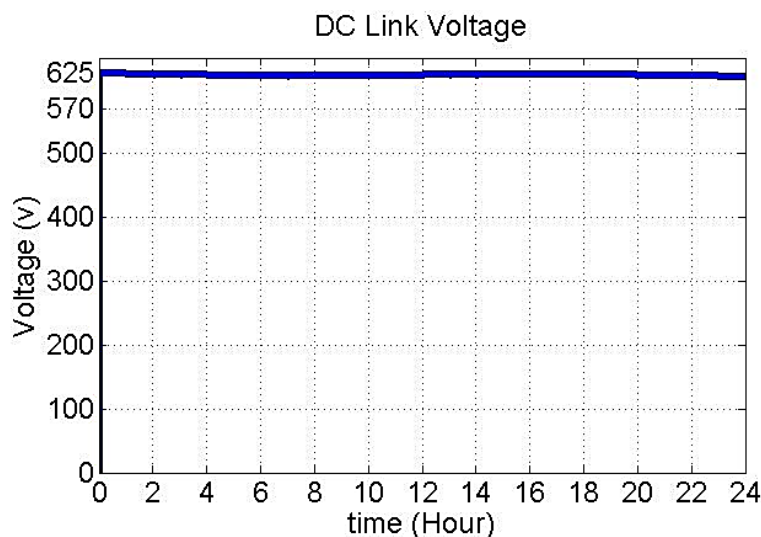
جدول ۵-۳: وضعیت عملکرد منابع در طول شبانه روز

حالت سیستم کنترلی	وضعیت باتری	توان منابع (kW)				ساعت
		باتری	شبکه	پیل سوختی	سیستم خورشیدی	
۱۱	دشارژ	۲۳۷,۴۵	۵۵,۴۲۱	۲۰,۲۸۲	۰,۰۰۳۲	۰۱:۰۰ - ۰۰:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۶,۹۶	۳۹,۹۶	۲۰,۲۳۶	۰,۰۰۳۳	۰۲:۰۰ - ۰۱:۰۰

۱۱	دشارژ	۲۳۶,۶۱	۱۹,۲۳۱	۲۰,۲۰۱	۰,۰۰۳۳	۰۲:۰۰ - ۰۳:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۶,۳۲	۱۸,۱۳۷	۲۰,۱۷۵	۰,۰۰۳۴	۰۳:۰۰ - ۰۴:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۶,۰۵	۲۳,۱۷۷	۲۰,۱۵۲	۰,۰۰۳۴	۰۴:۰۰ - ۰۵:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۵,۶۵	۹۳,۱۰۳	۲۰,۱۳۰	۰,۰۰۳۵	۰۵:۰۰ - ۰۶:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۰۱,۶۵	۱۸۸,۱۹	۱۴,۹۲۷	۳,۴۰۲	۰۶:۰۰ - ۰۷:۰۰
۱۱	شارژ	۱۹۶,۳۰	۳۴۰,۶۷	۰,۰۰۶۵	۴۹۵,۸۰	۰۷:۰۰ - ۰۸:۰۰
۴	شارژ	۳۸۴,۷۵	۳۸۸,۵۱	۰,۰۰۲۳	۶۶۶,۵۸	۰۸:۰۰ - ۰۹:۰۰
۴	شارژ	۳۸۴,۹۷	۳۸۵,۵۴	۰,۰۰۲۳	۶۶۶,۹۶	۰۹:۰۰ - ۱۰:۰۰
۴	شارژ	۳۸۵,۱۵	۳۷۶,۹۷	۰,۰۰۲۳	۶۶۷,۳۳	۱۰:۰۰ - ۱۱:۰۰
۴	شارژ	۳۸۵,۴۰	۴۰۳,۵۲	۰,۰۰۲۳	۶۶۷,۶۸	۱۱:۰۰ - ۱۲:۰۰
۴	شارژ	۳۸۵,۵۳	۳۸۱,۸۷	۰,۰۰۲۳	۶۶۸,۰۲	۱۲:۰۰ - ۱۳:۰۰
۴	شارژ	۳۸۵,۷۶	۴۰۴,۱۲	۰,۰۰۲۳	۶۶۸,۳۵	۱۳:۰۰ - ۱۴:۰۰
۴	شارژ	۳۸۵,۸۷	۳۷۶,۳۰	۰,۰۰۲۳	۶۶۸,۶۸	۱۴:۰۰ - ۱۵:۰۰
۴	شارژ	۳۸۶,۱۳	۴۱۰,۴۴	۰,۰۰۲۳	۶۶۹,۰۲	۱۵:۰۰ - ۱۶:۰۰
۱۱	شارژ	۳۶۸,۶۳	۵۳۸,۰۳	۰,۰۰۲۳	۶۶۹,۰۳	۱۶:۰۰ - ۱۷:۰۰
۱۱	شارژ	۲۶۴,۴۹	۶۶۳,۱۶	۱۴,۹۹۵	۴۶۷,۰۸	۱۷:۰۰ - ۱۸:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۴,۷۷	۸۲۲,۲۰	۲۰,۲۱۱	۰,۰۰۳۳	۱۸:۰۰ - ۱۹:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۴,۹۴	۶۳۳,۰۲	۲۰,۱۸۲	۰,۰۰۳۴	۱۹:۰۰ - ۲۰:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۵,۳۶	۳۴۰,۸۰	۲۰,۱۵۶	۰,۰۰۳۴	۲۰:۰۰ - ۲۱:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۵,۴۳	۱۹۵,۴۷	۲۰,۱۳۱	۰,۰۰۳۵	۲۱:۰۰ - ۲۲:۰۰
۱۱	دشارژ	۲۳۵,۳۴	۱۱۸,۱۷	۲۰,۱۰۶	۰,۰۰۳۶	۲۲:۰۰ - ۲۳:۰۰

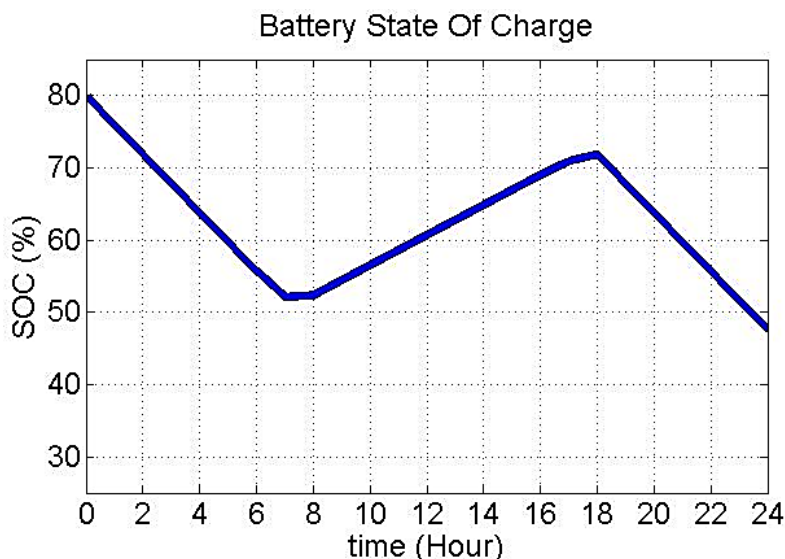
۱۱	دشارژ	۲۳۵,۱۵	۷۴,۱۱۳	۲۰,۰۷۹	۰,۰۰۳۷	۲۳:۰۰ - ۲۴:۰۰
----	-------	--------	--------	--------	--------	---------------

همانگونه که ملاحظه شد در ساعات مختلف و با توجه به وضعیت بار و منابع، سیستم کنترلی به مدیریت توان پرداخته است. شکل موج مربوط به ولتاژ لینک DC، تغییرات SOC، تغییرات فشار تانک هیدروژن و نیز توان منابع مختلف در شکل های ۵-۷ تا ۵-۱۰ آمده است.



شکل ۵-۳: تغییرات ولتاژ لینک DC در دوره ۲۴ ساعته فعالیت سیستم

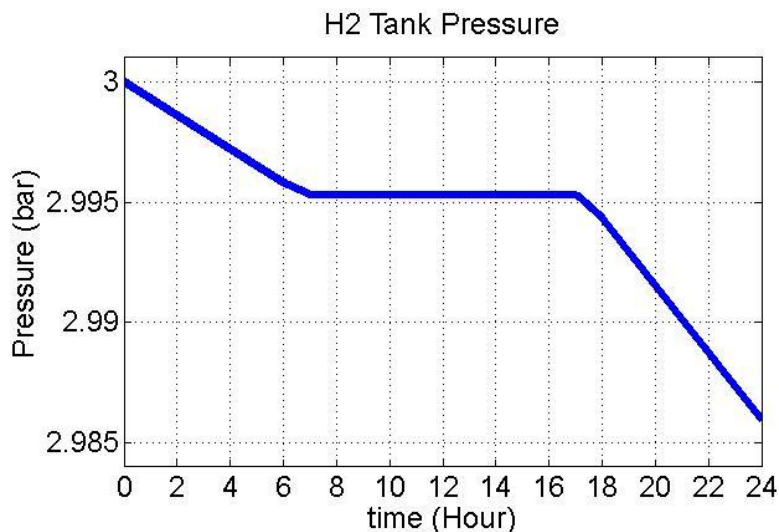
ولتاژ لینک DC، ولتاژ نامی پیل سوختی انتخاب شده است و همانطور که مشاهده می شود در طول بازه ۲۴ ساعته اندازه ولتاژ لینک DC در مقدار تقریباً ثابت مانده است.



شکل ۵-۴: تغییرات وضعیت شارژ باتری در دوره ۲۴ ساعته

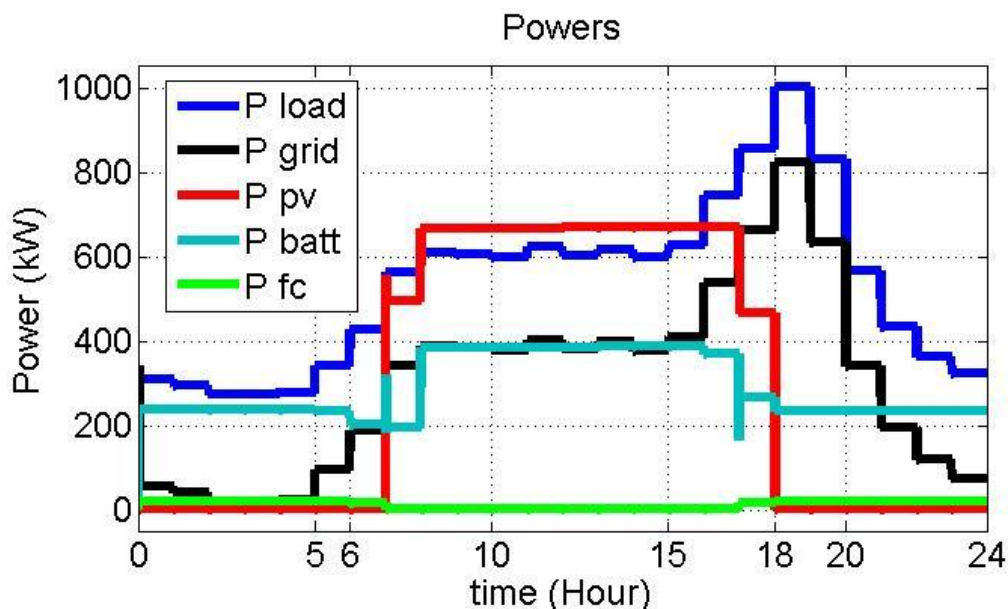
در تغییرات وضعیت شارژ باتری می توان افزایش و کاهش SOC را در زمان های شارژ و دشارژ

باتری به خوبی درک کرد.



شکل ۵-۵: تغییرات فشار تانک هیدروژن در دوره ۲۴ ساعته

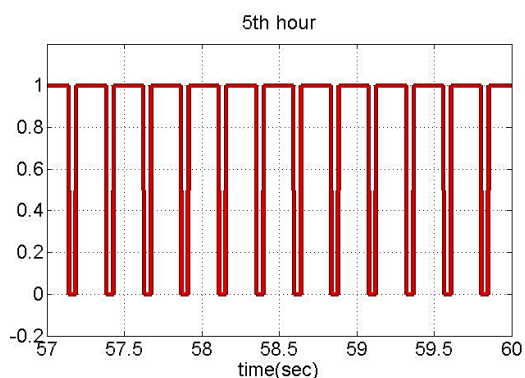
در شکل ۵-۹، تغییرات فشار داخلی تانک هیدروژن مشاهده می شود. در بازه ۲۴ ساعته الکترولیزر خاموش بوده و تنها در برخی ساعات پیل سوختی نیز فعالیتی ندارد. در باقی ساعات باتوجه به عملکرد پیل سوختی و استفاده از هیدروژن داخل تانک، فشار تانک هیدروژن کاهش یافته است.



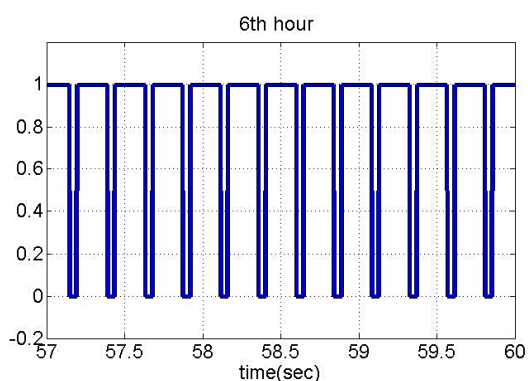
شکل ۵-۶: توان مربوط به منابع و بار در بازه ۲۴ ساعته

تغییرات مربوط به توان بار و همچنین توان ارائه شده منابع در دوره ۲۴ ساعته شبیه سازی را می توان در شکل ۵-۱۰ مشاهده نمود که در آن عملکرد منابع مختلف در ساعات و شرایط مختلف قابل مشاهده است.

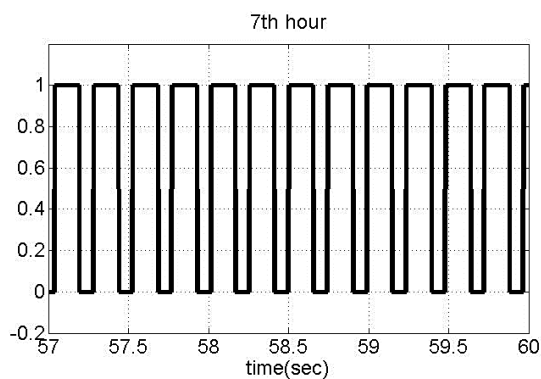
در شکل ۵-۱۱ شکل موج های مربوط به مبدل سیستم خورشیدی در سه حالت مختلف عملکرد سیستم خورشیدی مشاهده می شود که (الف)، به عنوان نماینده ساعات قبل از شروع به کار سیستم خورشیدی، (ب) در ساعت آغاز به کار سیستم خورشیدی، (ج) نماینده ساعات حین عملکرد، (د) فرمان گیت در ساعت پایانی فعالیت سیستم خورشیدی و در نهایت، (ه) فرمان گیت مبدل در ساعات خاموش شدن مجدد سیستم خورشیدی می باشند.



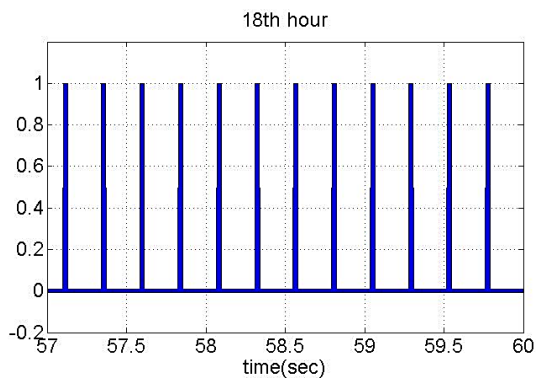
(الف)



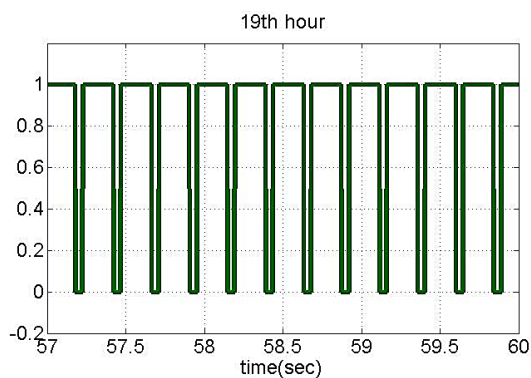
(ب)



(ج)



(د)

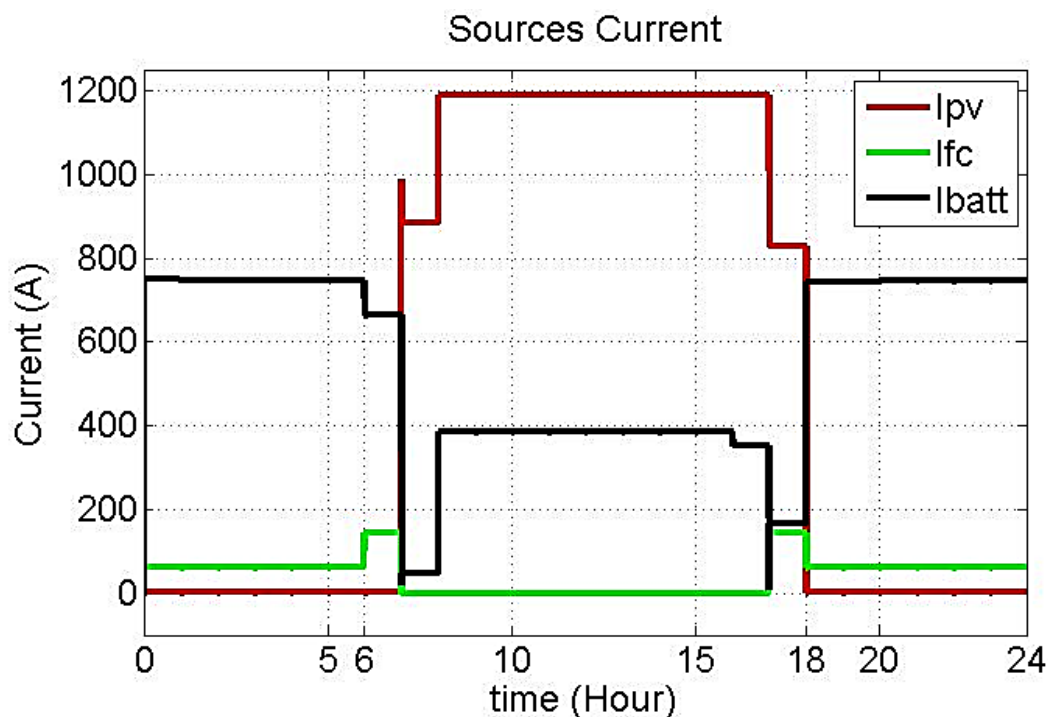


(ه)

شکل ۵-۷: شکل موج فرمان های مبدل سیستم ردیابی بیشینه توان: (الف): در ساعت پنجم، (ب): در ساعت

ششم، (ج): در ساعت هفتم، (د): در ساعت هجدهم، (ه): در ساعت نوزدهم

در شکل ۵-۸ تغییرات جریان منابع در طوره ۲۴ ساعته عملکرد سیستم ترکیبی قابل مشاهده است. در این شکل می توان نحوه تغییرات جریان تزریقی از جانب آرایه های خورشیدی، پیل سوختی و باتری با توجه به دستورات سیستم کنترلی مبنی بر عملکرد و یا عدم فعالیت آن ها را به خوبی مشاهده نمود.



شکل ۵-۸: تغییرات جریان منابع با توجه به وضعیت کلی سیستم در بازه ۲۴ ساعته

۵-۴-۲- بررسی افزایش فشار تانک هیدروژن

در بخش قبل مشاهده شد که سیستم در یک روز معمولی و برای تامین بار مورد نظر در حالات ۱۱ و ۴ از الگوریتم کنترلی فعالیت می کند و در تمامی این حالات، الکترولیزر خاموش می ماند. در صورت فعال شدن یکی از حالات ۲، ۸، ۱۰، ۱۶ و ۱۷، الکترولیزر فعالیت می کند لذا برای بررسی صحت عملکرد الکترولیزر، نیاز به فعال شدن یکی از این حالات می باشد. شرایط لازم برای فعال شدن حالت ۸، مطابق جدول ۵-۴ فراهم شده است و عملکرد سیستم ترکیبی تحت این حالت در بازه زمانی یک ساعته مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۴-۵: شرایط اولیه برای عملکرد سیستم در حالت ۸

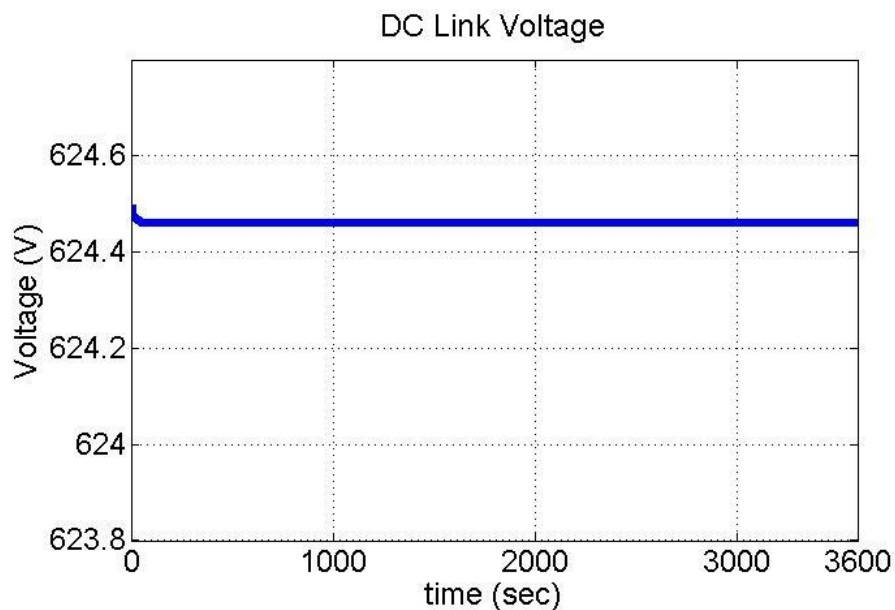
وضعیت اولیه شارژ باتری (%)	فشار اولیه تانک هدروژن (bar)	بیشینه فشار تانک هدروژن (bar)	کمینه فشار تانک هدروژن (bar)
۷۵	۱	۵	۲

این شرایط در حالتی در نظر گرفته شده است که آرایه خورشیدی قادر به تامین بار نبوده و بار از طریق باتری تامین شده است و در صورت مازاد بودن توان باتری پس از تامین بار، جهت جلوگیری از تلفات و بهره گیری بهینه از توان موجود، اضافه توان، برای عملکرد الکترو لایزر جهت تولید و ذخیره سازی هیدروژن مورد استفاده قرار گرفته است. توان حاصل از منابع و ولتاژ باس در این شرایط در جدول ۵-۵ آمده است.

جدول ۵-۵: وضعیت توان منابع در حالت ۸

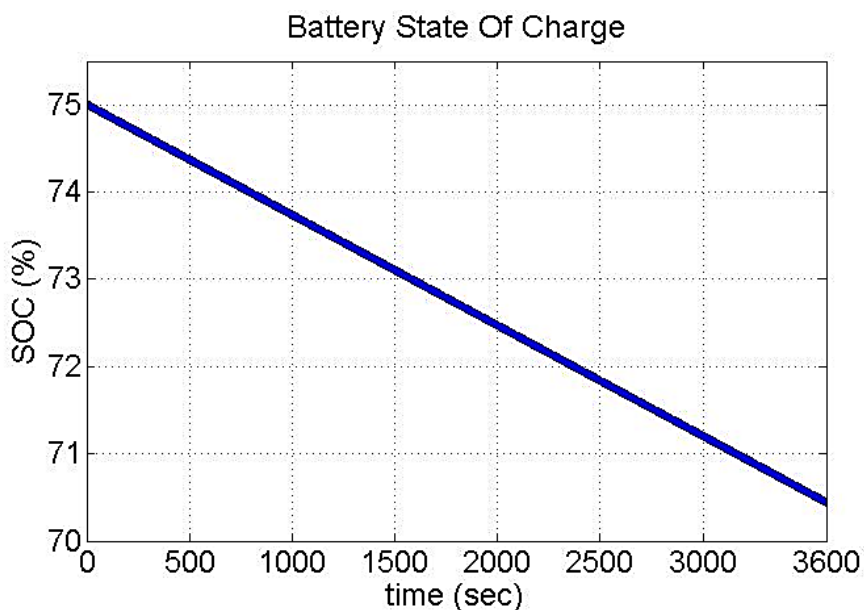
توان بار (kW)	توان شبکه (kW)	توان سیستم خورشیدی (kW)	توان پیل سوختی (kW)	توان باتری (kW)	ولتاژ باس DC (V)
۲۵۶,۷۲	۰,۶۸۸	۰,۰۰۳۱	۰,۰۰۶۴	۳۰۱,۸۳	۶۲۴,۴۵۹۱

در ادامه شکل موج های مربوط به منابع و مبدل ها آمده است.



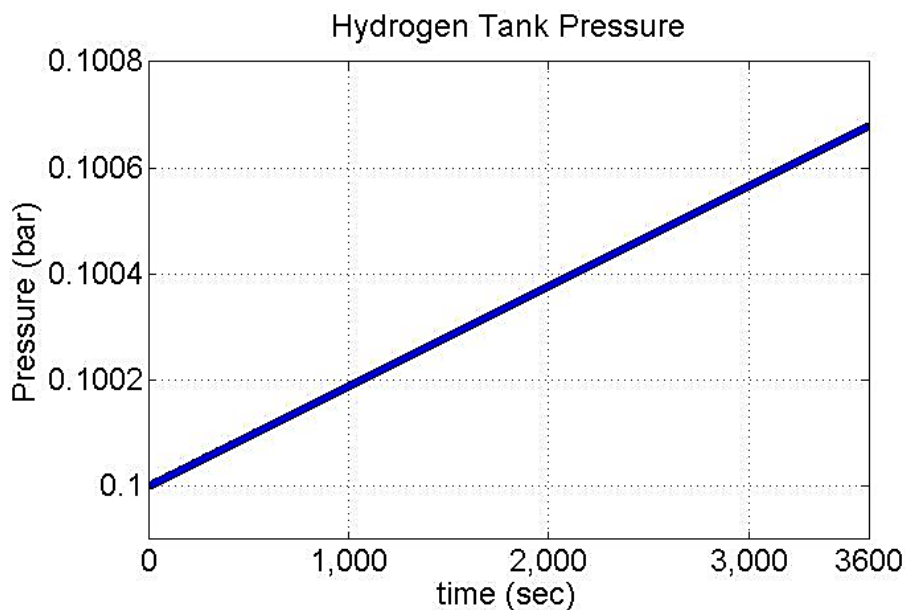
شکل ۵-۹: تغییرات ولتاژ لینک DC در بازه یک ساعته عملکرد الکترولاپز

در شکل ۵-۹، تغییرات ولتاژ لینک DC در بازه یک ساعته فعالیت سیستم در حالت ۸م از سیستم کنترلی مشاهده می شود و ملاحظه می شود که ولتاژ در مقدار خود ثابت مانده است.



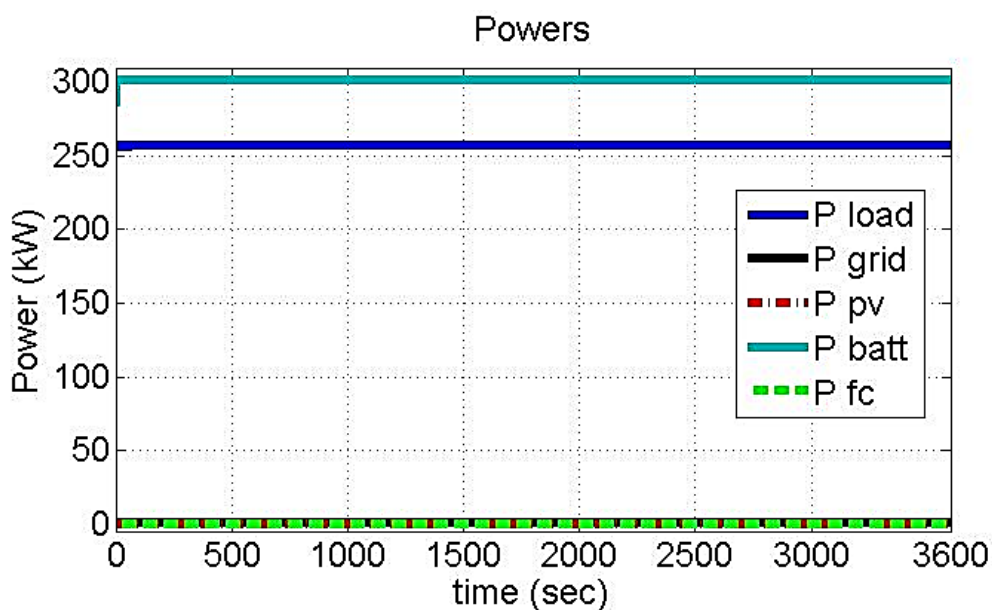
شکل ۵-۱۰: تغییرات وضعیت شارژ باتری

تغییرات SOC در بازه یک ساعته در شکل ۵-۱۰ آمده است و همانگونه که مشاهده می شود، با توجه به این که تنها منبع فعال در این یک ساعت باتری است، SOC نیز کاهش یافته است.



شکل ۵-۱۱: وضعیت فشار تانک هیدروژن

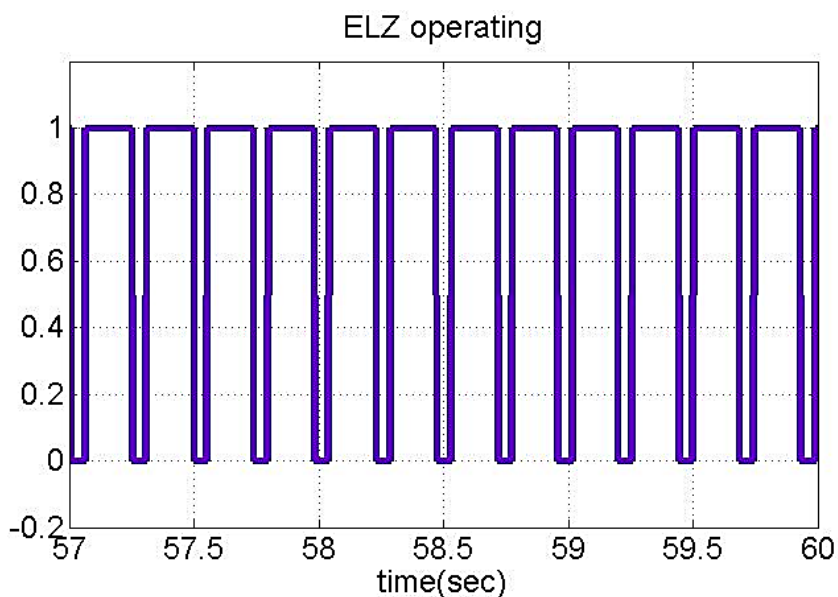
در شکل ۵-۱۱، می توان تغییرات مربوط به فشار هیدروژن را در طول یک ساعت عملکرد الکترولایزر ملاحظه نمود.



شکل ۵-۱۲: تغییرات توان منابع در بازه یک ساعته

در شکل ۵-۱۲، تغییرات توان منابع و بار در طول بازه یک ساعته آمده است که در این ساعت، تنها منبع فعال که برای تامین بار مورد استفاده قرار گرفته است، باتری بوده و باتوجه به این که اندازه توان ارائه شده آن از توان مورد نیاز بار بیشتر است، مازاد توان باتری، جهت فعالیت الکترولایزر و تولید و ذخیره سازی هیدروژن مورد استفاده قرار گرفته است. و در ادامه و در شکل ۵-۱۳ شکل موج

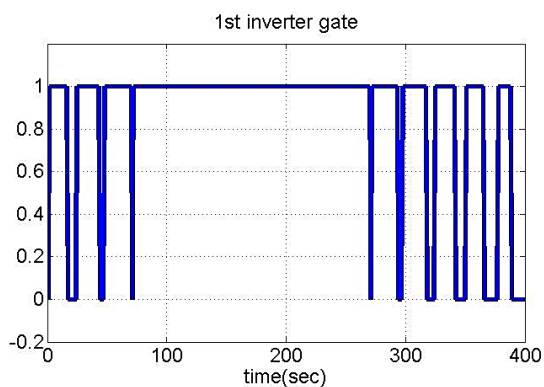
مربوط به فرمان سویچینگ صادر شده برای مبدل سیستم خورشیدی آمده است.



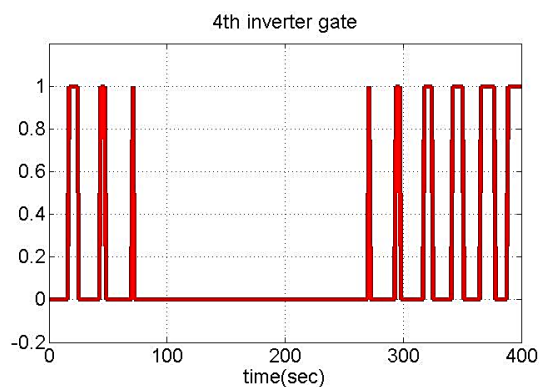
شکل ۵-۱۳: فرمان گیت مبدل DC/DC در بازه یک ساعته فعالیت الکترولایزر

۵-۴-۳- فرمان گیت های مبدل در زمان شبیه سازی

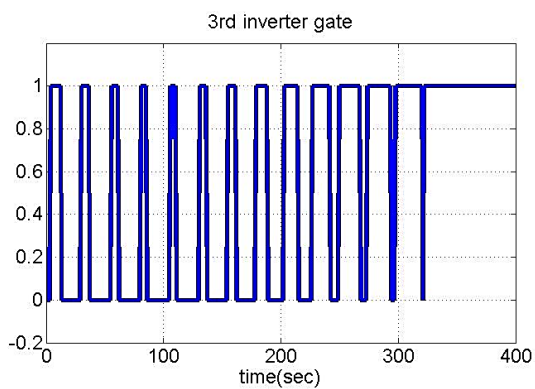
در شکل های ۵-۱۴، فرمان سویچینگ مبدل در دوره عملکرد سیستم کنترلی آمده است.



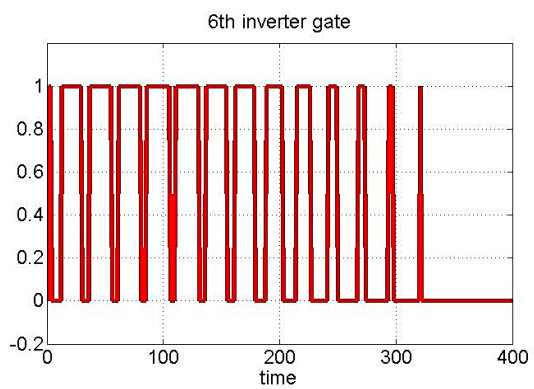
(ب)



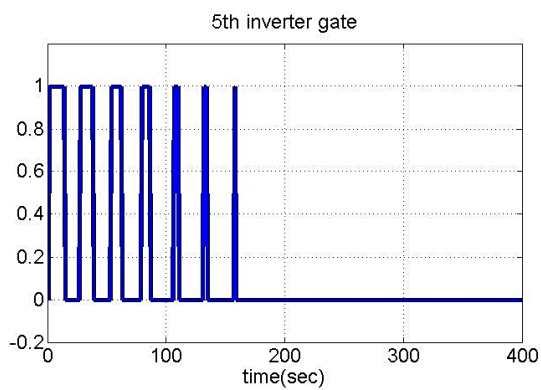
(الف)



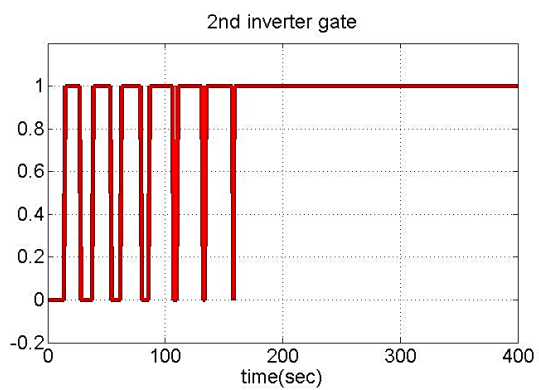
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۵-۱۴: فرمان های مربوط به سویچ های مبدل در زمان عملکرد سیستم کنترلی

فصل ۶:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری و پیشنهادات

در فصل قبل نحوه فعالیت سیستم ترکیبی در شرایط مختلف و تحت عملکرد الگوریتم کنترلی مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با استفاده از این الگوریتم، سیستم تولید ترکیبی، تحت شرایط مختلف پروفایل بار در یک روز معمولی، عملکرد الکترولایزر و نیز تحت خطا، توانسته به تامین بار مورد نظر بپردازد.

در این فصل با بیان مزایا و معایب روش مورد استفاده، پیشنهادات لازم جهت بهبود عملکرد سیستم، ارائه می شود.

۶-۲- نتیجه گیری

در این پایان نامه یک الگوریتم کنترلی جهت مدیریت شارش توان در یک سیستم تولید ترکیبی شامل منابع تامین بار از قبیل آرایه های خورشیدی، پیل سوختی-الکترولایزر و نیز باتری که این مجموعه به شبکه توزیع متصل شده است، ارائه شده است. در سیستم کنترلی مد نظر، پارامتر اصلی جهت اتخاذ تصمیمات لازم، وضعیت شارژ باتری می باشد و پارامتر دیگری که در تصمیمات نقش دارد، میزان فشار تانک هیدروژن است و با استفاده از این پارامترها، حالت مناسب جهت عملکرد سیستم ترکیبی انتخاب می شود.

در ابتدا عملکرد سیستم کنترلی برای تامین بار با الگوی تعیین شده، در شرایط معمول و در یک بازه ۲۴ ساعته در یک روز معمولی مورد بررسی قرار گرفته که با توجه به شرایط لازم برای تعیین حالت مناسب الگوریتم کنترلی انتخاب شده و هر یک از منابع در بازه های یک ساعته، به تناسب حالت کنترلی انتخابی، به خوبی بار را تامین کرده است.

در مرحله بعد، عملکرد الکترولایزر با توجه به شرایط فراهم شده، بررسی شده است و نتایج حاصله حکایت از عملکرد مناسب الکترولایزر تحت حالت انتخاب سیستم کنترلی دارد و با فعالیت الکترولایزر، هیدروژن حاصل از آن در تانک هیدروژن ذخیره شده است.

۶-۳- پیشنهادات

با توجه به وضعیت کلی عملکرد سیستم در حالات مختلف و نتایج بدست آمده، می توان پیشنهاداتی راجع به ترکیب و بهبود عملکرد سیستم ترکیبی و الگوریتم کنترلی را به صورتی که در ادامه آمده است مطرح کرد.

همانگونه که در فصول قبل نیز عنوان شد، صحت عملکرد سیستم کنترلی طراحی شده نیاز به عیب سنجی دارد، لذا پیشنهاد می شود یک روش کنترلی مناسب و مطمئن که قبلا نیز امتحان خود را پس داده است بر روی سیستم پیاده سازی شده و نتایج حاصله با نتایج بدست آمده از روش کنترلی این پایان نامه مقایسه شود. در میان روش های کنترلی، روش کنترل منطق فازی^۱ به عنوان روشی مناسب و با دقت بالا شناخته شده است و پیشنهاد می شود سیستم مدیریت شارژ توان تحت این روش نیز انجام شده و مقایسه نتایج حاصل از این روش با روش کنترلی این پایان نامه صورت پذیرد.

با توجه به اینکه در ابتدا، ظرفیت منابع با استفاده از نرم افزار HOMER تعیین شده است و با توجه به ظرفیت های این نرم افزار، پیشنهاد می شود تحلیل اقتصادی نیز بر روی سیستم انجام شده و هزینه های مربوط به آن، مورد بررسی قرار گیرد.

در سیستم ترکیبی مورد مطالعه و با وجود سیستم کنترلی طراحی شده، فعالیت کلی سیستم به نحوی صورت گرفته که همواره شبکه در حالت ارائه توان قرار دارد در حالیکه ممکن است سیستم تولید ترکیبی با عملکرد جزیره ای نیز توانایی تامین بار را داشته باشد؛ لذا پیشنهاد بعدی، بررسی عملکرد سیستم ترکیبی با قابلیت عملکرد جزیره ای می باشد. در این حالت می توان در صورت وجود توان مازاد از جانب سیستم ترکیبی، در صورت امکان، امکانات فروش توان به شبکه و ارزیابی اقتصادی آن را نیز مورد بررسی قرار داد.

در شبیه سازی تانک هیدروژنی و الکترولایزر از مدل های کلی استفاده شده است به همین دلیل پیشنهاد می شود در مدلسازی آن ها و کلیه منابع از مدل های دینامیکی دقیق تر استفاده شود و همچنین پیشنهاد دیگر در مورد منابع استفاده از مبدل برای تک تک آن ها و ارزیابی عملکرد هر کدام تحت شرایط مختلف می باشد.

با توجه به نحوه عملکرد باتری و شارژ و دشارژ آن، پیشنهاد می شود از دو بانک باتری استفاده شود تا در شرایط عملکرد یکی، دیگری شارژ شده و آماده به کار نگهداشته شود.

^۱ Fuzzy Logic Control Method

پیشنهاد دیگر مربوط به ارزیابی عملکرد سیستم ترکیبی تحت شرایط خطای سیستم می باشد. در این پایان نامه، فعالیت سیستم کلی در حالت یک خطای تکفاز بررسی شد. لذا پیشنهاد می شود عملکرد سیستم در حالت وقوع یک خطای سه فاز نیز مورد بررسی قرار گیرد.

پیوست: نرم افزار هومر؛ ویژگی ها و مزایای آن

الف: معرفی نرم افزار هومر

نرم افزار هومر^۱ توسط سازمان بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر^۲ (NREL) تولید و توسعه داده شده و یک نرم افزار مناسب جهت مقایسه و تحلیل اقتصادی انواع سیستم‌های توزیع متصل به شبکه انتقال و مستقل از آن و تعیین بهینه‌ترین ترکیب ممکن از انواع مختلف تولیدات پراکنده قابل استفاده جهت تأمین بار مصرفی است.

امروزه عوامل متعددی باعث روی آوردن به منابع تجدیدپذیر انرژی شده است. از جمله اصلی‌ترین این عوامل، می‌توان از یک سو به محدود بودن منابع سوخت‌های فسیلی، و از سوی دیگر نگرانی‌های زیست محیطی ناشی از استفاده این منابع اشاره نمود. این موارد باعث افزایش قیمت این سوخت‌ها شده است. سیستم‌های خورشیدی (حرارتی^۳ و الکتریکی^۴)، سیستم‌های تبدیل انرژی بادی^۵ (WECS) و نیز پیل‌های سوختی^۶ (FC) از مهمترین منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشند. بازدهی بالا، بهبود قابلیت اطمینان، پاک بودن چرخه تولید انرژی و قابلیت ترمیم و تولید چندین و چند باره، از مزایای این منابع انرژی می‌باشد. در کنار مزایای برشمرده شده، هر یک از این منابع معایبی نیز دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به عدم قطعیت موجود در انرژی‌های خورشیدی و بادی به واسطه وابستگی به ساعت تولید و شرایط جوی اشاره کرد و از معایب پیل‌های سوختی نیز می‌توان به دمای عملکرد معمولاً بالا در انواع پیل‌ها، نیاز به چرخه تولید هیدروژن و تمهیدات مربوط به ذخیره‌سازی آن، سرعت پاسخگویی کند به تغییرات بار اشاره کرد. عوامل ذکر شده، سبب شده‌اند که این منابع به صورت ترکیبی و در کنار هم مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از این سیستم‌های ترکیبی تولید انرژی^۷ (HRESs) این امکان را فراهم می‌کند که با پوشش دادن نقایص هر منبع توسط منابع دیگر، تا حد زیادی قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی نیز بهبود یابد. این سیستم‌های ترکیبی قابلیت بهره‌برداری

^۱ Homer

^۲ National Renewable Energy Laboratory

^۳ Thermal Solar System

^۴ Photo Voltaic System

^۵ Wind Energy Conversion System

^۶ Fuel Cell

^۷ Hybrid Renewable Energy Sources

به صورت مستقل^۱ و یا متصل به شبکه^۲ را دارند [۳۳]. از سوی دیگر سیستم‌های ترکیبی تولید انرژی، قابلیت استفاده به عنوان سیستم‌های تولید ترکیبی انرژی و حرارتی^۳ (CHP) را دارا هستند تا با بهره‌برداری مجدد از حرارت تولیدی این سیستم‌ها، به بهبود عملکرد سیستم و افزایش قابلیت اطمینان در شبکه نیز کمک کنند [۳۴].

افزایش قیمت سوخت و ایجاد بازار رقابتی، بهره‌برداران سیستم‌های تولید انرژی را برآن داشته که این سیستم‌ها را در بهینه‌ترین حالت، مورد بهره‌براری قرار دهند. لذا عملکرد سیستم‌های قدرت در حالت بهینه خود، از اصلی‌ترین برنامه‌های تولیدکنندگان انرژی می‌باشد. از طرف دیگر با توسعه سیستم‌های تولید پراکنده، استفاده از نرم‌افزارهای طراحی بهینه توسعه یافته است [۳۳]. از سوی دیگر، در ملاحظات اقتصادی، محدودیت منابع سوخت فسیلی و نیز جریمه‌های مالیاتی ناشی از آلاینده‌گی هر یک از منابع انرژی، تولیدکنندگان به استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی به صورت بهینه سوق پیدا کرده‌اند. همچنین استفاده از این منابع در نقاط دوردست، باعث کاهش چشمگیر هزینه‌های عملیاتی خواهد شد به طوری که در برخی موارد، استفاده از منابع تجدیدپذیر به صورت مستقل بهینه‌تر خواهد بود [۳۵].

یکی از ابزارهای مناسب بررسی و تحلیل اقتصادی سیستم‌های قدرت، نرم‌افزار HOMER^۴ می‌باشد که همانطور که از نام آن پیداست، نرم‌افزار مدل‌سازی بهینه شبکه‌های الکتریکی ترکیبی می‌باشد [۳۳]، [۳۶]. از مزایای این نرم‌افزار، سادگی ساختار آن است که آن را به گزینه‌ای مناسب برای برای تحلیل اقتصادی تبدیل کرده است. این نرم‌افزار توانایی طراحی و ترکیب سیستم‌های مختلف تولید انرژی را داراست و ورودی‌های آن می‌توانند سیستم‌های معمول تولید انرژی (سیستم‌های سوخت‌های فسیلی) و نیز سایر منابع تجدیدپذیر انرژی باشند. در این نرم‌افزار، بر اساس قیمت‌های سوخت وارد شده و نیز ظرفیت‌های در نظر گرفته شده، طی یک شبیه‌سازی ساعتی و با در نظر گرفتن تمامی شرایط اقتصادی لیستی از بهترین حالات ممکن را براساس محدودیت‌های اقتصادی و ظرفیتی شبکه، در اختیار قرار می‌دهد [۳۳]، [۳۷]، [۳۸]. استفاده از این نرم‌افزار، امکان بهبود تحلیل در شرایط بحرانی اقتصادی را نیز فراهم می‌کند [۳۶]. تحلیل‌های صورت گرفته شده، هم شرایط جریان مستقیم (DC) و هم جریان متناوب (AC) را دربرمی‌گیرد و اپراتور می‌تواند با توجه به شرایط خود و همچنین ظرفیت‌های پیشنهادی، بهترین حالت را برای پیاده‌سازی، برگزیند.

^۱ Standalone(Autonomous)

^۲ Grid Connected

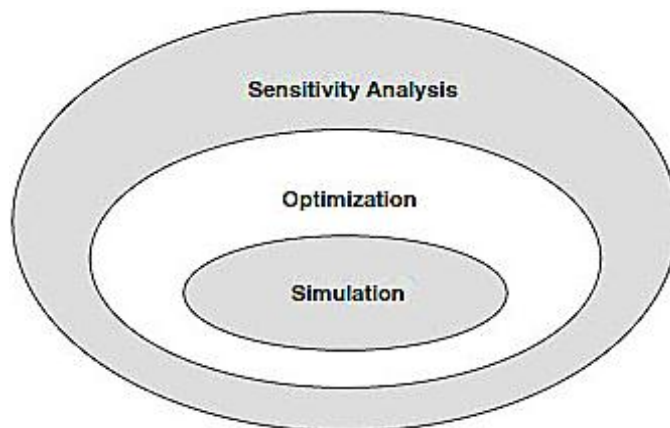
^۳ Combined Heat and Power

^۴ Hybrid Optimization Model for Electric Renewable

در این پایان نامه نیز به طور بسیار اندک برای تعیین ظرفیت منابع و شبکه توزیع در سیستم ترکیبی بهره گرفته شده است.

ب: قابلیت ها و نحوه کار نرم افزار هومر

نرم افزار هومر به صورت کلی از سه قابلیت شبیه سازی، بهینه سازی و آنالیز حساسیت در راستای تحلیل اقتصادی و مقایسه ترکیب های مختلف تولیدات پراکنده تأمین کننده بار مصرفی سیستم برخوردار است. شکل پ-۱ نمایی از پیوند بین این سه قابلیت را نمایش می دهد.



شکل پ-۱: نمایی از پیوند بین سه قابلیت شبیه سازی، بهینه سازی و آنالیز حساسیت

فرایند شبیه سازی به تعیین پیکره بندی شبکه می پردازد. در فرایند بهینه سازی، ترکیبی که هم از نظر فنی در بالاترین سطح و هم از نظر اقتصادی در بهترین حالت است، مد نظر می باشد. آنالیز حساسیت به شناسایی تاثیر عوامل غیر قابل کنترل توسط طراح از جمله طول عمر اجزا، قیمت سوخت، میزان بار و... می پردازد.

ج: کارهای تحقیقاتی صورت گرفته در زمینه نرم افزار هومر در سیستم های

تجدیدپذیر

در این قسمت، به مرور برخی از تحقیقات و کارهای صورت گرفته در سیستم های قدرت با بهره گیری از نرم افزار هومر می پردازیم:

مرجع [۳۳]، مدیریت توان در یک سیستم تولید ترکیبی PV/Wind/Battery را با استفاده از نرم افزار هومر مورد تحلیل قرار داده است. در این سیستم، اطلاعات تابش روزانه خورشید، با توجه به

موقعیت جغرافیایی محل مورد نظر و نیز اطلاعات ماهیانه بار، توسط این نرم افزار استخراج شده است. اطلاعات مربوط به پروفایل بار، هم به صورت دستی و هم با استفاده از کتابخانه نرم افزار هومر، قابل استخراج است. در مرجع [۳۹]، تحلیل اقتصادی توسط نرم افزار هومر، در کشور پورتوریکو و در ۲ حالت بهره‌برداری مختلف، هم در شرایط استفاده مسکونی و هم در حالت تجاری (در یک بیمارستان) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در [۴۰]، یک تحلیل مقایسه‌ای، هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ میزان آلاینده‌گی بر روی یک سیستم قدرت تغذیه یک مصرف کننده روستایی دور دست صورت گرفته است. در این مرجع ۳ سناریوی مختلف در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از: (۱) دیزل ژنراتور (۲) دیزل ژنراتور با حضور باتری به عنوان ذخیره‌ساز و (۳) دیزل ژنراتور- باتری (ذخیره‌ساز انرژی) با حضور آرایه‌های خورشیدی. شبیه سازی مربوطه توسط Simulink/MATLAB، و تحلیل‌های اقتصادی و هزینه‌ای بوسیله نرم افزار هومر صورت گرفته و تحلیل نتایج آن نیز آمده است. در [۴۱]، یک سیستم فتوولتائیک، براساس ملاحظات اقتصادی و هزینه‌ای آورده شده است. مرجع [۳۵]، یک سیستم ترکیبی PV/Wind/FC/Battery را به منظور استفاده در بهینه‌ترین حالت در کشور هندوستان مورد بررسی قرار داده است. استفاده از این نرم افزار در تحلیل اقتصادی سیستم‌های ترکیبی در هندوستان در [۳۷] نیز آورده شده است. این سیستم شامل آرایه‌های خورشیدی/دیزل ژنراتور/باتری می‌باشد. در مراجع [۳۸]، [۴۲]، تحلیل اقتصادی مربوط به یک سیستم ترکیبی PV/Wind/Diesel Generator/Battery آورده شده است. همچنین در [۴۳]، نحوه طراحی یک سیستم تولید توان ترکیبی PV/Wind/FC/Battery، برای رسیدن به یک سیستم مستقل و قابل اطمینان مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی دنبال شده در [۴۴]، استفاده از نرم افزار هومر در امکان‌سنجی برای طراحی فنی، بررسی قابلیت وجود سیستم ترکیبی و تحلیل اقتصادی در سیستم ترکیبی Wind/Diesel/Battery می‌باشد. مرجع [۴۵]، برای رسیدن به بهترین آرایش ممکن در سیستم ترکیبی PV/Wind/Diesel/Battery، چه از نظر استراتژی عملکردی و چه از نظر تعیین اندازه سیستم، با استفاده از نرم افزار هومر، حالات مختلف را در نظر گرفته است. در این مقاله همچنین اطلاعات مربوط به پروفایل بار، وضعیت وزش باد و نیز تابش خورشید، در سال ۲۰۰۴ و با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه‌ای واقع در شمال شرق مالزی، در نظر گرفته شده است. مرجع [۴۶]، با بهره‌گیری از روش کنترلی منطق فازی و همچنین استفاده از نرم افزار هومر، بهترین راه حل برای مناطق روستایی دوردست را استفاده از سیستم ترکیبی PV/Wind/FC به همراه الکترولیزر^۱ و ریفورمر^۲

^۱ Electrolyser

^۲ Reformer

(برای تامین هیدروژن مورد نیاز پیل سوختی)، در حالت مستقل دانسته است. و در نهایت، بررسی و تحلیل اقتصادی یک سیستم تولید ترکیبی با ۳ آرایش مختلف: (۱) Generator/PV/Battery و (۲) PV/Battery و (۳) PV/Generator/Battery براساس قیمت های خالص سوخت در [۴۷]، در سه مرحله شبیه سازی، بهینه سازی و تحلیل حساسیت انجام گرفته است.

د: شبیه سازی عملکرد سیستم های متشکل از ترکیب های مختلف منابع

تأمین بار

نرم افزار هومر به منظور شبیه سازی عملکرد سیستم های مختلف (با ترکیب های مختلف برای ساختار اجزاء و ظرفیت های کاندیدی آنها)، محاسبات تعادل انرژی تولیدی و مصرفی را برای ۸۷۶۰ ساعت طول سال برای هر یک از سیستم ها انجام می دهد. نرم افزار هومر با محاسبه مقادیر انرژی قابل شارژ میان اجزاء مختلف هر یک از سیستم ها در هر ساعت از سال، مقادیر انرژی الکتریکی و گرمایی مورد نیاز در آن ساعت را با مقدار انرژی قابل تأمین به وسیله منابع مختلف تولیدی موجود در سیستم مزبور (انواع تولیدات پراکنده و شبکه انتقال) مقایسه می نماید. این نرم افزار به ازای هر ساعت از طول سال، نحوه عملکرد بهینه ژنراتورها و توان بهینه تولیدی آنها را تعیین نموده (همانند مسائل Unit Commitment و Economic Dispatch) و نیز برای شارژ یا دشارژ باتری در آن ساعت تصمیم گیری می کند.

شبیه سازی، قابلیت اصلی هومر می باشد. در واقع بهینه سازی و آنالیز متغیرهای حساسیت بستگی به نوع شبیه سازی و اجزای بکار رفته در شبیه سازی دارد. شبیه سازی در واقع دو هدف اصلی را در نظر دارد:

(۱) عملیاتی بودن یا تحقق پذیری طرح

(۲) ارزش و هزینه طول عمر سیستم

نرم افزار هومر محاسبات تعادل توان را برای تمامی ساختارها و ترکیبات مختلف مورد نظر از انواع تولیدات پراکنده و سایر منابع انرژی کاندیدی انجام داده و تحقق پذیری هر یک را بررسی می نماید. منظور از تحقق پذیری یک سیستم توانایی تأمین کامل بار غیر قابل قطع (کل بار مصرفی منهای بیشینه درصد مجاز برای بار قابل قطع) و رزرو مورد نیاز سیستم در هر ساعت در طول سال، تحت شرایط و قیود مشخص شده می باشد. سپس، هومر با توجه به مقادیر ظرفیت های کاندیدی برای

اجزاء مختلف هر سیستم و انرژی تولیدی یا مصرفی به وسیله آنها در هر ساعت از مدت عمر در نظر گرفته شده برای سیستم، مقدار کل سرمایه گذاری اولیه جهت احداث و جایگزینی تجهیزات و مقادیر کل هزینه های بهره برداری و مصرف سوخت (در صورت موجود) و تعمیرات و نگهداری مربوط به آنها و نیز مقدار ارزش حال این هزینه ها را با توجه به نرخ بهره محاسبه می کند.

د-۱: یافتن بهینه ترین ترکیب ممکن از میان ساختارها و ظرفیت های پیشنهادی

شبیه سازی شده و تحقق پذیر و مرتب سازی آنها بر اساس هزینه خالص نهایی

مهمترین پارامترهای محاسبه شده از مرحله قبل برای هر یک از سیستم های ترکیبی تحقق پذیر، مقادیر هزینه خالص نهایی و قیمت تمام شده یک کیلو وات برق تولیدی حاصل از عملکرد منابع تولید انرژی در هر سیستم است. هومر سیستم های تحقق پذیر شبیه سازی شده در مرحله قبل را بر اساس مقدار هزینه خالص نهایی آنها، به ترتیب صعودی مرتب نموده و مقادیر ظرفیت های بهینه برای اجزای مختلف هر سیستم را به همراه مقادیر مختلف هزینه های مربوط به آنها (احداث، جایگزینی، تعمیرات و نگهداری، بهره برداری، مصرف سوخت و ...) و نیز مقادیر هزینه خالص نهایی و قیمت تمام شده یک کیلو وات برق خریداری شده از دیدگاه بار مصرفی سیستم ها نمایش می دهد. اولین ترکیب انتخاب شده در لیست صعودی حاصل از محاسبات نرم افزار هومر، متناظر با اقتصادی ترین ترکیب برای ساختار و مقادیر ظرفیت اجزاء مختلف سیستم می باشد.

د-۲: انجام آنالیز حساسیت

یکی دیگر از مهمترین قابلیت های نرم افزار هومر، امکان انجام آنالیز حساسیت از طریق تعریف متغیرهای حساسیت برای گروه از داده های ورودی می باشد. تعریف متغیرهای حساسیت برای یک داده ورودی بدین معناست که چند مقدار مختلف برای آن در نظر گرفت. در واقع در آنالیز حساسیت می توان هر ورودی را که متغیر قطعی نباشد به عنوان متغیر حساسیت در نظر گرفت. از مهمترین آنها می توان به نرخ سوخت و طول عمر اجزای بکار رفته اشاره نمود. همچنین اندازه داده هایی که به صورت ساعتی می باشند نیز می توانند به عنوان متغیرهای حساسیت در نظر گرفته شوند. هومر برای انجام آنالیز حساسیت، عملیات مشروح در دو بخش فوق را به ازای تمامی مقادیر در نظر گرفته شده برای داده مذکور تکرار می نماید. به بیان دیگر هومر با انجام آنالیز حساسیت می تواند میزان حساسیت نتایج را به تغییر یک یا چند داده ورودی مورد سنجش قرار دهد. برای مثال در صورتی که چند مقدار

مختلف به عنوان متغیرهای حساسیت برای بار مصرفی یک سیستم تعریف گردند، هومر عملیات شبیه‌سازی و بهینه‌یابی را برای تمامی مقادیر فوق تکرار نموده و این امکان را برای کاربر فراهم می‌آورد که میزان تغییر نتایج (مانند سیستم بهینه انتخاب شده، هزینه خالص نهایی، قیمت تمام شده برق تولیدی و ...) را به ازای تغییر یا رشد بار در سالیان مختلف بررسی کند.

-
- [1] M. Yekini Suberu, M. Wazir Mustafa, and N. Bashir, "Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 35, pp. 499–514, Jul. 2014.
- [2] A Dissertation in Candidacy for the Degree of Doctor in Engineering (Dr.-Ing.), "Modelling and Simulation of a Photovoltaic Fuel Cell Hybrid System," 2005.
- [3] P. García, C. A. García, L. M. Fernández, F. Llorens, and F. Jurado, "ANFIS-Based control of a grid-connected hybrid system integrating renewable energies, hydrogen and batteries," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 1107–1117, 2014.
- [4] M. Petzl and M. a. Danzer, "Advancements in OCV measurement and analysis for lithium-ion batteries," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 28, no. 3, pp. 675–681, 2013.
- [5] P. Thounthong, S. Sikkabut, P. Mungporn, L. Piegari, B. Nahid-Mobarakkeh, S. Pierfederici, and B. Davat, "DC Bus Stabilization of Li-Ion Battery Based Energy Storage for a Hydrogen/Solar Power Plant for Autonomous Network Applications," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 9994, no. 4, pp. 1–1, 2015.
- [6] K. Jin, X. Ruan, M. Yang, and M. Xu, "A Hybrid Fuel Cell Power System," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 4, pp. 1212–1222, Apr. 2009.
- [7] D. Sutanto, S. Member, and K. Ding, "Hybrid Fuel Cell and Energy Storage Systems Using Superconducting Coil or Batteries for Clean Electricity Generation," pp. 365–368, 2009.
- [8] P. Garcia, L. M. Fernandez, C. A. Garcia, F. Jurado, and S. Member, "Energy Management System of Fuel-Cell-Battery Hybrid Tramway," vol. 57, no. 12, pp. 4013–4023, 2010.
- [9] K. Jin, X. Ruan, M. Yang, and M. Xu, "Power Management for Hybrid Fuel Cell System *," pp. 504–509, 2008.
- [10] S. Esmaili and M. Shafiee, "Simulation of Dynamic Response of Small Wind-Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Energy System," vol. 2012, no. August, pp. 194–203, 2012.
- [11] C. Rani, S. Sriganesh, and B. Muralikrishnan, "Dynamic modeling and control of a wind turbine generator with fuel cell , Ultra capacitor stack as an auxiliary storage," no. 1, 2011.

- [12] “<http://www.seia.org/policy/solar-technology/photovoltaic-solar-electric>.”
- [13] P. M. Ğ, R. Šebesta, and A. Electrolysers, “Hydrogen Fuel Cells as a Part of the System for Accumulation of Electric Energy,” 2009.
- [14] K. Sobotka, “A wind-power fuel cell hybrid system study Model of energy conversion for wind energy system with hydrogen storage.”
- [15] J. M. Andújar, F. Segura, E. Durán, and L. a. Rentería, “Optimal interface based on power electronics in distributed generation systems for fuel cells,” *Renewable Energy*, vol. 36, no. 11, pp. 2759–2770, Nov. 2011.
- [16] P. Sanchis and , L.M. Gandia, “Water Electrolysis : Current Status and Future Trends,” vol. 100, no. 2, 2012.
- [17] D. Q. Hung, S. Member, N. Mithulananthan, and S. Member, “Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction,” vol. 60, no. 4, pp. 1700–1708, 2013.
- [18] M. F. Shaaban and E. F. El-Saadany, “Accommodating high penetrations of pevs and renewable dg considering uncertainties in distribution systems,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 1, pp. 259–270, 2014.
- [19] B. Zeng, J. Zhang, X. Yang, J. Wang, J. Dong, and Y. Zhang, “Integrated planning for transition to low-carbon distribution system with renewable energy generation and demand response,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 3, pp. 1153–1165, 2014.
- [20] Y. Atwa and E. El-Saadany, “Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization,” *IEEE Transactions on Power SystemsPower Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 360–370, 2010.
- [21] A. Hajizadeh, “Robust Power Control of Microgrid Based on Hybrid Renewable Power Generation Systems,” *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 44–57, 2013.
- [22] Z. J. Z. Jiang, “Power management of hybrid photovoltaic - fuel cell power systems,” *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1–6, 2006.
- [23] C. Wang, S. Member, and M. H. Nehrir, “Power Management of a Stand-Alone Wind / Photovoltaic / Fuel Cell Energy System,” *Energy*, vol. 23, no. 3, pp. 957–967, 2008.
- [24] M. Trifkovic, M. Sheikhzadeh, K. Nigim, and P. Daoutidis, “Modeling and Control of a Renewable Hybrid Energy System With Hydrogen Storage,” *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 1–1, 2013.

- [25] C. Keles, B. B. Alagoz, M. Akcin, A. Kaygusuz, and A. Karabiber, "A Photovoltaic System Model For Matlab / Simulink Simulations," no. May, pp. 13–17, 2013.
- [26] L. N. Khanh, J. J. Seo, Y. S. Kim, and D. J. Won, "Power-management strategies for a grid-connected PV-FC hybrid system," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 3, pp. 1874–1882, 2010.
- [27] W. Choi, J. W. Howze, and P. Enjeti, "Development of an equivalent circuit model of a fuel cell to evaluate the effects of inverter ripple current," *Journal of Power Sources*, vol. 158, pp. 1324–1332, 2006.
- [28] K. J. K. Jin, X. R. X. Ruan, M. Y. M. Yang, and M. X. M. Xu, "A Hybrid Fuel Cell Power System," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 4, pp. 1212–1222, 2009.
- [29] K. Rajashekara, "Hybrid fuel-cell strategies for clean power generation," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 41, no. 3, pp. 682–689, 2005.
- [30] M. a Al-refai, "Matlab / Simulink Simulation of Solar Energy Storage System," no. 2, pp. 304–309, 2014.
- [31] F. Zhang, K. Thanapalan, A. Procter, J. Maddy, A. Guwy, and P. Talbot, "Fuzzy logic control for solar powered hydrogen production , storage and utilisation system," no. September, pp. 3–5, 2012.
- [32] O. H. Mohammed, Y. Amirat, M. Benbouzid, A. Elbast, O. H. Mohammed, and Y. Amirat, "Optimal Design of a PV / Fuel Cell Hybrid Power System for the City of Brest in France Optimal Design of a PV / Fuel Cell Hybrid Power System for the City of Brest in France," 2014.
- [33] U. Sureshkumar, "Economic Cost Analysis of Hybrid Renewable Energy System using HOMER," vol. 8, pp. 94–99, 2012.
- [34] a. J. Litchy, C. Young, S. a. Pourmousavi, and M. H. Nehrir, "Technology selection and unit sizing for a combined heat and power microgrid: Comparison of WebOpt and HOMER application programs," *2012 North American Power Symposium, NAPS 2012*, 2012.
- [35] R. W. Wies, R. a. Johnson, a. N. Agarwal, and T. J. Chubb, "Economic analysis and environmental impacts of a PV with diesel-battery system for remote villages," *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004.*, vol. 20, no. 2, pp. 692–700, 2004.
- [36] A. Pérez-santiago, R. Ortiz-dejesus, and E. I. Ortiz-rivera, "HOMER : A Valuable Tool to Facilitate the Financing Process of Photovoltaic Systems in Puerto Rico," pp. 1467–1470.

- [37] U. Homer and V. K. Soni, "Optimal Sizing of HRES for Small Sized Institute," pp. 77–81, 2014.
- [38] A. Rohani, K. Mazlumi, and H. Kord, "Modeling of a hybrid power system for economic analysis and environmental impact in HOMER," *Electrical Engineering (ICEE), 2010 18th Iranian Conference on*, vol. 623, 2010.
- [39] K. M. Krishna, "Optimization analysis of microgrid using HOMER - A case study," *Proceedings - 2011 Annual IEEE India Conference: Engineering Sustainable Solutions, INDICON-2011*, 2011.
- [40] R. W. Wies, R. a. Johnson, a. N. Agarwal, and T. J. Chubb, "Economic analysis and environmental impacts of a PV with diesel-battery system for remote villages," *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004.*, vol. 20, no. 2, pp. 692–700, 2004.
- [41] A. Kumar, M. Zaman, N. Goel, N. Goel, and R. Church, "In Search of An Optimization Tool for Renewable Energy Resources: Homer vs . In-House Model," pp. 1–7, 2013.
- [42] B. U. Kansara and B. R. Parekh, "Modelling and simulation of distributed generation system using HOMER software," *2011 International Conference on Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering*, pp. 328–332, 2011.
- [43] N. Mahmud, "System for St . Martin Island Using HOMER," 2013.
- [44] D. K. Yadav, S. P. Girimaji, and T. S. Bhatti, "Optimal hybrid power system design using HOMER," *2012 IEEE 5th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, no. 1, pp. 1–6, 2012.
- [45] N. a B. a Razak, M. M. B. Othman, and I. Musirin, "Optimal sizing and operational strategy of hybrid renewable energy system using HOMER," *PEOCO 2010 - 4th International Power Engineering and Optimization Conference, Program and Abstracts*, no. June, pp. 495–501, 2010.
- [46] "Modeling and Analysis of a Wind/PV/Fuel cell Hybrid power System in HOMER" *Industrial Electronics*, vol. 20, pp. 1594–1599, 2007.
- [47] N. G. Johnson, J. W. Glassmire, and P. D. Lilienthal, "Comparing power system architectures for domestic lighting in isolated rural villages with homer," *Proceedings - 2012 IEEE Global Humanitarian Technology Conference, GHTC 2012*, pp. 375–380, 2012.

Abstract

In this thesis, a power management strategy in a hybrid power system including some Renewable Energy Sources (RESs) connected to distribution network is studied. Photo Voltaic (PV) is the main energy resource and Battery and Fuel Cell (FC) - Electrolyzer are the primary and secondary energy storage respectively. Also a Hydrogen Tank is used to store the produced Hydrogen (H₂) by Electrolyzer. This produced H₂ is used by FC. These RESs, work together and affect on each other, so different possible states to cover properly different loads in a 24 hours interval are regarded. This hybrid system is first analyzed economically in Hybrid Optimization Model for Electric Renewable (HOMER), then modeled in Simulink/MATLAB. Then control system is evaluated in three different conditions: ¹in a 24 hours interval to supply a load profile, ²electrolyzer operating and ³while a single phase fault.

Keywords —Power Management, Distributed Generation (DG), Photo Voltaic (PV), Battery, Fuel cell (FC), Electrolyzer, Hydrogen Tank, HOMER



Shahrood University

Faculty of Electrical & Robotic Engineering

Power Engineering Department

Thesis Submitted for the Degree of Master of Science

**Power Management in a Hybrid Photo Voltaic / Fuel Cell- Electrolyzer
/ Battery Power System Connected to Distribution Network**

Mohammad Ali Esmaeili

**Supervisor:
Dr. Amin Hajizadeh**

November 2015