

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد سیستم های انرژی

مدل سازی و بهینه سازی عملکرد یک سیستم بادی-فتوولتاییک با موتور بیودیزل

نگارنده

محمد مهدی رئیسی

اساتید راهنما

دکتر محمد حسین احمدی

دکتر اکبر ملکی

شهریور ۱۳۹۹

تقدیم به

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان
بیاسایم و از ریشه آن‌ها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان درراه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم؛ چراکه این دوجود مقدس پس از
پروردگار مایه‌ی هستی‌ام بوده‌اند، دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی پرفرازونشیب به من آموختند.

حال این برگ سبز یست تحفه درویش تقدیم آنان

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خود گذشتی

به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند

و به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم.

سپاس و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانم از همه کسانی که این جانب را در امر انجام این پایان‌نامه یاری نموده‌اند، به‌خصوص جناب آقایان دکتر محمدحسین احمدی و دکتر اکبر ملکی که با حسن خلق و فروتنی، در کمال آرامش به همراه سعه‌صدر، همواره مرا از راهنمایی و مشاوره‌های سودمند و هدفمند خود، بهره‌مند ساخته‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

تعهدنامه

این جانب **محمد مهدی رئیسی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مکانیک** گرایش **سیستم های انرژی** دانشکده **مهندسی مکانیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **مدل سازی و بهینه سازی عملکرد یک سیستم بادی-فتوولتاییک با موتور بیودیزل** تحت راهنمایی های آقایان **دکتر محمد حسین احمدی** و **دکتر اکبر ملکی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج بانام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

سیستم‌های هیبریدی با تکیه بر انرژی‌های تجدید پذیر مانند: خورشید، باد و بایودیزل به دلیل مزایای چشم‌گیری که دارند در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند. در کنار این افزایش تقاضا، خطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی، آلودگی و گرمایش زمین احساس می‌شود. استفاده از منابع تجدید پذیر راه حل مناسبی برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. در این تحقیق، یک سیستم هیبرید خورشیدی، بادی، بایو دیزل برای تأمین نیاز به منطقه مسکونی جدا از شبکه در شهرستان شاهرود از کشور ایران معرفی شده است که بار مورد نیاز در حالت اوج مصرف برای این منطقه 2.39 کیلووات می‌باشد. تمامی اجزای مرتبط با سیستم پیشنهادی در نرم‌افزار متلب ابتدا کد نویسی شدند و با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات و با توجه به توابع هدف بهینه‌سازی انجام گرفت. امکان‌سنجی استفاده از این سیستم پیشنهادی بر اساس توابع مورد نظر، یعنی هزینه، آلودگی و قابلیت اطمینان بوده است که با توجه به ظرفیت‌های بومی و آب و هوایی (تشعشعات خورشید و باد) و همچنین استفاده از سوخت بایو انجام گرفت. همچنین نتایج حاصل شده از مدل‌سازی و بهینه‌سازی در نرم‌افزار متلب برای تأیید صحت در نرم‌افزار قدرتمند هومر نیز سنجیده و اعتبارسنجی شدند. این امکان‌پذیری در بعضی موارد همچنین همراه با مقایسه سیستم پیشنهادی، با سیستم رایج و مرسوم محلی، یعنی استفاده از موتور دیزل بوده است. نتایج نشان داده‌اند که استفاده از سیستم هیبریدی خورشیدی - بایو دیزل، نسبت به حالات دیگر، انتخاب بهتری می‌باشد که سهم تولید نیرو برای خورشیدی و بایو دیزل به ترتیب ۹۳.۸٪ و ۶.۱۹٪ می‌باشد. مقدار ارزش خالص فعلی به‌دست‌آمده برای سیستم پیشنهادی ۲۰۶۴۹ دلار می‌باشد که ۱۳.۷۱ درصد ارزان‌تر از مدل انتخاب شده توسط نرم‌افزار هومر است. همچنین مقدار هزینه تراز اقتصادی به‌دست‌آمده ۰.۳۷۷ دلار بر کیلووات ساعت است که کاهشی ۱۴.۷۳ درصدی نسبت به مدل انتخابی نرم افزار دارد. در قسمت آلودگی و گازهای آلوده‌کننده در مقایسه با سیستم دیزلی، سیستم پیشنهادی ۱۶۳.۵ کیلوگرم کربن دی‌اکسید در سال تولید می‌کند که کاهشی ۹۸.۳۵ درصدی دارد.

کلمات کلیدی : سیستم هیبرید، پنل خورشیدی، توربین بادی، بایودیزل، بهینه‌سازی چندهدفه، تحلیل حساسیت

فهرست مطالب

۱	فصل اول مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- سیستم‌های انرژی‌های تجدید پذیر
۲	۱-۲-۱- پیدایش
۴	۳-۱- تقسیم‌بندی
۵	۱-۳-۱- انرژی خورشید:
۶	۱-۱-۳-۱- پنل‌های خورشیدی:
۸	۲-۳-۱- انرژی باد:
۹	۱-۳-۲-۱- توربین‌های بادی:
۱۰	۲-۳-۲-۱- انواع توربین باد:
۱۰	۳-۳-۲-۱- توربین بادی محور افقی (HAWT)
۱۱	۴-۳-۲-۱- توربین بادی محور عمودی (VAWT)
۱۳	۳-۳-۱- زیست‌توده:
۱۳	۴-۳-۱- باتری‌ها:
۱۴	۱-۴-۳-۱- انواع باتری:
۱۴	۱-۱-۴-۳-۱- پیل‌های اولیه:
۱۵	۲-۱-۳-۴-۱- پیل‌های ثانویه:
۱۷	۴-۱- سیستم‌های هیبرید:
۱۸	۵-۱- انواع سیستم‌های هیبرید با توجه به شبکه:
۱۹	۱-۵-۱- مستقل از شبکه:
۲۱	۱-۱-۵-۱- کاربردهای سیستم‌های مستقل از شبکه:
۲۲	۲-۱-۵-۱- مزایای استفاده از سیستم‌های مستقل از شبکه:
۲۳	۲-۵-۱- متصل به شبکه:
۲۵	فصل دوم مروری بر پژوهش‌های پیشین
۲۶	۱-۲- مقدمه
۲۸	۲-۲- مطالعات پیشین
۳۳	۳-۲- معرفی پژوهش حاضر
۳۵	فصل سوم مدل‌سازی و معادلات حاکم
۳۶	۱-۳- مقدمه

۴۰	۳-۲-اجزای مدل
۴۱	۳-۲-۱-ژنراتور:
۴۴	۳-۲-۲-پنل خورشیدی:
۴۶	۳-۲-۳-توربین بادی:
۴۷	۳-۲-۴-باتری:
۴۹	۳-۲-۵-مبدل:
۵۰	۳-۳-نفوذپذیری انرژی تجدید پذیر:
۵۲	۳-۴-بهینه‌سازی و حساسیت سنجی
۵۲	۳-۴-۱-متغیرهای حساسیت:
۵۴	۳-۴-۲-مدل‌سازی اقتصادی
۵۴	۳-۴-۳-مدیریت توان تولیدی
۵۸	۳-۴-۴-محاسبه گاز آلاینده
۶۴	۳-۴-۶-نرم‌افزار هومر:
۶۷	فصل چهارم نتایج و بحث
۶۸	۴-۱-مقدمه
۶۸	۴-۲-سیستم هیبرید پیشنهادی
۷۲	۴-۳-جنبه‌های اقتصادی:
۷۷	۴-۴-تحلیل حساسیت:
۷۷	۴-۴-۱-تحلیل بار:
۷۸	۴-۴-۲-تحلیل قیمت سوخت‌ها:
۷۹	۴-۴-۳-تحلیل Maximum allowable capacity shortage:
۸۰	۴-۴-۴-تحلیل قیمت اجزای سیستم:
۸۱	۴-۴-۴-۱-تحلیل اقتصادی باتری‌ها:
۸۳	۴-۴-۵-تحلیل نرخ سود:
۸۴	۴-۴-۶-تحلیل نوع Dispatch:
۸۵	۴-۵-تحلیل مقدار نفوذپذیری انرژی‌های تجدید پذیر:
۸۶	۴-۶-نتایج هومر:
۸۹	فصل پنجم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادانی برای آینده
۹۰	۵-۱-نتیجه‌گیری
۹۱	۵-۲-ارائه پیشنهادانی برای آینده
۹۳	مراجع:

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): برق‌رسانی به مناطق مسکونی جدا از شبکه----- ۲۱
- شکل (۲-۱): نمونه یک سیستم هیبرید On-Grid متشکل از پنل خورشیدی و توربین----- ۲۳
- شکل (۱-۲): حجم مطالعات انجام‌شده در زمینه سیستم‌های هیبریدی----- ۳۲
- شکل (۱-۳): موقعیت منطقه ده ملاً----- ۳۷
- شکل (۲-۳): بار موردنیاز ماهانه----- ۳۸
- شکل (۳-۳): میزان تشعشعات روزانه در ماه‌های سال----- ۳۸
- شکل (۴-۳): میانگین سرعت باد----- ۳۹
- شکل (۵-۳): میزان دمای روزانه در ماه‌های سال----- ۳۹
- شکل (۶-۳): شماتیک مدل پیشنهادی----- ۴۱
- شکل (۷-۳): پروفایل مصرف سوخت به ازای تولید توان----- ۴۳
- شکل (۸-۳): تغییرات دمای محیط به‌صورت ماهیانه----- ۴۵
- شکل (۹-۳): توان خروجی توربین----- ۴۷
- شکل (۱۰-۳): مقایسه انواع باتری‌ها----- ۴۹
- شکل (۱۱-۳): فلوچارت مدیریت توان پیشنهادی----- ۵۷
- شکل (۱۲-۳): فلوچارت الگوریتم MOPSO----- ۶۳
- شکل (۱۳-۳): فلوچارت نرم‌افزار هومر----- ۶۶
- شکل (۱-۴): نمودار پرتو سیستم پیشنهادی----- ۶۹
- شکل (۲-۴): میانگین تولید و سهم هر جز به‌صورت ماهانه----- ۶۹
- شکل (۳-۴): میزان تولید هر جز به‌صورت ماهانه----- ۷۰
- شکل (۴-۴): سهم تولیدی هر جز----- ۷۱
- شکل (۵-۴): مقادیر هزینه‌ها----- ۷۲
- شکل (۶-۴): نمودار Cash Flow----- ۷۳
- شکل (۷-۴): بار تولیدی و بار موردنیاز----- ۷۵
- شکل (۸-۴): پروفایل شارژ و کاهش شارژ باتری به‌صورت ماهانه----- ۷۶
- شکل (۹-۴): بالانس انرژی در یک روز----- ۷۷
- شکل (۱۰-۴): تأثیر تحلیل حساسیت سوخت دیزل بر NPC----- ۷۸
- شکل (۱۱-۴): تأثیر Maximum allowable capacity shortage بر NPC----- ۷۹
- شکل (۱۲-۴): تأثیر تغییر قیمت اجزای سیستم بر NPC----- ۸۰

- شکل (۴-۱۳): تأثیر تغییر قیمت اجزای سیستم بر LCOE ----- ۸۱
- شکل (۴-۱۴): تأثیر سه نوع باتری مرسوم بر NPC سیستم ----- ۸۲
- شکل (۴-۱۵): تأثیر سه نوع باتری مرسوم بر LCOE سیستم ----- ۸۲
- شکل (۴-۱۶): تأثیر افزایش سود بر NPC و LCOE ----- ۸۳
- شکل (۴-۱۷): مقادیر ورودی/خروجی باتری برای مدل‌های LF و CC ----- ۸۴
- شکل (۴-۱۸): بار خروجی از منابع تجدید پذیر ----- ۸۵

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۱): تفاوت بین پیل‌های اولیه و ثانویه و مزایا و معایب آن‌ها	۱۶
جدول (۱-۳): کلاس‌بندی بادها با توجه به سرعت	۴۰
جدول (۲-۳): مشخصات ژنراتور	۴۲
جدول (۳-۳): مشخصات سوخت بایودیزل	۴۳
جدول (۴-۳): مشخصات پنل خورشیدی	۴۴
جدول (۵-۳): مشخصات توربین باد	۴۷
جدول (۶-۳): مشخصات باتری	۴۷
جدول (۷-۳): مشخصات مبدل	۵۰
جدول (۸-۳): مقادیر متغیرهای حساسیت	۵۳
جدول (۱-۴): مشخصات سیستم بهینه	۶۸
جدول (۲-۴): گزارش هزینه‌های سیستم بهینه	۷۲
جدول (۳-۴): مقدار گازهای تولیدی	۷۴
جدول (۴-۴): مقدار تولیدی منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر.	۸۶
جدول (۵-۴): سیستم هیبریدی انتخاب‌شده توسط هومر	۸۶

فهرست علائم

توان خروجی	$P_{R-BDG} (\frac{kW}{h})$
نرخ توان	$P_{BDG} (\frac{kW}{h})$
ضریب بردار مصرف	$B_{BD} (\frac{L}{kWh})$
ضریب بردار مصرف	$A_{BD} (\frac{L}{kWh})$
مقدار مصرف سوخت	$F_{BDG} (\frac{L}{h})$
هزینه مصرف سوخت بایودیزل	$C_{BF} (\frac{\$}{h})$
هزینه سوخت	$P_{bf} (\$)$
سطح مفید پنل	$A (m^2)$
نرخ بازده پنل	$r (\%)$
تشعشعات سالیانه	$H (\frac{W}{m^2})$
نرخ بازده	PR
توان خروجی پنل	$P_{PV} (\frac{kW}{h})$
زمان	$t (s)$
تشعشعات بر روی پنل	$R_t (\frac{W}{m^2})$
بازده پنل	$\eta_{PV} (\%)$
بازده مرجع پنل	$\eta_{r-PV} (\%)$
دمای مرجع	$T_{ref} (^{\circ}C)$
ضریب بازده حرارتی	N_T
دمای اسمی	$NOCT (^{\circ}C)$
دمای محیط	$T_A (^{\circ}C)$
توان توربین	$P_{wt} (\frac{kW}{h})$

سرعت باد	$WS (\frac{m}{s})$
سرعت cut-in	$WS_I (\frac{m}{s})$
سرعت cut-out	$WS_O (\frac{m}{s})$
نرخ سرعت باد	$WS_R (\frac{m}{s})$
سطح تیغه‌ها	$A_{WT} (m^2)$
چگالی هوا	$\rho_a (\frac{kg}{m^3})$
ضریب قدرت	$C_P (kW)$
ضریب تخریب	$\eta_r (\%)$
مجموع انرژی‌های تولیدی	$E_G (kJ)$
بازده مبدل	$\eta_{inv} (\%)$
نرخ کاهش شارژ	$\beta (\%)$
بازده کاهش شارژ	$\eta_{btc} (\%)$
کمبود توان	$P_{def} (kW)$
توان تولیدی اضافه	$P_{surp} (kW)$
فضای اسمی شارژ	$C_{cap} (kWh)$
توان مبدل	$P_{inv} (kW)$
مجموع انرژی موردنیاز	$ED_I (kJ)$
نرخ بازگشت سرمایه	$CRF (\%)$
نرخ سود	$I_{real} (\%)$
هزینه سلول خورشیدی	$C_{PV} (\$)$
هزینه توربین	$C_{Tr} (\$)$
هزینه موتور بایودیزل	$C_{bio} (\$)$
هزینه باتری	$C_{Batt} (\$)$
هزینه اولیه	$C_C (\$)$
هزینه تعویض	$C_R (\$)$
هزینه تعمیرات و نگهداری	$C_{O\&M} (\$)$
هزینه سوخت	$C_F (\$)$

قیمت اسقاطی اجزا	S (\$)
انرژی هدررفته	WE(t) (kJ)
مجموع انرژی سوخت	TOE (kJ)
پتانسیل زمین گرمایشی	GWP

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

منظور از سیستم هیبریدی که در عنوان پایان نامه ذکر شده است تلفیق و ترکیب سیستم‌های مرتبط با انرژی‌های تجدید پذیر (خورشیدی، بادی و بایودیزل) می‌باشد. با توجه به هدف کار که بهینه‌سازی سیستم هیبرید پیشنهادی با توجه به کاهش هزینه و آلودگی در کنار افزایش قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد، با توجه به نیاز به مدل‌سازی و بهینه‌سازی، دو نرم‌افزار قدرتمند متلب و هومر و الگوریتم چندهدفه ازدحام ذرات مورد استفاده قرار گرفتند.

۱-۲- سیستم‌های انرژی‌های تجدید پذیر

۱-۲-۱- پیدایش

استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و ادغام آن‌ها برای دستیابی به راندمان و کارایی بالاتر و بهتر از زمینه‌های علمی نوپا و بسیار جدید در جهان می‌باشد. تا اواسط قرن ۱۹ و قبل از توسعه استفاده از زغال سنگ، تقریباً کل انرژی مصرفی از منابع انرژی تجدید پذیر بودند. بی شک قدیمی‌ترین نوع انرژی مورد استفاده زیست‌توده^۱ سنتی بوده که برای روشن کردن آتش استفاده می‌شده است. شاید دومین انرژی تجدید پذیر، انرژی باد بوده که برای به حرکت درآوردن کشتی‌ها در حدود ۷۰۰۰ سال پیش مورد استفاده قرار می‌گرفته است. البته نقش انرژی خورشید در تأمین انرژی گرمایی مورد نیاز بشر را نیز نباید نادیده گرفت؛ اما پس از انقلاب صنعتی حضور این گونه انرژی‌ها کم‌رنگ شدند. پس از جنگ جهانی دوم، دانشمندان با بررسی‌های انجام داده شده بدین نتیجه رسیدند که منابع فعلی (فسیلی) در آینده تمام می‌شوند و باید منابع انرژی جایگزین برای تأمین آینده انرژی بشر در نظر گرفت. بنابراین مجدد منابع انرژی تجدید پذیر مدنظر قرار گرفتند [۱].

¹ Biomass

در سال ۱۸۷۳، نگرانی به اتمام رسیدن زغال سنگ تحقیقات را به سمت استفاده از انرژی خورشید سوق داد. اهمیت استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در سال ۱۹۱۱ در مجله آمریکایی با این تیتیر بیان شد: "در آینده‌ای دور، سوخت‌های طبیعی (انرژی خورشید) که به فراموشی سپرده شده‌اند تنها وسیله باقی‌مانده برای حیات بشر خواهند بود." در سال ۱۹۷۰ محققان محیط‌زیست استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر را هم به‌منظور جایگزینی برای کاهش احتمالی مخازن نفت و هم به‌منظور مقابله با وابستگی به نفت مدنظر قرار دادند. علاوه بر این آلودگی شدید محیط‌زیست به خاطر استفاده از سوخت‌های فسیلی نیز عامل دیگری برای تغییر سمت‌وسوی استفاده از منابع انرژی متداول فسیلی به منابع انرژی‌های تجدید پذیر است.

آمارها گویای این است که بزرگ‌ترین عامل انسانی در انهدام و آلودگی محیط‌زیست، مصرف، تولید و تبدیل انواع انرژی‌های متداول امروزی مانند سوخت‌های فسیلی است. این در حالی است که نه‌تنها مصرف انرژی در جهان در سطح ثابتی باقی نمانده است، بلکه در سال‌های آتی به دلیل افزایش جمعیت و به‌تبع آن افزایش میل به رفاه و تولید ناخالص سرانه در جهان، سبب شده تا مصرف انرژی تقریباً ۷۵ درصد بیش از سال ۱۸۹۰ شود. پیامد مصرف این میزان انرژی، افزایش میزان انتشار دی‌اکسید کربن شده است. علاوه بر این، انتشار گازهای آلاینده SO_x و NO_x را باید به این میزان اضافه کرد. مطالعات و تجربیات نشان می‌دهد که دو راه‌حل اصلی برای تعدیل این مشکلات وجود دارد:

- افزایش بازده مصرف انرژی
 - افزایش سهم انرژی‌های تجدید پذیر در ترکیب انرژی جهان
- امروزه حدود ۱۶٪ از انرژی مصرفی توسط انرژی‌های تجدید پذیر تأمین می‌گردد. ۱۰٪ از کل انرژی موردنیاز با روش زیست‌توده سنتی که اساساً برای گرمایش استفاده می‌گردد تأمین می‌شود. ۳/۴٪ از انرژی مورد نیاز با نیروگاه‌های برق - آبی تأمین می‌گردد. انرژی‌های تجدید پذیر جدید (نیروگاه‌های آبی کوچک، زیست‌توده مدرن،

باد، خورشید، زمین گرمایی و بیوسوخت^۱) ۳٪ دیگر را شامل می شود که به سرعت نیز در حال افزایش می باشند [۱]. امروزه بازار جهانی انرژی های تجدید پذیر به شدت در حال افزایش است. به طور مثال تولید توان بادی با نرخ سالانه ۳۰٪ در حال افزایش است و توان نصب شده بادی در دنیا در سال ۲۰۱۲ حدود ۲۸۲/۵ مگاوات بوده است.

یادآوری این نکته بسیار مهم است که استفاده از انرژی های تجدید پذیر در مقایسه با سوخت های فسیلی، هرچند از هزینه بهره برداری بسیار اندک برخوردار است، اما هزینه های سرمایه گذاری بسیار بالاتر و حتی چندین برابر خواهند داشت و در اکثر موارد، تحقیقات بیشتری برای بهینه کردن و کاهش هزینه ها نیاز است. به عنوان نمونه در مقابل هزینه های سرمایه گذاری نیروگاه های توربین گازی متداول امروزی، هزینه های سرمایه گذاری توربین های بادی حداقل ۳ برابر، نیروگاه های حرارتی خورشیدی بیش از ۸ برابر و سیستم های خورشیدی حدود ۱۰ برابر توربین های گازی متداول است. منابع تجدید پذیر انرژی تقریباً بدون آلاینده می باشند و پاک در نظر گرفته می شوند؛ اما در مورد انرژی زیست توده به عنوان یک منبع انرژی می بایست تولید آلاینده داخلی آن را در نظر گرفت. همان طور که اشاره شد علیرغم تمامی مزایا و محاسن مشهود برای منابع انرژی تجدید پذیر، علت عدم استقبال از این منابع، به فراوان و ارزان بودن سوخت های فسیلی بازمی گردد. همان طور که بیان شد سوخت های فسیلی دو مشکل پایان پذیر بودن و همچنین ایجاد آلودگی زیست محیطی در هنگام استفاده را دارا می باشند.

۱-۳- تقسیم بندی

انرژی های تجدید پذیر به انواع انرژی های خورشیدی، بادی، زیست توده، برق آبی، زمین گرمایی، جزر و مد، پیل سوختی و موج تقسیم بندی می شوند [۲].

¹ Biofuel

۱-۳-۱- انرژی خورشید:

یکی از منابع‌های انرژی پایان‌ناپذیر خورشید است. انرژی‌هایی که زمین از خورشید دریافت می‌کند بسیار زیاد است در هر ثانیه، هر مترمربع زمین حدود ۱۳۶۷ ژول انرژی از خورشید دریافت می‌کند. بخشی از انرژی خورشید صرف گرم کردن زمین و اجسام روی آن می‌شود. بخش دیگری برای فتوسنتز^۱ در گیاهان استفاده می‌شود. یکی از راه‌های بهره‌گیری از این انرژی، آب‌گرم‌کن‌های با دمای کم است که می‌توان از آن‌ها در منزل استفاده کرد. همچنین می‌توان انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل کرد و از برق حاصل برای کلیه مصارف خانگی و صنعتی بهره گرفت. از انرژی خورشیدی زمانی می‌توان بهره برد که طیف وسیعی از فن‌آوری‌ها را در اختیار داشته باشیم. از جمله این فناوری‌ها می‌توان به گرمایش خورشیدی، خورشیدی^۲، انرژی متمرکز خورشیدی، معماری خورشیدی و فتوسنتز مصنوعی اشاره کرد.

فن‌آوری‌های خورشیدی را می‌توان با توجه به نحوه جذب، تبدیل و توزیع انرژی خورشیدی، به دودسته خورشیدی فعال یا خورشیدی غیرفعال طبقه‌بندی کرد. در سال ۲۰۱۱ آژانس بین‌المللی انرژی^۳ اعلام کرد که توسعه فن‌آوری‌های انرژی تجدید پذیر خورشیدی ارزان‌قیمت و تمیز، از مزایای زیادی برخوردار است. این امر باعث افزایش امنیت انرژی کشورها از طریق تکیه به منابع بومی و کاهش واردات نیرو خواهد شد. نیروگاه استرلینگ^۴ تقریباً بیشترین بازده را در بین تمام فن‌آوری‌های انرژی خورشیدی دارد که اساس کار آن بر مبنای انباشت اشعه خورشید در یک نقطه کانونی، تولید حرارت زیاد و استفاده از این حرارت برای تولید برق می‌باشد.

¹ Photosynthesis

² Photovoltaic

³ IEA

⁴ Stirling

۱-۱-۳-۱- پنل های خورشیدی:

نقاط ضعف سوخت های فسیلی و انرژی موجب شده که مردم به فکر پیدا کردن سوخت های جایگزین بیافتند. یک منبع انرژی ایده آل باید ارزان، فراوان، پاک و تجدید پذیر باشد.

برای استفاده از انرژی خورشیدی راه های بسیاری وجود دارد. بعضی از آن ها، روش های غیرفعال و برخی روش های فعال نام دارند. سیستم غیرفعال، وظایف خود را فقط با کمک طبیعت انجام می دهد. مثلاً در یک گلخانه هوای گرم از هوای سرد سبک تر بوده و طبیعتاً به سمت بالا حرکت می کند. سیستم فعال، وظایف خود را با استفاده از طبیعت و تجهیزات کمکی از قبیل پمپ و غیره انجام می دهد.

سلول خورشیدی مشابه چیپ کامپیوتری است. این قطعات از موادی به نام نیمه هادی ساخته شده اند. نیمه هادی ها توانایی حمل یا اصطلاحاً هدایت الکتریسیته را دارند، اما نه به خوبی فلزات. به همین دلیل پیشوند «نیمه» به ابتدای نام قطعه اضافه شده است. قسمتی از نوری که به سلول خورشیدی می رسد بازتابیده می شود. قسمتی از نور دریافتی به گرما تبدیل شده و بخشی نیز از سلول عبور می کند اما نوری که در طول موج مورد نظر باشد جذب می شود. سپس ماده نیمه هادی مقدار کمی الکتریسیته تولید می کند.

سلول های خورشیدی اندازه های مختلفی دارند، کوچک ترین آن ها از یک تمبر پستی باریک تر است در حالی که عرض بزرگ ترین سلول خورشیدی به چندین سانتیمتر می رسد. در صورت نیاز به برق بیشتر، چند سلول باهم الحاق می شوند. سلول های گروه بندی شده را ماژول خورشیدی یا پنل خورشیدی می نامند. اگر باز هم برق بیشتری مورد نیاز باشد چند ماژول را به صورت یک آرایه به هم وصل می کنند. بعضی ایستگاه های برق خورشیدی بزرگ از هزاران پنل تشکیل شده اند. پنل های خورشیدی به آسانی قابل حمل بوده و قطعی برق ندارند. به همین دلیل معمولاً برای وسایل برقی از قبیل علائم و تابلوهای بزرگراه ها، تلفن های عمومی، پمپ آب مزارع و چراغ های روستاهای دور دست استفاده می شوند؛ و بازده سلول های خورشیدی به خوبی نشان دهنده میزان پیشرفت فناوری خورشیدی

است. بازده به معنای میزان توانایی یک سلول در تبدیل نور دریافتی به الکتریسیته است. سطح بازده مشخص می‌کند که چه میزان از انرژی دریافتی به الکتریسیته مفید تبدیل شده است. در دهه ۱۹۵۰ بازده سلول‌ها کم و حدود ۶ درصد بود و قیمت بالایی داشت.

بازده سلول خورشیدی تا حد زیادی به واکنش طیفی آن بستگی دارد. هر چه طیف نوری که سلول می‌تواند به آن واکنش نشان دهد واکنش طیفی گسترده‌تر باشد نیروی تولیدی هم بیشتر خواهد بود.

یک عامل مؤثر دیگر بر بازده سلول، حرارت عملیاتی سلول است. هر چه سلول داغ‌تر شود جریان الکتریکی کمتری تولید می‌شود؛ بنابراین برای تولید بیشترین میزان الکتریسیته باید سلول‌ها به‌صورتی نصب شوند که تا حد ممکن خنک شوند.

امروزه بسیاری از سلول‌ها، بسته به نوعشان، بازدهی برابر ۱۵٪ و بالاتر دارند. بعضی سلول‌های آزمایشی بازده بسیار بالاتری دارند. روش‌های تولید نیروی گرمای خورشیدی هم بهینه‌شده‌اند. در اوایل سال ۲۰۰۸ شرکت «سیستم‌های انرژی درون سوز» برای یک نوع از بشقاب‌های خورشیدی تولیدی‌اش به نام «سان کچر» بازدهی شگفت‌انگیز ۲۵ درصد رسید [۳].

از مهم‌ترین فاکتورهایی که در انتخاب مواد ساختار پنل‌های خورشیدی باید در نظر گرفته شوند عبارت‌اند از:

(۱) مقاومت در برابر حرارت

پنل‌ها عموماً در معرض درجه حرارت‌های بسیار بالا یا بسیار پایین قرار می‌گیرند. سرما سختی بعضی از مواد را کم می‌کند و انقباض موجب ترک برداشتن برخی مواد می‌شود. مواد در درجه حرارت‌های بالا نرم شده و نرمی در بعضی مواد منجر به تجزیه فیزیکی و در نتیجه شکستن ساختار و کاهش کارایی پنل خورشیدی می‌شود.

(۲) مقاومت در برابر رطوبت

رطوبت و مه، شبنم، باران و برف آبدار، پنل‌ها را در معرض رطوبت قرار می‌دهند. ماده‌ای که رطوبت را جذب می‌کند به‌مرورزمان رطوبت را به سمت سلول‌ها و اتصالات الکتریکی داخل پنل کشیده و موجب خرابی آن می‌شود.

۳) مقاومت در برابر اشعه فرابنفش

بعضی مواد تحمل این که هر روز و تمام مدت را در معرض اشعه فرابنفش خورشید قرار بگیرند ندارند. تجزیه این مواد موجب نفوذ رطوبت، سرما و گرما به درون پنل و خرابی آن می‌شود. این گونه مواد گرچه بهترین‌ها نیستند اما با توجه به عوامل ذکر شده بهترین گزینه‌های موجود می‌باشند.

۱-۳-۲- انرژی باد:

می‌توان از جریان هوا برای توربین‌های بادی استفاده کرد. نیروی حاصل از توربین‌های بادی حدود ۶۰۰ کیلووات تا ۹ مگاوات می‌باشد که به طبع با افزایش سرعت باد، بازده انرژی این توربین‌ها^۱ افزایش خواهد یافت. همچنین باید بدانید که ارتفاعات مکان‌های مناسبی برای ایجاد مزارع بادی می‌باشند زیرا وزش باد در این مکان‌ها شدیدتر است. در سال ۲۰۱۵ تقریباً ۴ درصد از تقاضای جهانی برق از نیروی باد تأمین می‌شد اما پژوهشگران عقیده بر این دارند که تا سال ۲۰۳۰ این میزان به ۲۰ درصد برسد. انرژی باد منبع اصلی تأمین انرژی در اروپا، آمریکا و کانادا و چین محسوب می‌شود. در دانمارک، انرژی باد بیش از ۴۰ درصد از نیازهای برق این کشور را تأمین می‌کند، در حالی که سهم ایرلند، پرتغال و اسپانیا هر کدام نزدیک به ۲۰ درصد می‌باشد.

استفاده از نیروی باد به عنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر مستلزم نصب توربین‌های بادی در مناطق بزرگ، به‌ویژه در مناطقی با نیروی باد بیشتر از جمله ارتفاعات و سواحل دریایی است. از آنجاکه سرعت باد در سواحل دریایی به‌طور میانگین ۹۰٪ بیشتر از زمین‌های معمولی است، توربین‌ها در این مناطق انرژی بیشتری تولید می‌کنند. در هر نیروگاه بادی که برای تولید الکتریسیته ایجاد شده است، حدود ۴۰ تا ۱۰۰ توربین بادی وجود دارد. از جمله مشکل‌های این توربین‌ها می‌توان ایجاد سروصدای زیاد و خراب کردن منظره‌ها نام برد.

¹ Turbine

۱-۲-۳-۱- توربین های بادی:

انرژی باد را می توان با استفاده از توربین های بادی افقی یا عمودی به انرژی مکانیکی تبدیل و از آن برای پمپاژ آب یا تولید برق در مناطق دورافتاده یا از طریق اصطکاک برای تولید انرژی حرارتی استفاده کرد. هزینه سیستم های نصب شده در دهه گذشته به طور چشمگیری کاهش یافته و انرژی باد در بسیاری از نواحی مستعد با منابع انرژی سنتی رقابت می کند. انرژی بادی مانند سایر منابع انرژی تجدید پذیر به طور گسترده ولی به صورت پراکنده در دسترس است. از عوامل بازدارنده سرعت باد می توان به وجود آسمان خراش ها، کارخانه های مرتفع، ساختمان ها و درختان کهن اشاره کرد.

تخمین زده می شود در سال ۲۰۲۰ میلادی سهم انرژی بادی در تأمین انرژی جهان با توان مجموع توربین های بادی ۱۸۰ گیگاوات حدود ۳۷۵ تراوات ساعت در سال باشد. از آنجایی که مسائل زیست محیطی به صورت ویژه اهمیت پیدا کرده است تلاش ها بر این است که این سهم در سال ۲۰۲۰ افزایش بیشتری پیدا کرده و با توان مجموع توربین های بادی ۴۷۰ گیگاوات به حدود ۹۰۰ تراوات ساعت افزایش یابد.

در جهان، عمدتاً بادهای غربی در جریان می باشند. این بادهای تشکیل یک چرخش موجی را می دهند و هوای سرد را به جنوب و هوای گرم را به شمال انتقال می دهند. این الگو جریان راسبی^۱ نامیده می شود.

در توربین های بادی پره ها به گونه ای طراحی می شوند که با وزش باد به گردش در آیند. گردش پره ها محور درونی روتور توربین را می چرخاند و در نهایت بعد از تبدیل گشتاور به سرعت دورانی در جعبه دنده^۲، توان مکانیکی به توان الکتریکی تبدیل می شود.

^۱ Rossby

^۲ Gearbox

۱-۲-۳-۲- انواع توربین باد:

(۱) توربین بادی محور افقی (HAWT)

(۲) توربین بادی محور عمودی (VAWT)

۱-۲-۳-۳- توربین بادی محور افقی (HAWT)

توربین‌های بادی با محور افقی که به اختصار HAWT یا (Horizontal Axis Wind Turbines) نیز نامیده می‌شوند، رایج‌ترین نوع توربین‌های بادی مورد استفاده می‌باشند. این توربین‌ها برای رسیدن به بیشترین بازدهی باید دقیقاً در جهت وزش باد قرار گیرند، لذا توربین‌های محور افقی باید سیستمی برای تنظیم در مقابل باد قرار گرفتن داشته باشند که به آن مکانیزم یاو^۱ می‌گویند. به‌طوری‌که کل نازل می‌تواند به سمت باد بچرخد. در توربین‌های کوچک دنباله بادنا این کنترل را بر عهده دارد. ولی در سیستم‌های متصل به شبکه سیستم کنترل یاو فعال می‌باشد که به وسیله سنسورهای تعیین‌کننده جهت باد و موتورهای نازل به سمت باد می‌چرخد. مزایای توربین افقی:

- بلندی برج امکان دسترسی به بادهای قوی‌تر را فراهم می‌کند.
- در برخی مکان‌ها به ازای هر ۱۰ متر افزایش ارتفاع سرعت باد ۲۰ درصد و بازدهی ۳۴ درصد افزایش می‌یابد.
- به دلیل پایه‌های بلند و مکانیزم پیشرفته، امکان استفاده از این توربین‌ها در دریاها نیز وجود دارد.
- به دلیل قرار گرفتن مستقیم در مقابل وزش باد، بازدهی بالایی دارند.

¹ Yawing

معایب توربین افقی:

- در ارتفاع کم کار نمی کنند.
- حمل و نقل و نصب و راه اندازی آن ها مشکل است.
- تعمیر و نگهداری آن ها سخت و پرهزینه است.
- در مجاورت رادار تحت تأثیر قرار می گیرند.
- ارتفاع زیاد و بزرگی آن ها ظاهر زیبایی ندارد و آلودگی صوتی ایجاد می کند.

۱-۲-۳-۴- توربین بادی محور عمودی (VAWT)

در توربین های بادی با محور عمودی که به اختصار VAWT یا (Vertical Axis Wind Turbines) نامیده می شوند، روتور اصلی به صورت عمودی قرار می گیرد. مهم ترین مزیت توربین بادی عمودی این است که نیازی به تنظیم جهت قرارگیری نسبت به جهت باد ندارند و همچنین در ارتفاع کم نیز می توان از آن ها استفاده کرد. در توربین ها یا روتورهای محور عمودی، محور دوران عمود بر سطح زمین و چرخش تیغه ها به موازات زمین است؛ و به همین دلیل سطحی که توسط باد به حرکت درمی آید پس از نیم دور چرخش مجبور است در جهت عکس جریان باد به حرکت خود ادامه دهد و این مشکل سبب پایین آمدن ضریب توان آن ها می شود. به همین دلیل در این روتورها منحنی پره از اهمیت خاصی برخوردار است.

چون این توربین های بادی می بایست نزدیک تر به سطح زمین نصب شوند و در ارتفاع کم، سرعت باد کمتر است، انرژی کمتری از سازه مشخص توربین تولید می شود. جریان هوا نزدیک زمین و دیگر اشیا می تواند جریان مغشوش

ایجاد کند که باعث پیامدهای لرزش، شامل سروصدا و خستگی یاتاقان‌ها می‌شود و در نتیجه هزینه نگهداری ممکن است افزایش یابد و عمر کاری کم شود. این توربین‌ها به دو نوع اصلی ساوونیوس^۱ و داریوس^۲ تقسیم‌بندی می‌شوند. مزایای توربین‌های عمودی

- توربین‌های بادی عمودی به جهت باد و آشفتگی جریان حساسیت کمتری دارند، این مزیت باعث می‌شود بتوان از آن‌ها در مناطق مختلف از جمله پشت‌بام ساختمان‌ها استفاده کرد.
- هنگام وزش بادهای مغشوش و گردابه‌ای عملکرد مناسبی دارند.
- توربین‌های بادی عمودی را می‌توان در فاصله نزدیک به زمین نصب کرد که این موضوع باعث امنیت و ارزانی، همچنین آسانی تعمیر و نگهداری می‌شود.
- نیازی به سیستم جهت‌یابی یا ندارند.

معایب توربین‌های عمودی

- در توربین‌های عمودی هنگام وزش باد، نیروی مخالفی به‌طرف دیگر توربین نیز وارد می‌شود؛ بنابراین بازدهی آن‌ها در هر دوره تناوب نسبت به توربین‌های محور افقی کمتر است.
- نصب این نوع توربین روی برج‌های بلند مشکل است؛ بدین معنی که آن‌ها باید در جریان‌های هوایی با اغتشاش بیشتر و نزدیک زمین با بازده استخراج انرژی پایین‌تر عمل کنند.
- به دلیل مسائل ذکرشده، طراحی و تحلیل پره توربین‌های عمودی سخت‌تر و گران‌تر است. بازده کم آن‌ها را می‌توان با چیدمان فشرده و طراحی‌های جدید بهبود بخشید.
- به دلیل اغتشاش جریان زیاد، سازه توربین‌های بادی عمودی در معرض خستگی قرار دارد. این مسئله نیز

^۱ Savonius

^۲ Darrieus

با پیش‌بینی بارهای آیرودینامیکی^۱ تا حد زیادی قابل‌بهبود است.

۱-۳-۳- زیست‌توده:

زیست‌توده یا بایومس یک منبع تجدید پذیر انرژی است که از مواد زیستی به دست می‌آید. به‌طور کلی کلیه زباله‌هایی که منشأ زیستی داشته باشند و از تکثیر سلولی پدید آمده باشند بایومس نامیده می‌شوند. منابع بایومسی که برای تولید انرژی مناسب می‌باشند، طیف وسیعی از مواد را شامل می‌شوند که به‌طور عمده به شش گروه تقسیم‌بندی می‌گردند: ۱- جنگل‌ها و ضایعات جنگلی ۲- محصولات و ضایعات کشاورزی، باغداری و صنایع غذایی ۳- فضولات دامی ۴- فاضلاب‌های شهری ۵- فاضلاب‌ها، پسماندها و زائدات آلی صنعتی ۶- ضایعات جامد. به‌عبارت دیگر زیست‌توده مواد گیاهی یا حیوانی می‌باشد که می‌تواند به الیاف یا سایر مواد شیمیایی صنعتی از جمله سوخت‌های زیستی تبدیل شود. زیست‌توده به‌عنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر می‌تواند به‌طور مستقیم از طریق احتراق (برای تولید گرما) و یا به‌طور غیرمستقیم پس از تبدیل آن به اشکال مختلف سوخت‌های زیستی مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۳-۴- باتری‌ها:

باتری‌ها معمولاً در وسایل خانگی و برای کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر باتری برای هدف مشخصی طراحی می‌شود و بر اساس نیاز موردنظر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. هر باتری بر اساس یک واکنش شیمیایی، یعنی واکنش اکسایش-کاهش کار می‌کند. این واکنش بین کاتد و آند و از طریق جداکننده (الکتrolیت) رخ می‌دهد. در نتیجه، یک الکتروود به علت واکنش اکسایش به‌صورت منفی باردار می‌شود. این الکتروود، کاتد نام دارد. الکتروود دیگر به علت واکنش کاهش به‌صورت مثبت باردار می‌شود که آن را آند می‌نامند. هنگامی که دو نوع

¹ Aerodynamics

فلز مختلف در محلول الکترولیت یکسانی فرو برده شوند، یکی از الکترودها الکترود می‌گیرد و دیگری الکترود از دست می‌دهد.

در نتیجه، یکی از فلزها الکترود می‌گیرد و دیگری الکترود از دست خواهد داد. این اختلاف در تراکم الکترود دو فلز، بین فلزها اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌کند. این اختلاف پتانسیل می‌تواند به عنوان منبع ولتاژ در هر وسیله الکتریکی استفاده شود. یونها فقط از طریق جداکننده جریان می‌یابند و جداکننده تمام حرکات از آند به کاتد را مسدود می‌کند؛ بنابراین، تنها راه دریافت جریان خارجی، از طریق پایانه‌های باتری است. عمده‌تاً دو نوع باتری وجود دارد: پیل‌های اولیه و ثانویه. هرچند، باتری‌ها را می‌توان به چهار دسته اصلی یعنی پیل اولیه، پیل ثانویه، پیل سوختی و پیل یدک نیز دسته‌بندی کرد.

۱-۳-۴-۱- انواع باتری:

(۱) پیل‌های اولیه

(۲) پیل‌های ثانویه

۱-۳-۴-۱-۱- پیل‌های اولیه:

باتری‌های غیرقابل شارژ به عنوان باتری‌های اولیه یا پیل اولیه شناخته می‌شوند. باتری‌های اولیه، آن‌هایی می‌باشند که وقتی انرژی ذخیره شده آن‌ها یکبار به طور کامل استفاده می‌شود، نمی‌توان دوباره از آن‌ها استفاده کرد. این باتری‌ها توسط هیچ منبع خارجی نمی‌توانند مجدداً انرژی ذخیره کنند. به همین دلیل است که پیل‌های اولیه را باتری‌های یکبار مصرف می‌نامند.

عامل اصلی کاهش طول عمر باتری‌های اولیه این است که در طول استفاده، قطبیده می‌شوند. برای طولانی کردن عمر باتری‌ها با کاهش اثر قطبش، از واقطبیدگی شیمیایی استفاده می‌شود؛ یعنی اکسید کردن هیدروژن با آب

به وسیله اضافه کردن عامل اکسیدکننده به پیل. به عنوان مثال، در پیل روی-کربن و لکلانشه از منگنز دی اکسید و در پیل بانسن^۱ و گرو^۲ از نیتریک اسید استفاده می شود.

۱-۴-۳-۲- پیل های ثانویه:

باتری های قابل شارژ به عنوان پیل ثانویه شناخته می شوند. این نوع باتری ها را می توان با وصل کردن به شارژ، بارها و بارها مورد استفاده قرار داد و قبل از اینکه نیاز به تعویض باتری باشد، استفاده های متعددی از آن کرد. هزینه اولیه باتری های قابل شارژ معمولاً بیشتر از باتری های یک بار مصرف است، اما مجموع هزینه مالکیت و اثر زیست محیطی این باتری ها کمتر است، زیرا می توان قبل از نیاز به تعویض، آن ها را چندین بار به صورت ارزان مجدداً شارژ کرد.

سرب-اسید^۳ یک نمونه خیلی رایج از باتری های قابل شارژ است. معمولاً برای ذخیره انرژی خورشیدی از این باتری ها استفاده می شود، زیرا کیفیت باتری های سرب-اسید، آن ها را از سایر باتری ها متمایز می سازد. این باتری ها جریان زیادی تولید می کنند و در اتومبیل ها مورد استفاده قرار می گیرند. هنگامی که باتری از کار می افتد، می توان آن را بازیافت کرد. در واقع، حدود ۹۳ درصد سرب باتری برای بازیافت دوباره مورد استفاده قرار می گیرد تا باتری های سرب-اسید جدید ساخته شوند.

باتری های لیتیوم-یون^۴ توان بالایی دارند، معمولاً در الکترونیک از آن ها استفاده می شود. این باتری ها می توانند ۱۵۰ وات-ساعت انرژی را در یک کیلوگرم از جرم خود ذخیره کنند. هنگام تخلیه، یون های لیتیوم از الکترو

¹ Bunsen

² Grove

³ Lead Acid

⁴ Li-ion

منفی به سمت الکتروود مثبت و در جهت مخالف حرکت می‌کنند. توجه داشته باشید که داغ شدن باتری می‌تواند منجر به آسیب دیدگی و آتش گرفتن آن شود.

در باتری‌های آب‌نمک^۱ الکتروولیت برای باتری آب‌نمک چیزی بیش از اسم آن نیست (آب و نمک) از این همین رو نام این لغت گذاشته‌اند دستگاه است. آند می‌تواند کربن باشد و کاتد می‌تواند یک ماده از جمله اکسید منگنز باشد. برخلاف مدل‌های لیتیوم یون، این مدل‌ها غیر سمی می‌باشند و منفجر نمی‌شوند و آتش نمی‌گیرند. به همین دلیل مانند مدل لیتیوم یون نیازی به مدار الکترونیکی پیچیده ندارد به‌طوری‌که در هر سلول لیتیوم یون باتری باید اطمینان حاصل کند که تنها در شرایط ایمنی شارژ و دشارژ می‌شود. علاوه بر این، برخلاف نمونه مبتنی بر لیتیوم، باتری‌های آب‌نمک نمی‌توانند کاملاً دشارژ شوند (تخلیه شدن از انرژی الکتریکی) بدون آنکه پیل آسیب به بنید.

در جدول (۱-۱)، به‌طور خلاصه، تفاوت بین پیل‌های اولیه و ثانویه و مزایا و معایب آن‌ها ذکر شده است.

جدول (۱-۱): تفاوت بین پیل‌های اولیه و ثانویه و مزایا و معایب آن‌ها

پیل‌های اولیه	پیل‌های ثانویه
به دلیل سبک بودن و طراحی کوچک برای وسایل قابل حمل مناسب می‌باشند.	برای وسایل قابل حمل مناسب نیستند.
نگهداری خوب شارژ.	پایین بودن نگهداری شارژ.
برای کاربردهای هزینه‌بر مناسب نیستند.	برای پشتیبانی و کاربردهای هزینه‌بر بسیار توصیه می‌شوند.
محدود به کاربردهای خاص.	به دلیل تنوع بسیار، دارای طیف وسیعی از کاربردها می‌باشند.
هزینه اولیه کم.	هزینه اولیه زیاد.

¹ Saltwater

۴-۱- سیستم‌های هیبرید:

تولید برق در خارج از شبکه سراسر برق، روشی برای تأمین انرژی در مجتمع‌های مسکونی، تجاری، صنایع و مناطق دورافتاده و یا روستایی می‌باشد که در اغلب موارد به دلیل موقعیت صعب‌العبور جغرافیایی و هزینه سرسام‌آور انتقال، اتصال به شبکه غیرممکن می‌باشد. در این گونه موارد بهره‌گیری از انرژی‌های بومی (تجدید پذیر) می‌تواند فرایند توسعه این مناطق را تسهیل نماید. بهره‌گیری از گزینه‌های با حداقل هزینه عرضه، جهت توسعه خدمات نوین انرژی در این مناطق یک راه‌حل پایدار و منطقی محسوب می‌شود. روش مرسوم تولید برق در خارج از شبکه، بهره‌گیری از دیزل ژنراتور^۱ می‌باشد لیکن ظهور فناوری‌های جدید قابلیت‌هایی را ایجاد کرده است که همان معماری یک سیستم هیبریدی با مشارکت فناوری‌های انرژی تجدید پذیر در کنار دیزل ژنراتور می‌باشد. تا بتوان تأمین انرژی موردنیاز را با حداقل هزینه انجام داد. در رویکرد جدید دیزل ژنراتور همراه با فناوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر نظیر خورشیدی، باد، زیست‌توده، زیست‌گاز، پیل سوختی و برق‌آبی کوچک و یا خرد می‌باشد. فناوری هیبرید ترکیب منابع چندگانه انرژی همانند تجدیدپذیرها و ژنراتور دیزلی می‌باشد که ممکن است از یک سیستم ذخیره‌سازی انرژی (باتری) نیز بهره بگیرد؛ بنابراین به‌طور کلی یک سیستم هیبریدی ترکیبی از یک یا چند منبع انرژی تجدید پذیر نظیر خورشید، نیروگاه برق‌آبی کوچک/خرد، زیست‌توده، باد و امواج، جزر و مد همراه با سایر فناوری‌ها همانند باتری‌ها و دیزل ژنراتور می‌باشد. به سیستم‌های هیبریدی ترکیبی گاهی سیستم‌های میکرو گرید^۲ (شبکه خرد) نیز گفته می‌شود.

یک سیستم هیبریدی می‌تواند بسیار متنوع بوده و کاربرد متنوعی داشته باشد. از هرکدام از ترکیبات بسته به محل جغرافیایی و دسترسی به انواع انرژی‌های تجدید پذیر و محدودیت‌های فنی و اقتصادی می‌توان استفاده

^۱ Diesel Generator

^۲ Micro-grid

نمود. در یک وضعیت تولید برق خارج از شبکه، سیستم هیبریدی امکان تولید برق پاک و مقرون به صرفه‌ای را فراهم می‌کند که در بیشتر مواقع از تولید برق با ژنراتور دیزلی نیز به صرفه‌تر است. در نتیجه گزینه‌های انرژی تجدید پذیر یک راه حل ارجح برای تولید برق در خارج از شبکه محسوب می‌شوند. سیستم‌های هیبریدی یک رویکرد فناوری رو به توسعه‌ای می‌باشند که در سراسر جهان نظرها را به سمت خود جلب نموده‌اند. دلایلی این جذابیت را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

- بهبود قابلیت اطمینان تأمین برق
- بهبود خدمات انرژی
- کاهش انتشار آلاینده‌گی و سروصدا
- تولید توان برقی پیوسته
- افزایش عمر بهره‌برداری از سیستم
- کاهش هزینه‌های تولید برق
- مصرف بهینه انرژی

۱-۵- انواع سیستم‌های هیبرید با توجه به شبکه:

۱- مستقل از شبکه^۱

۲- متصل به شبکه^۲

^۱ Off-grid

^۲ On-Grid

۱-۵-۱- مستقل از شبکه:

سیستم‌های مستقل از شبکه، انرژی‌های تجدید پذیر را بدون اتصال به شبکه برق سراسر، به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. اولین کاربرد با توجیه اقتصادی برای سیستم‌های هیبرید، سیستم مستقل از شبکه بود. در کشورهای در حال توسعه پتانسیل بسیار بالایی در زمینه استفاده از سیستم‌های مستقل از شبکه وجود دارد زیرا مناطق بسیاری در این کشورها وجود دارد که دارای سکنه بوده اما از شبکه برق‌رسانی به دور می‌باشند و به‌نوعی دسترسی به شبکه برق‌رسانی ندارند؛ بنابراین سیستم‌های مستقل از شبکه برای مناطقی که دسترسی به شبکه برق وجود ندارد بسیار مناسب می‌باشد [۳].

سیستم‌های مستقل از شبکه، برخلاف دیگر سیستم‌های معمول، مانند دیزل ژنراتور که آلاینده محیط‌زیست می‌باشند، سیستم‌هایی پاک بوده و نقش بسزایی در حفظ محیط‌زیست دارند. در بسیاری از سیستم‌های مستقل از شبکه، از باتری به‌عنوان ذخیره کننده انرژی استفاده می‌شود که امکان ذخیره الکتریسیته اضافی را برای مصارف آینده فراهم می‌کند.

اولین گام در طراحی سیستم‌های مستقل از شبکه یا همان Off-grid تعیین مقدار انرژی مصرفی مشتری در طول شبانه‌روز است. بدین منظور از منحنی بار مصارف با جدول مصارف استفاده می‌شود.

حال باید مجموع انرژی موردنیاز را محاسبه نماییم. نکته حائز اهمیت آن است که این عدد به‌دست آمده، مقدار انرژی مصرفی در ورودی تجهیز است و باید تلفات انتقال و بازدهی سیستم طراحی شده نیز مدنظر قرار گیرد. بدین منظور می‌توان از یک ضریب اطمینان ۱.۱ تا ۱.۳ استفاده نمود. شایان ذکر است که ملاحظات دیگری نیز در این زمینه وجود دارد که در پست‌های آتی بدان پرداخته خواهد شد. حال باید مقدار تابش نور خورشید را در محل نصب بدانیم.

سؤال مهمی که باید بدان پاسخ داد این است که مقدار تابش برای چه فصلی از سال باید مبنای طراحی قرار گیرد؟ تابستان یا زمستان و یا سایر فصل‌ها؟ چه ماهی از سال؟ جواب این سؤال‌ها کاملاً بستگی بهره‌برداری مشتری دارد.

درنهایت برای به دست آوردن توان^۱ سیستم‌های منفصل از شبکه، انرژی به‌دست‌آمده البته با احتساب تلفات را به مقدار تابش تقسیم نموده و توان سیستم به دست خواهد آمد. نکته حائز اهمیت آن است که طراح باید موارد توسعه‌ای را نیز قطعاً مدنظر قرار داده و توضیحات لازم را به مشتری بدهد تا در صورت نیاز طراحی سیستم، طرح‌های توسعه را نیز در برگیرد.

برای استفاده از انرژی تولیدی توسط سیستم‌های منفصل از شبکه دو راه پیش رو داریم:

- استفاده آنی و بلافاصله از این انرژی که در آن انرژی تولیدی بلافاصله به مصرف‌کننده تزریق می‌شود. مزیت این روش حذف ذخیره‌ساز^۲ انرژی و کاهش هزینه می‌باشد. در این حالت به دلیل ارتباط مستقیم تغذیه بار با نور خورشید، بار موردنظر فقط در صورتی که نور خورشید بر سطح سلول‌های خورشیدی بتابد برقرار می‌شود و در نبود نور خورشید کارایی لازم را نخواهد داشت.
- دومین حالت استفاده از ذخیره‌ساز (باتری) در خروجی سلول خورشیدی است. در این حالت انرژی خورشیدی تولیدی در طی روز در باتری‌ها ذخیره‌شده و در طول ۲۴ ساعت و به شکل‌های مختلف الکتریسیته DC می‌توان از آن استفاده کرد.

¹ Power

² Storage

۱-۵-۱-۱- کاربردهای سیستم‌های مستقل از شبکه:

- کابین‌های کوهی یا جنگلی، برق‌رسانی به ویلاها و منازل مسافرتی در کشورهای در حال توسعه



شکل (۱-۱): برق‌رسانی به مناطق مسکونی جدا از شبکه

- تلفن‌های SOS ، دستگاه‌های بلیت پارکینگ، سیستم‌های نظارتی ترافیکی، ایستگاه‌های مخابراتی و سایر کاربردهای دور از شبکه برق
- سیستم روشنایی خیابانی و پارکی
- سیستم پمپ خورشیدی برای آب آشامیدنی و آب زراعی و همچنین آب‌شیرین‌کن‌ها

- برق اضطراری و پشتیبان ساختمان‌های اداری
- برق اضطراری و پشتیبان منازل مسکونی

۱-۵-۲- مزایای استفاده از سیستم‌های مستقل از شبکه:

- استقلال از سایر منابع تأمین انرژی
 - قابلیت اطمینان^۱ بالا از عملکرد بهینه سیستم و امکان استفاده از سیستم‌های پشتیبان مانند دیزل ژنراتور
 - امکان ترکیب چندین منبع تولید انرژی مختلف مانند فتوولتائیک، انرژی باد و برق آبی با یکدیگر
 - امکان ارتقاء سیستم در هر زمان
 - امکان کنترل سیستم از راه دور^۲
- در سیستم‌های مستقل از شبکه طول عمر سیستم هیبریدی ارتباط مستقیمی با مواد و تجهیزات مورد استفاده دارد. البته بخش هزینه‌بر این سیستم‌ها عمدتاً بخش ذخیره انرژی (باتری خورشیدی) می‌باشد که با استفاده از باتری مناسب طول عمر تخمینی ۱۵ الی ۲۰ سال برای این سیستم‌ها است و پس از این مدت سیستم فقط نیازمند تعویض باتری می‌باشد و بقیه سیستم طول عمر بالاتری خواهند داشت.

^۱ Reliability

^۲ Monitoring

در صورت استفاده از تجهیزات بی کیفیت، قطعاً شاهد کاهش طول عمر سیستم خورشیدی به یک یا دو سال و در بعضی موارد عدم پاسخگویی سیستم به نیاز مشتری و به طبع آن نارضایتی مصرف کننده را در پی خواهد داشت.

۱-۵-۲- متصل به شبکه:

در این نوع سیستم‌ها مشترکین خانگی می‌توانند با تخصیص بخشی از پشت‌بام یا نمای خود به پنل‌های خورشیدی و یا استفاده از توربین‌های بادی کوچک به تولید برق و تزریق به شبکه اقدام کنند. این روش مطمئن‌ترین روش سرمایه‌گذاری برای مشترکین در سطح کشور می‌باشد [۴].



شکل (۱-۲): نمونه یک سیستم هیبرید On-Grid متشکل از پنل خورشیدی و توربین

این نوع سیستم هیبریدی خانگی که رایج‌ترین نوع می‌باشد، به‌عنوان تولید پراکنده و ابزار تعاملی برای بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه برای تأمین تمام یا بخشی از توان خانه به‌صورت جزیره‌ای شناخته و استفاده می‌شود. این سیستم‌های خانگی، برق خورشیدی و بادی را تولید و مازاد را به شبکه سراسر انتقال می‌دهند. پنل‌های خورشیدی خانگی، توربین و مبدل^۱ قدرت (مبدل) از مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده سیستم‌های هیبریدی متصل به شبکه می‌باشد. اگر خانه یا ساختمانی دورافتاده باشد و به شبکه برق سراسر متصل نباشد، آنگاه به باتری^۲ نیز برای تأمین توان در هنگام شب یا هوای ابری نیاز می‌باشد.

هنگامی که نور خورشید به پنل خورشیدی می‌تابد، سلول‌های خورشیدی با استفاده از اثر خورشیدی، یک جریان مستقیم DC را تولید می‌کنند. همچنین توربین‌های بادی با استفاده از انرژی باد شروع به تولید جریان می‌کنند و این برق به‌وسیله مبدل قدرت به برق شهری یا متناوب خانگی تبدیل می‌شود و این فرآیند هرروز به‌صورت خودکار اتفاق می‌افتد.

زمانی که سیستم هیبریدی برق بیشتری از مقدار مصرف تولید نماید، آنگاه برق مازاد به شبکه برق سراسر انتقال می‌یابد. همچنین توان تولیدی مازاد توسط کنترلر برق محاسبه می‌شود و در آخر هرماه پول تولید برق از طرف اداره برق منطقه‌ای پرداخت می‌گردد. علاوه بر آن اگر تولید برق کمتر از مقدار مصرف باشد، آنگاه توان موردنیاز مصرف‌کننده از شبکه دریافت می‌شود و این عمل توسط مبدل انجام می‌گیرد. این فرآیند تولید یا مصرف توان الکتریکی توسط مبدل اندازه‌گیری خالص می‌شود و در صورت حساب هرماه محاسبه می‌شود. اگر تولید در یک ماه بیش از مصرف باشد، اداره برق موظف به پرداخت می‌گردد و یا این اعتبار را در ماه‌های آینده نگه می‌دارد.

¹ Inverter

² Battery

فصل دوم

مروری بر پژوهش‌های پیشین

۲-۱- مقدمه

تقاضای انرژی روزبه‌روز در جهان در حال افزایش است. آژانس اطلاعات انرژی آمریکا، پیش‌بینی کرده است که تا سال ۲۰۴۰ تقاضای انرژی در جهان ۴۰٪ بیشتر از میزان فعلی خواهد بود [۵]. در دو دهه‌ای اخیر، مصرف انرژی اولیه (سوخت فسیلی) جهان حدود ۴۹٪ و تولید دی‌اکسید کربن تقریباً ۴۳٪ افزایش یافته است. باوجود اینکه بررسی‌های اخیر از کاهش ۱.۱ درصدی مصرف جهانی انرژی در سال ۲۰۰۹، به دلیل رکود اقتصادی پیش‌بینی‌نشده‌ای جهانی گزارش می‌دهد. ولی مصرف انرژی در چندین کشور در حال توسعه، مخصوصاً در مناطقی از آسیا با رشد اقتصادی بالا، به‌شدت در حال افزایش است. به خاطر رشد سریع جمعیت، بهبود سرویس‌های ساختمانی و افزایش مدت‌زمانی که در داخل ساختمان‌های سپری می‌شود، سهم مصرف انرژی در ساختمان‌ها در کشورهای توسعه‌یافته مثل ایالات متحده آمریکا و اروپا (بیشتر از ۲۰ الی ۴۰ درصد از کل انرژی مصرفی) از سهمی که برای بخش‌های صنعت و حمل‌ونقل استفاده می‌شود پیشی گرفته است. در سال ۲۰۰۴، مصرف انرژی ساختمان‌ها در کشورهای اروپایی ۳۷ درصد از کل انرژی محاسبه‌شده است؛ یعنی بیشتر از مقادیر مربوط به صنعت (۲۸ درصد) و حمل‌ونقل (۳۲ درصد) در انگلستان، سهم مصرف انرژی ساختمان‌ها ۳۹٪ بود که از متوسط مقدار اروپا نیز بیشتر است.

در کنار این افزایش تقاضا، خطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی، آلودگی و گرمایش زمین احساس می‌شود. امروزه افزایش نگرانی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در افزایش مداوم دمای میانگین زمین فراگیر شده است. دلیل اصلی این تغییرات آب و هوایی افزایش میزان دی‌اکسید کربن در اتمسفر می‌باشد که اغلب به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. یکی از موضوعات کلیدی پیش روی کشورهای در حال توسعه‌ای مانند ایران، چگونه ایجاد ثبات و نهایتاً کاهش انتشار گازهای آلوده‌کننده می‌باشد، به‌نحوی که بتوان به رشد اقتصادی ادامه داد.

گزینه‌های متعددی برای حل این مشکل، مبتنی بر تکنولوژی‌های روز دنیا وجود دارد که می‌توان به مواردی مانند انتخاب سوخت‌های با میزان کربن کمتر و انرژی‌های تجدید پذیر اشاره نمود. استفاده از منابع تجدید پذیر راه حل مناسبی برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد که علاوه بر کاهش هزینه و آلاینده‌گی کمتر، بازگشت آن‌ها نیز نهایتاً به خود طبیعت است.

قابلیت اطمینان انرژی، تحت شرایط مختلف آب و هوایی و هزینه‌های مرتبط با آن، دو موضوع مهم در طراحی سیستم‌های تجدید پذیر انرژی است. استفاده از انرژی باد، بیشترین رشد را در زمینه استفاده از منابع تجدید پذیر داشته است. انرژی خورشید نیز به عنوان منبعی سازگار با محیط‌زیست شناخته شده است. این دو منبع انرژی، به دلیل اینکه به نوعی مکمل یکدیگر می‌باشند، بیشترین استفاده را در سیستم‌های تجدید پذیر ترکیبی داشته‌اند. سیستم‌های قدرت ترکیبی، معمولاً قابلیت اطمینان بالاتر و نیز هزینه تولید الکتریسیته کمتری، نسبت به سیستم‌های منفرد دارا می‌باشند. وجود سیستم‌های ذخیره کننده انرژی در سیستم‌های قدرت، به دلیل ماهیت تصادفی انرژی باد و خورشید، ضروری است. به هر حال هر یک از تکنولوژی‌های یادشده دارای معایبی نیز می‌باشند. اشکال اصلی انرژی بادی و خورشیدی الگوی فصلی و متناوب آن وابستگی زیاد آن به شرایط محیطی می‌باشد، در حالی که تقاضای توان مصرف‌کننده مشخصه‌ای متفاوت دارد؛ بنابراین سیستم‌های تجدید پذیر اغلب شامل چند منبع انرژی تجدید پذیر می‌باشند.

به کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر با رشد سالانه ۶۰٪ در ظرفیت نصب شده تا سال ۲۰۱۱ و استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ تا ۸۰٪ افزایش یافته است [۶]. از سوی دیگر، تأمین انرژی و الکتریسیته از منابع انرژی سنتی و محدود و همچنین افزایش قیمت تمام شده، یکی دیگر از دغدغه‌های کشورها می‌باشد. تأمین الکتریسیته برای مناطق دورافتاده و جدا از شبکه، می‌تواند هزینه‌های سنگین تری برای کشورها ایجاد کند و همین مسئله نیازمند یک برنامه‌ریزی طولانی مدت دارد. یک تولیدکننده انرژی که قادر است از منابع

انرژی تجدید پذیر موجود در منطقه، مانند خورشید و باد استفاده کند، گزینه و راهکار مناسبی برای کشورها به نظر می‌رسد. به همین جهت تمرکز این تحقیق، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر بومی برای تولید انرژی و الکتریسیته مورد نیاز منطقه می‌باشد.

در حال حاضر مرسوم‌ترین راه حل برای تولید الکتریسیته در مناطق جدا از شبکه، موتورهای دیزل می‌باشند [۷]. استفاده از سوخت دیزل معایب خاص خود مانند هزینه سوخت، هزینه حمل و نقل و هزینه نگهداری را داراست که به موارد فوق باید افزایش قیمت موتورهای دیزل را نیز اضافه کرد. یکی دیگر از معایب استفاده از سوخت دیزل، آلودگی ناشی از سوختن این سوخت می‌باشد که کشورها با جایگزینی سوخت بایو و همچنین استفاده از دیگر منابع تجدید پذیر، به میزان چشم‌گیری از حجم این آلودگی کاسته‌اند [۸]. دلیل این اتفاق این است که سوخت بایو دیزل حاوی مقدار بیشتری اکسیژن نسبت به سوخت دیزل است و همین امر کمک به سوختن بهتر می‌کند [۹]. به همین دلیل اغلب سوخت‌های B10 و B20 در موتورهای دیزل مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۰-۱۲]. استفاده، پیشنهاد و طراحی سیستم‌های هیبریدی برای استفاده از منابع تجدید پذیر، با استفاده از منابع بومی و منطقه‌ای، در سال‌های اخیر افزایش داشته است [۱۸ و ۱۳].

۲-۲- مطالعات پیشین

مطالعات صورت گرفته بر روی سیستم‌های هیبریدی به صورت تئوری، آزمایشگاهی و صنعتی می‌باشد و به طور عمده این مطالعات را می‌توان در موارد زیر دسته‌بندی کرد:

- ۱- مطالعات امکان‌سنجی ساخت و استفاده از سیستم‌های هیبریدی در مناطق مختلف؛
- ۲- استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر مختلف برای تأمین انرژی سیستم‌های هیبریدی؛
- ۳- برآورد کارایی و بهبود آن به صورت آزمایشگاهی و تئوری و اثر پارامترهای حاکم بر عملکرد سیستم‌های هیبریدی؛

۴- بهینه‌سازی ساختار، اجزاء، اندازه، قیمت تمام‌شده و... سیستم‌های هیبریدی؛

دوگوانگ جیان^۱ و همکارانش با بررسی یک سیستم مستقل بایو دیزل، خورشیدی و بادی نشان دادند که با استفاده از سیستم بایو دیزل، خورشیدی و باتری بیشترین بهره را داشت. همچنین تحلیل اقتصادی آن‌ها نشان داد که با استفاده از سیستم‌های هیبریدی به میزان زیادی از هزینه کاسته می‌شود [۱۹]. شزان^۲ و همکارانش مقایسه‌ای بین کارایی سیستم‌های مرتبط به شبکه و سیستم‌های مستقل از شبکه انجام دادند و دریافتند در سیستم‌های مستقل از شبکه NPC^۳ و تولید گاز CO₂ به ترتیب ۲۹.۶۵ و ۱۶ تن در سال کاهش می‌یابند [۲۰]. استفاده از نرم‌افزار هومر یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای انتخاب سیستم‌های هیبریدی می‌باشد [۱۷ و ۲۱]. این نرم‌افزار بنا بر اطلاعات وارده، با انجام شبیه‌سازی‌های بسیار، بهینه‌ترین نتیجه را در اختیار طراح قرار می‌دهد. علاوه بر نرم‌افزار هومر، روش‌های دیگری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲-۲۷]. برای مثال: ملکی^۴ روش DSA را برای بهینه‌سازی مدل‌های هیبریدی خورشیدی، بادی و دیزل پیشنهاد کرده است که با مقایسه دو سناریو مطرح‌شده، به حالت بهینه در هزینه دست یافته است [۲۸]. مارتین^۵ و همکاران با تحقیق بر یک سیستم بادی، خورشیدی، بایو دیزل به همراه باتری، نشان دادند که تأمین بار مورد نیاز به مقدار زیادی توسط پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی انجام می‌شود و موتور بایو دیزل در برخی از مواقع سال که تشعشعات کافی و یا باد با سرعت مناسب وجود ندارد، به تولید الکتریسیته کمک می‌کند [۲۹]. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، نوع سوخت بایو نیز در طراحی سیستم مورد نظر و همچنین نتیجه نهایی تأثیرگذار است. ملکی و همکاران در پژوهش خود، سوخت

¹ Du Guangqian

² Shezan

³ Net Present Cost

⁴ Maleki

⁵ Martin

بایودیزل نورزاک^۱ را پیشنهاد دادند [۳۰]. جون کونگ جه^۲ و همکاران در تحقیقات خود روغن کانولا^۳ را به عنوان سوخت بایو دیزل بر اساس چگالی^۴، ویسکوزیته^۵، اکسیژن موجود بررسی کردند و سوخت B20 (با درصد ترکیب ۲۰ به ۸۰ با سوخت دیزل) را با توجه به کارایی و مقدار آلودگی حاصله از سوختن انتخاب کردند [۳۲ و ۳۱].

تحقیقات بسیاری برای طراحی و پیشنهاد سیستم‌های هیبریدی در گذشته انجام شده است که بیشتر در مورد اندازه بوده‌اند [۲۲ و ۳۳]. تکنیک‌های بهینه‌سازی گوناگونی در مجلات برای طراحی سیستم‌های قدرت ترکیبی استفاده شده است. ژاو^۶ و همکارانش، یک سیستم قدرت ترکیبی متشکل از توربین بادی و سلول خورشیدی را با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ازدحام بهینه‌سازی کردند [۳۴].

از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ژنتیک برای حداقل کردن هم‌زمان تلفات توان ناشی از انتقال و نیز هزینه اقتصادی، در [۳۵] استفاده شد. سیستم‌های ترکیبی معمولاً بر اساس کاهش هزینه اقتصادی و تولید آلودگی کمتر طراحی می‌شوند. بومسما^۷ و همکارانش چارچوبی برای ارزیابی ظرفیت و نیز هزینه‌های سرمایه‌گذاری در چارچوب زمانی، برای حالت‌های مختلف منابع انرژی تجدید پذیر ارائه نمودند [۳۶]. برخی دیگر از محققان، تکنیک‌های پیش‌پردازش و الگوریتم‌های ابداعی برای زمان‌بندی پروژه ارائه کردند و نتایج جالبی را به دست آوردند [۳۷]. یکی از پارامترهایی که قابلیت اطمینان سیستم را مشخص می‌کند، احتمال هدر رفت توان است. سیستم‌های تجدید پذیر ترکیبی مختلفی با پیکربندی‌های متفاوت، با استفاده از روش کاهش هدر رفت و حداقل کردن هزینه سالانه طراحی شده‌اند [۴۳ و ۳۸]. برخی دیگر سیستم‌های هیبریدی را بر اساس کاهش سطح هزینه

¹ Norouzak

² Jun Cong Ge

³ Canola

⁴ Density

⁵ Viscosity

⁶ Zhao

⁷ Boomsma

انرژی و یا میزان CO_2 تولیدی بهینه کردند [۴۴-۴۶].

مری^۱ و همکاران از الگوریتم ژنتیکی برای بهینه‌سازی سیستم ترکیبی باد، خورشیدی، دیزل و باتری با سه فناوری مختلف باتری استفاده کردند [۴۷]. کومار^۲ و همکاران با در نظر گرفتن محدودیت‌های اقتصادی و قابلیت اطمینان سیستم برای تأمین بار الکتریکی در منطقه جیپور^۳، راجستان^۴ (هند)^۵ از روش بهینه‌سازی ژنتیکی برای حل مشکل اندازه سیستم بادی، خورشیدی دیزل و باتری استفاده کردند [۴۸]. سین‌ها^۶ و چاندل^۷ یک بررسی در مورد شانزده نوع تکنیک بهینه‌سازی از جمله الگوریتم‌های ترکیبی مورد استفاده در تحقیق و توسعه سیستم انرژی ترکیبی مبتنی بر خورشید و باد به همراه یک روش اندازه‌گیری سیستم ترکیبی مبتنی بر افزایش قابلیت اطمینان را ارائه دادند [۴۹]. ممقانی^۸ و همکاران سیستم قدرت هیبریدی دیزل بادی دیزل خورشیدی را برای یک منطقه دورافتاده طراحی کرده‌اند [۵۰]. اکرن^۹ و اکرن^{۱۰} از الگوریتم شبیه‌سازی شده SAA^{11} برای بهینه‌سازی اندازه یک سیستم ترکیبی خورشیدی-بادی همراه با باتری استفاده کردند [۵۱].

مرجع [۵۲] پس از بررسی مقالات مختلف در زمینه سیستم‌های ترکیبی توربین بادی، سلول خورشیدی و باتری در سال ۲۰۱۵، حجم بالای تحقیقات در این زمینه را به تفکیک، به صورت نمودار دایره‌ای نشان داده‌شده در شکل (۱-۲) ارائه نمود.

¹ Merei

² Kumar

³ Jaipur

⁴ Rajasthan

⁵ India

⁶ Sinha

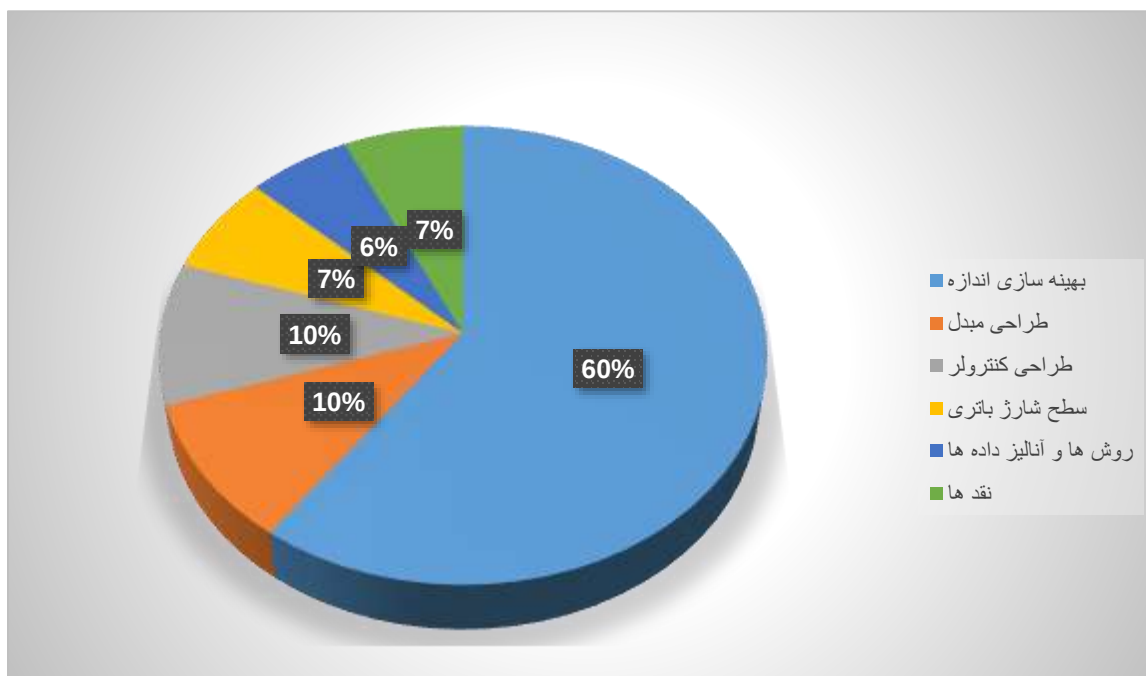
⁷ Chandel

⁸ Mamaghani

⁹ Ekrena

¹⁰ Ekren

¹¹ Singular Spectrum Analysis



شکل (۱-۲): حجم مطالعات انجام شده در زمینه سیستم‌های هیبریدی

طبق این نمودار، اهمیت مطالعات بهینه‌سازی اندازه سیستم‌های تجدید پذیر انرژی مشخص می‌شود. سیستم‌های تجدید پذیر انرژی ترکیبی، شامل اجزای مختلفی می‌باشند. روشی مناسب، برای تطابق و هماهنگی این اجزاء، چالشی بزرگ در سیستم‌های قدرت است. هماهنگی بیشتر بین این اجزاء، سبب افزایش راندمان سیستم می‌شود.

۲-۳- معرفی پژوهش حاضر

در این تحقیق یک طراحی نهایی از سیستم خورشیدی، بادی، بایو دیزل، باتری انجام شده است که برای برق‌رسانی به مناطق دورافتاده و جدا از شبکه مفید است. هدف اصلی، مینیمم کردن میزان هزینه، مقدار گازهای آلاینده ناشی از سوختن و افزایش قابلیت اطمینان است. این تحقیق با استفاده از دو نرم‌افزار متلب و هومر به دنبال آن است که سیستم هیبریدی‌ای شامل پنل‌های خورشیدی و توربین باد و موتور بایودیزل را با توجه به توابع هدف ابتدا مدل‌سازی و سپس بهینه‌سازی کند. در این حالت، با توجه به میزان بار موردنیاز برای تأمین، شرایط بومی مانند تشعشعات و یا سرعت باد باید دید که بهینه‌ترین سیستم شامل چه اجزایی خواهد بود.

در مقایسه با مقالات و تحقیقات پیشین، این تحقیق به دنبال: (۱) تولید الکتریسیته و اثرات زیست‌محیطی ناشی از سیستم‌های هیبریدی خورشیدی، بادی و بایو دیزل برای مناطق دورافتاده (۲) رفع مشکلات تکنیکی در شبیه‌سازی و کد نویسی مانند ساینز سیستم هیبریدی برای تأمین الکتریسیته موردنیاز (۳) استفاده از الگوریتم MOPSO با توجه به چندهدفه بودن این تحقیق.

فصل سوم

مدل سازی و معادلات حاکم

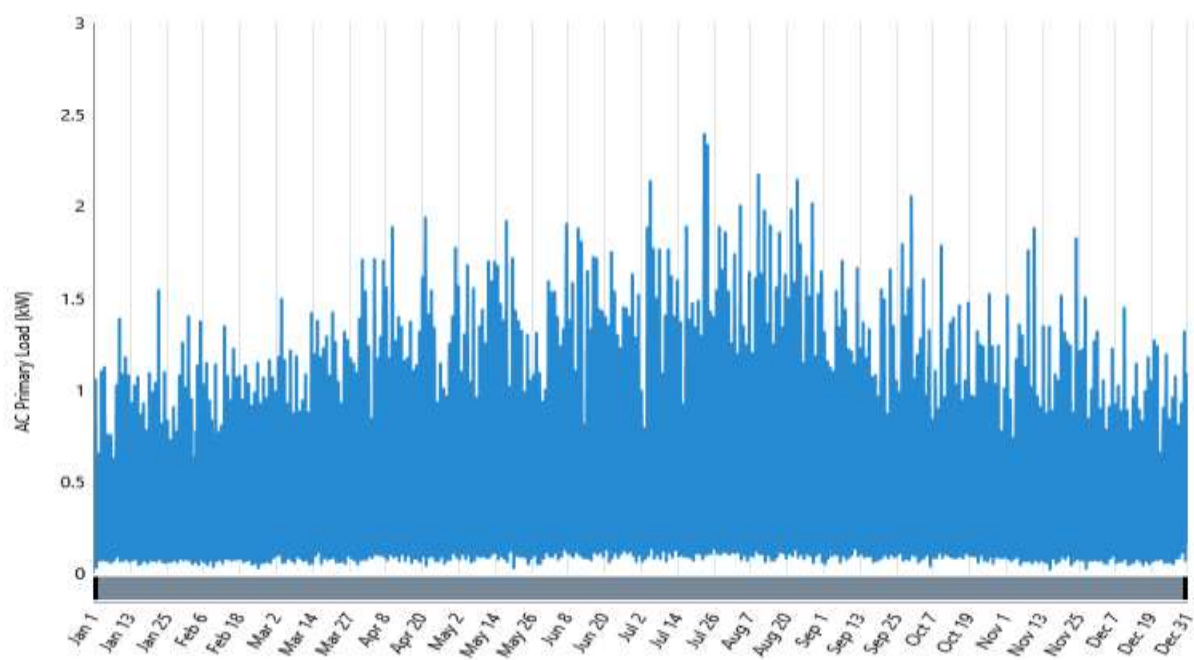
۳-۱- مقدمه

برای انجام مدل سازی سیستم، نیاز به اطلاعاتی مانند میزان تشعشعات، پروفایل باد، دما، قیمت سوخت می باشد که این اطلاعات به صورت روزانه، ماهانه و سالانه از NASA surface meteorology and solar energy به دست آمده اند. مدل سازی موجود، برای منطقه ده ملاً واقع در شهر شاهرود با مختصات جغرافیایی $54^{\circ}77.3'E$ و $36^{\circ}28.4'N$ می باشد شکل ۱. این منطقه با جاده آسفالت ۳۰۰ متر فاصله دارد. فاصله از شبکه ۶۸۰ متر و فاصله از پست ۷.۲۸ کیلومتر می باشد.

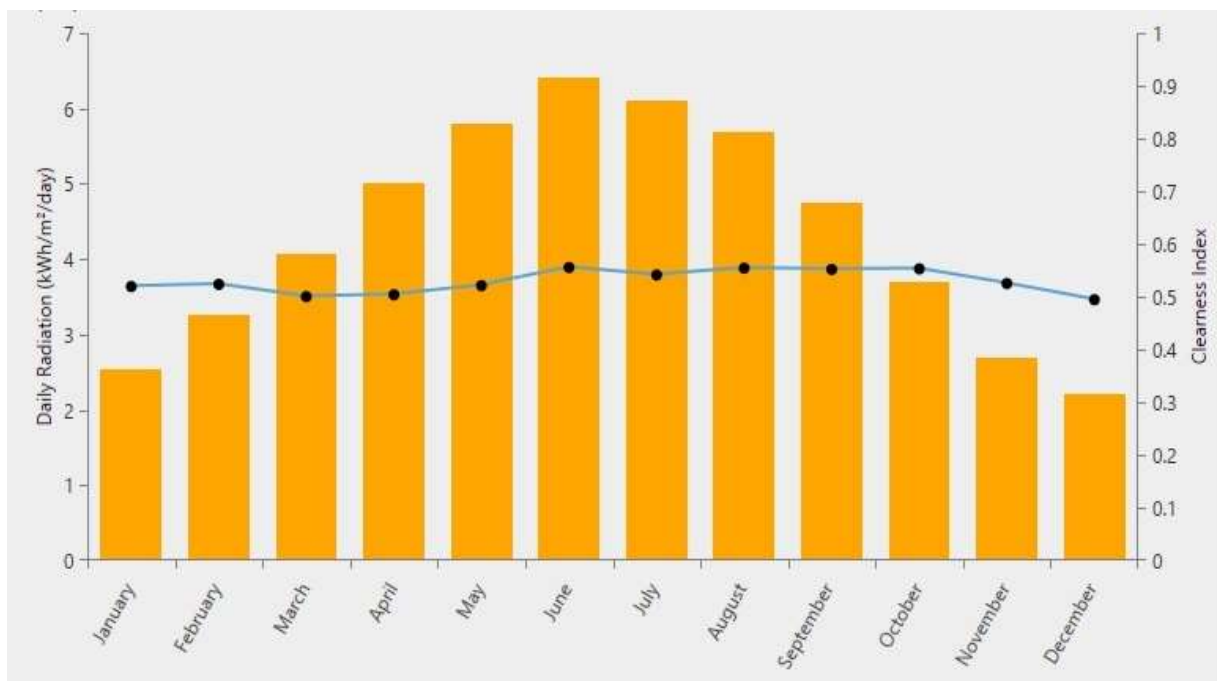
میزان تشعشع در این منطقه 1780 kwh/kwp و ظرفیت تخمینی انرژی قابل استحصال خورشیدی ۱۵۰ مگاوات می باشد. اطلاعات حاصله نشان می دهد که بار مورد نیاز در حالت اوج مصرف ۲.۳۹ کیلووات می باشد؛ که پروفایل ماهانه آن در شکل (۳-۲) آمده است. میزان تشعشعات و دما به صورت روزانه به ترتیب در شکل های (۳-۳) و (۳-۵) و پروفایل سرعت باد در شکل (۳-۴) نشان داده شده اند. قابل ذکر است که سرعت باد منطقه با میانگین ۴.۳ تا ۵.۶ متر بر ثانیه در کلاس بادی ۱ قرار می گیرد جدول (۳-۱).



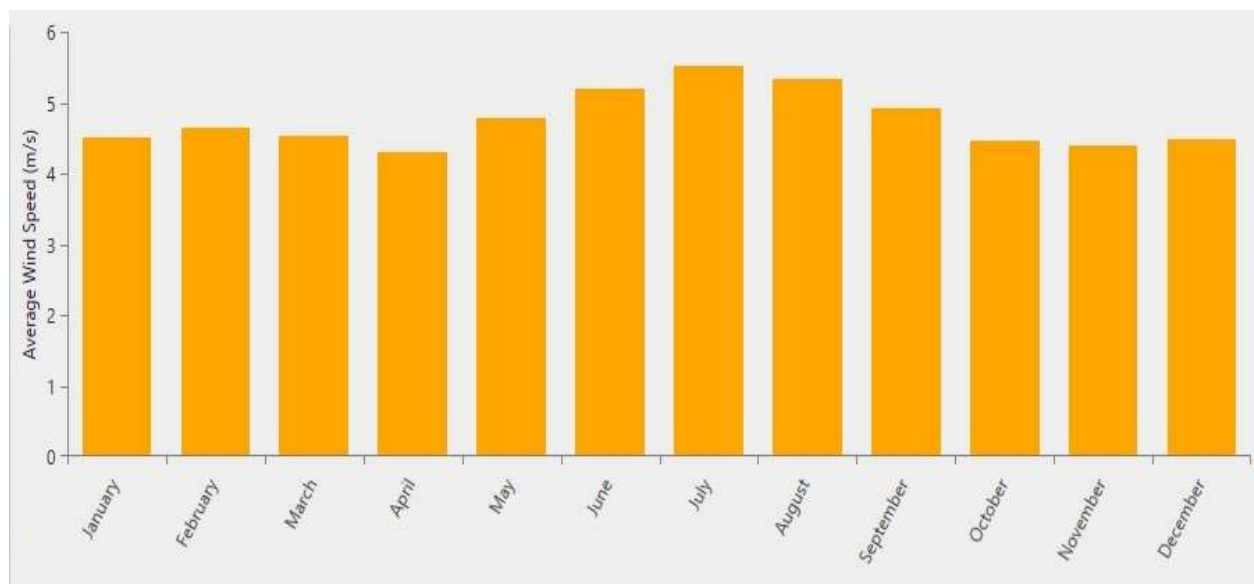
شکل (۳-۱): موقعیت منطقه ده ملاً



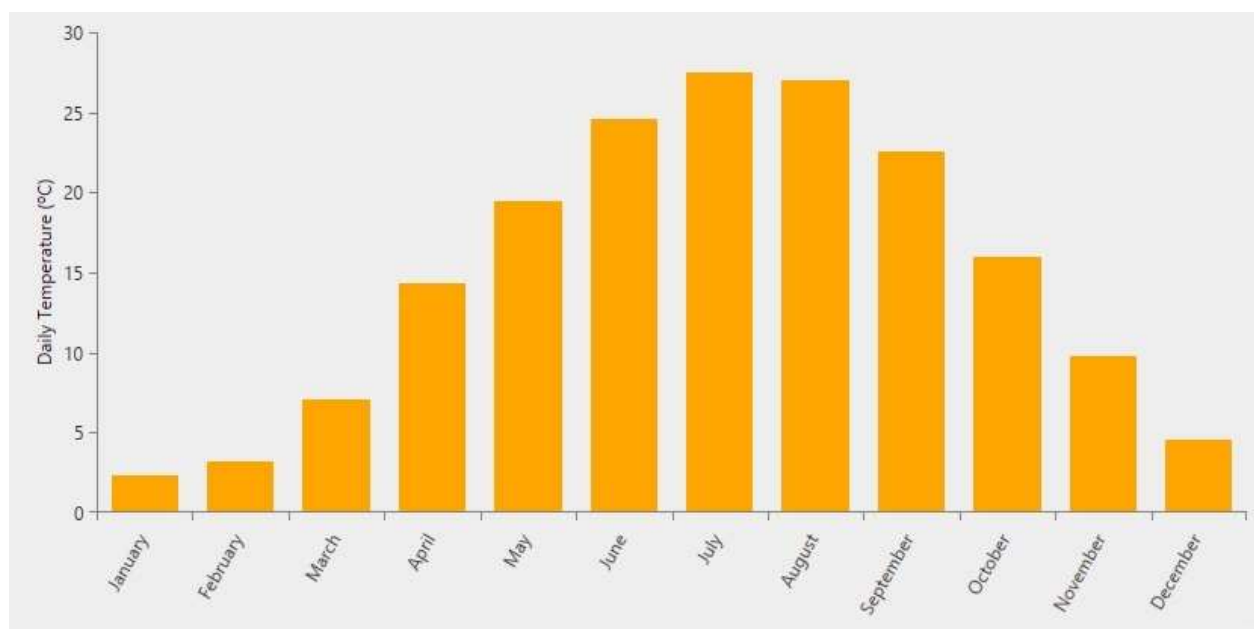
شکل (۳-۲): بار مورد نیاز ماهانه



شکل (۳-۳): میزان تشعشعات روزانه در ماه‌های سال



شکل (۳-۴): میانگین سرعت باد



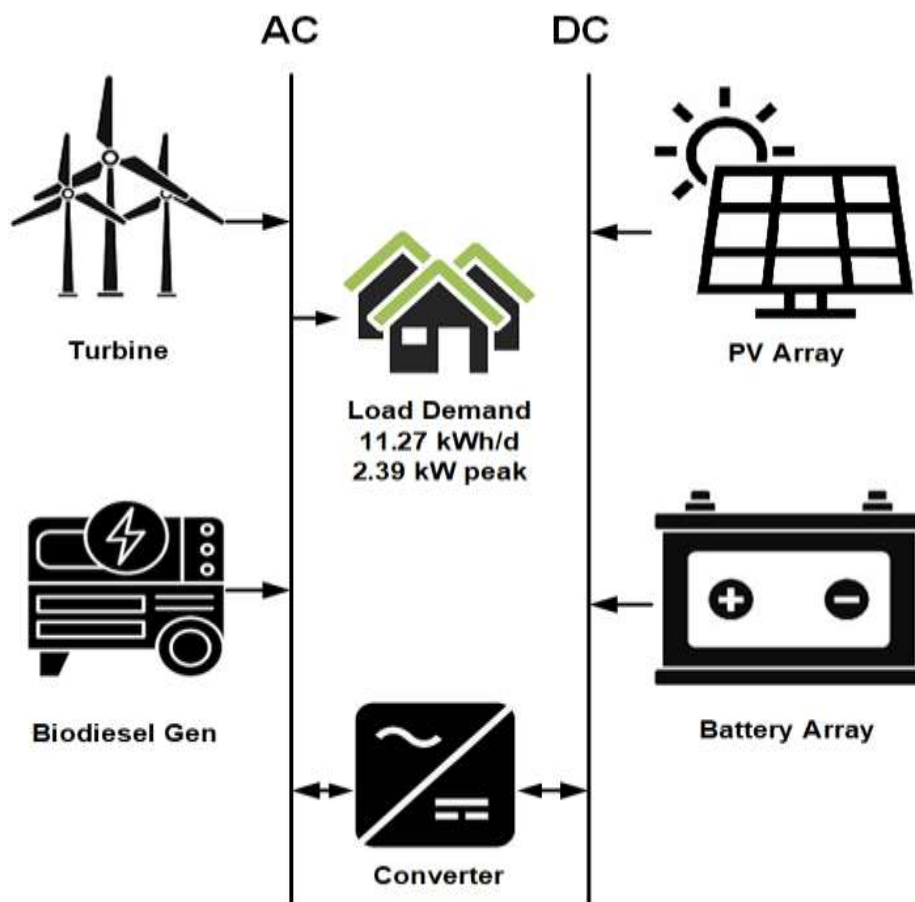
شکل (۳-۵): میزان دمای روزانه در ماه‌های سال

جدول (۳-۱): کلاس بندی بادها با توجه به سرعت

کلاس بادی	m/s	Km/h	Mph
۱	<۵,۶	<۱,۵	<۰,۹
۲	۵,۶-۶,۴	۱,۵-۱,۷	۰,۹-۱
۳	۶,۴-۷	۱,۷-۱,۹	۱-۱,۲
۴	۷-۷,۵	۱,۹-۲,۱	۱,۲-۱,۳
۵	۷,۵-۸	۲,۱-۲,۲	۱,۳-۱,۴
۶	۸-۸,۸	۲,۲-۲,۴	۱,۴-۱,۵

۳-۲- اجزای مدل

در مدل سازی انجام شده، این سیستم هیبرید، شامل بایو دیزل، پنل خورشیدی، توربین بادی، باتری و مبدل است که شماتیک آن در شکل (۳-۶) نشان داده شده است. این سیستم هیبریدی تولید انرژی برای مناطق دورافتاده و با توجه به اطلاعات به دست آمده از منطقه طراحی شده است. سیستم خورشیدی انتخاب شده با توجه به تشعشعات خورشیدی و میزان بار مورد نیاز برای منطقه بوده است. توربین بادی انتخاب شده با در نظر گرفتن میانگین سرعت باد، ارتفاع منطقه و شرایط بومی بوده است. این سیستم هیبریدی برای تأمین بار مورد نیاز یک منطقه جدا از شبکه، به طوری که قابل اطمینان و امکان پذیر باشد طراحی شده است.



شکل (۳-۶): شماتیک مدل پیشنهادی

۳-۲-۱- ژنراتور:

سوخت بایودیزل یا گازوئیل زیستی، یک سوخت گازوئیلی پاک است که منشأ بیولوژیکی دارد و از منابع طبیعی و قابل تجدید مانند روغن‌های پسماند خوراکی تولید می‌شود. بایودیزل درست مانند گازوئیل نفتی عمل می‌کند. بایودیزل که ممکن است از روغن‌های آلی و چربی‌ها تولید شده باشد را می‌توان به راحتی با سوخت دیزل مخلوط و در خودروهای دیزلی استفاده کرد. قابلیت حمل و نقل، تجدید پذیری، بازده احتراق بالاتر، محتوای گوگرد و آروماتیک پایین‌تر، عدد ستان بالاتر، روان کاری ذاتی و بهتر، تجزیه پذیری بیشتر در محیط زیست و نقطه اشتعال

بالتر را می‌توان به‌عنوان مزیت‌های سوخت بیودیزل نام برد. در نقطه مقابل بالتر بودن ویسکوزیته، پایین‌تر بودن محتوای انرژی، پایداری کم در مقابل اکسیداسیون، نقطه ریزش و ابری شدن بالتر، تولید آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن بیشتر، سرعت و توان کمتر موتور و قیمت و خوردگی بالتر به‌عنوان معایب سوخت بیودیزل شناخته می‌شود. برای سیستم موردنظر، یک ژنراتور با هزینه راه‌اندازی ۵۰۰ دلار، هزینه تعویض ۵۰۰ دلار و همچنین هزینه تعمیر و نگهداری ۰.۰۳ دلار به ازای هر ساعت با طول عمر ۱۵۰۰۰ ساعت استفاده شده است.

جدول (۳-۲): مشخصات ژنراتور

حجم موتور (CC)	اندازه (kW)	نرخ بار مینیمم (%)	هزینه تعویض (\$)	O&M (\$/h)	هزینه راه‌اندازی (\$)
۵۰۰	۴.۶	۳۵	۵۰۰	۰.۰۳	۵۰۰
ژنراتور					

پروفایل مصرف سوخت به ازای تولید توان این ژنراتور دیزل به‌صورت شکل (۳-۷) می‌باشد. مقدار مصرف

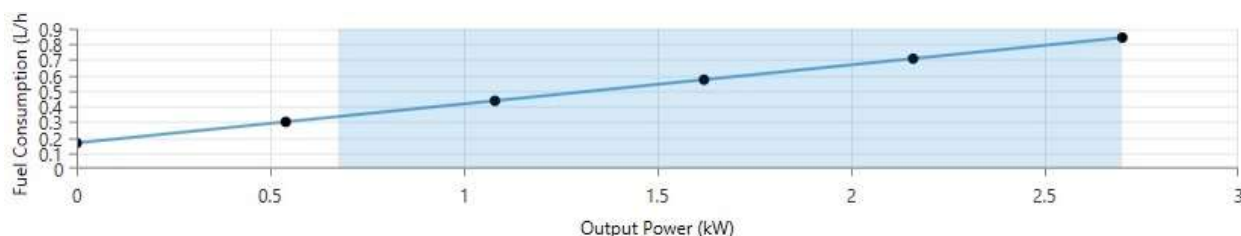
سوخت F_{BDG} (لیتر بر ساعت) نیز وابسته به مقدار توان خروجی می‌باشد که به شکل زیر است:

$$F_{BDG} = 1.02 (B_{BD}P_{R-BDG} + A_{BD}P_{BDG}) \quad (۱)$$

که P_{R-BDG} و P_{BDG} به ترتیب توان خروجی و نرخ توان می‌باشند. $B_{BD}=0.09145$ لیتر بر کیلووات ساعت و $A_{BD}=0.264$ لیتر بر کیلووات ساعت که ضرایب بردار مصرف می‌باشند [۵۳]. هزینه مصرف سوخت بیودیزل در هر ساعت نیز به‌صورت زیر است:

$$C_{BF} = P_{bf}F_{BDG} \quad (۲)$$

که P_{bf} هزینه سوخت می باشد. تحقیقات پیشین نشان داده اند که با مصرف سوخت بایو، مقدار سوخت مصرفی افزایش می یابد [۵۵ و ۵۴]. در این تحقیق میزان افزایش سوخت مصرفی، برای سوخت انتخاب شده BD20، ۲ درصد در نظر گرفته شده است [۵۶].



شکل (۳-۷): پروفایل مصرف سوخت به ازای تولید توان

همچنین میزان گازهای خروجی این ژنراتور به ازای هر گرم بر لیتر به این صورت است: مونوکسید کربن: ۱۶.۵ و اکسیدهای نیتروژن ۱۵.۵. سوخت بایو بکار رفته در این سیستم نیز روغن کانولا می باشد که با توجه به ظرفیت های بومی منطقی ترین گزینه مدنظر است که به صورت میکس ۲۰ درصد با سوخت دیزل بانام BD20 شناخته می شود و مشخصات آن در جدول (۳-۳) آمده است.

جدول (۳-۳): مشخصات سوخت بایودیزل

مشخصات	BD20
چگالی 15°C (kg/m^3)	۸۴۶
ویسکوزیته 40°C (mm^2/s)	۲.۹۹۱
ارزش گرمایی (MJ/kg)	۴۲.۷۱
% کربن	۸۳.۶۴
% سولفور	۰.۰۵
قیمت \$/L	۰.۹

۳-۲-۲- پنل خورشیدی:

گرفتن انرژی برق از خورشید به وسیله سلول های خورشیدی انجام می شود و تبدیل مستقیم نور خورشید به برق با استفاده از سلول های خورشیدی، روش خورشیدی نام دارد. سلول های خورشیدی نیز اغلب سلول های خورشیدی نامیده می شوند. مبانی اصلی در اینجا، اثر فوتوالکتریک است که برای اولین بار توسط دانشمند شهیر آلبرت اینشتین بیان شده است که نور سبب می شود الکترون ها از ماده رها شوند. سلول خورشیدی نوعی نیمه هادی جامد است که در صورت تحریک با فوتون ها، الکتریسیته DC^1 تولید می کند. آن ها خواص الکترونیکی متفاوتی دارند که سبب پیدایش میدان های الکتریکی قوی درون آن ها می شود. خصوصیت سیستم خورشیدی نسبت به روش های دیگر این است که می تواند در اندازه های بسیار کوچک تا نیروگاه های بسیار بزرگ ساخته شود و نیاز مصرف کننده را برطرف نماید.

جدول (۳-۴): مشخصات پنل خورشیدی

طول عمر (y)	بازده (%)	اندازه (kW)	هزینه تعویض (\$/kW)	O&M (\$/kW)	هزینه اولیه (\$/kW)
۳۰	۱۹,۳	۱	۲۲۰۰	۱۰	۲۵۰۰
پنل					

مقدار توان خروجی پنل P_{PV} در زمان t با مساحت APV برای تشعشعات خورشیدی بر روی پنل شیب دار R_t بر حسب وات بر مترمربع در مراجع آمده است [۵۸ و ۵۹]:

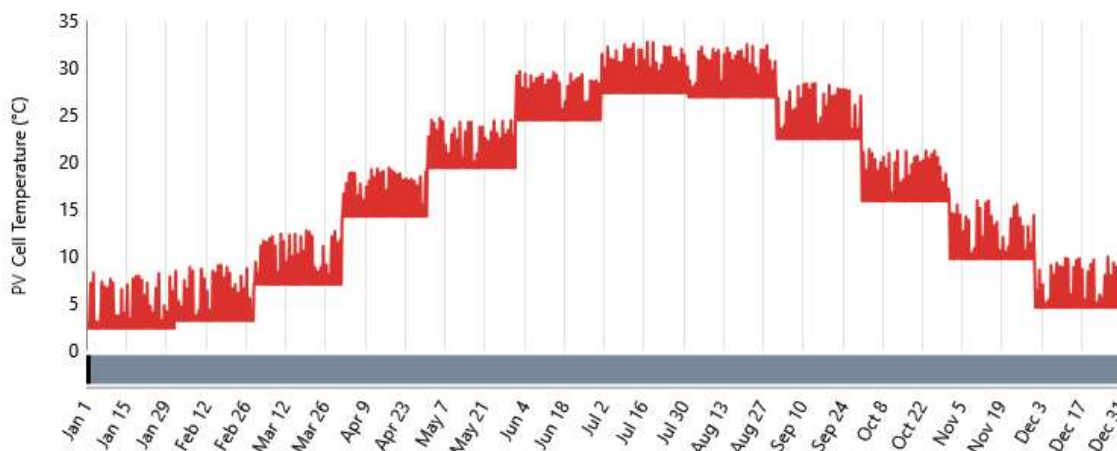
$$P_{PV}(T) = R_t \eta_{PV} A_{PV} \quad (۳)$$

که η_{PV} بازده پنل را نشان می دهد و از رابطه زیر به دست می آید:

$$[1 - N_T (T_c - T_{ref})] \eta_{PV} = \eta_{r-PV} \eta_{pc} \quad (۴)$$

¹ Direct Current

که η_{pc} بازده قدرت و η_{r-pv} بازده مرجع سلول خورشیدی است و T_{ref} دمای سلول خورشیدی در حالت مرجع است (عموماً ۲۵ درجه سانتی گراد)، N_T نیز ضریب درجه حرارت بازده پنل خورشیدی است ($-3.7 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ برای سلول‌های مونو کریستال) [۶۰]. بازده این پنل نیز ۱۷.۳ درصد می‌باشد که در این طراحی، تأثیرات دما نیز لحاظ شده است. T_c و بازده پنل باهم رابطه معکوس دارند که T_c در رابطه ۵ مشخص است [۶۱]. تغییرات دمای محیط به صورت ماهیانه در شکل (۸-۳).



شکل (۸-۳): تغییرات دمای محیط به صورت ماهیانه

$$T_c = T_A + \left[\frac{NOCT - 20}{800} \right] R_t \quad (۵)$$

که NOCT دمای اسمی عملکرد سلول (در اینجا ۴۳ درجه سانتی گراد) و T_A نیز دمای محیطی می‌باشد..

۳-۲-۳- توربین بادی:

باد، در اثر گرم شدن حرارتی زمین به وسیله خورشید به وجود می آید. هراندازه پرتوهای خورشید نسبت به سطح زمین عمودی تر باشد، میزان جذب انرژی زمین بیشتر خواهد بود؛ بنابراین مقدار انرژی که در منطقه استوایی جذب می شود، نسبت به قطب ها بیشتر است.

در این مدل سازی توربین بادی عمودی با خروجی AC انتخاب شده است. مقدار توان خروجی توربین از رابطه زیر به دست می آید [۶۲ و ۶۳]:

$$P_{WT}(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } WS(t) \leq WS_I \\ a \times WS^3(t) - b \times P_r & \text{if } WS_I < WS(t) < WS_R \\ P_r & \text{if } WS_R \leq WS(t) < WS_O \\ 0 & \text{if } WS(t) \geq WS_O \end{cases} \quad (۶)$$

پارامترهای a و b هم این گونه به دست می آیند:

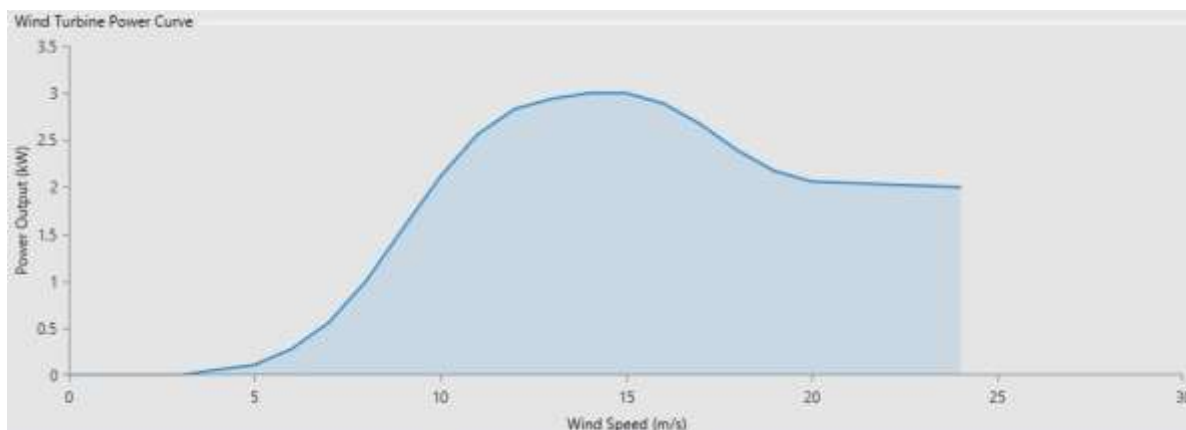
$$\begin{cases} a = P_r / (WS_R^3 - WS_I^3) \\ b = WS_I^3 / (WS_R^3 - WS_I^3) \end{cases} \quad (۷)$$

که WS سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و WS_I سرعت cut-in برابر با ۲ متر بر ثانیه و WS_O سرعت cut-out برابر با ۵۰ متر بر ثانیه و WS_R نرخ سرعت و P_r قدرت اسمی می باشند.

توربین مورد استفاده به ارتفاع ۱۷ متر با هزینه راه اندازی ۱۸۰۰۰ دلار، هزینه تعویض ۱۵۰۰ دلار و همچنین هزینه تعمیر و نگهداری ۱۵۰ دلار در هر سال با طول عمر ۲۰ سال می باشد که بازده η_{WT} آن به شکل زیر است:

$$P_r = \frac{1}{2} A_{WT} \cdot C_p \cdot \rho_a \cdot \eta_r \cdot \eta_{WT} \cdot V_r^3 \quad (۸)$$

که P_r نرخ توان توربین، A_{WT} سطح تیغه ها، ρ_a چگالی هوا، C_p ضریب قدرت و η_r ضریب تخریب می باشند. در شکل شماره (۹-۳) پروفایل توان خروجی نسب به سرعت باد قابل مشاهده است.



شکل (۳-۹): توان خروجی توربین.

جدول (۳-۵): مشخصات توربین باد

ارتفاع (m)	طول عمر (y)	اندازه (kW)	هزینه تعویض (\$)	O&M (\$/y)	هزینه راه اندازی (\$)
۱۷	۲۰	۳	۱۵۰۰۰	۱۵۰	۱۸۰۰۰
توربین					

۳-۲-۴- باتری:

چون تولید انرژی برای مصرف باید متناوب و بدون قطع باشد و در سناریویی که هم ژنراتور، پنل خورشیدی و توربین بادی از چرخه تولید خارج می شوند، باید یک باتری به عنوان عضو ذخیره ساز مدنظر قرار گیرد. به همین منظور، باتری با ولتاژ ۵ و ظرفیت ذخیره ۱ کیلووات و بازده ۹۵ درصد و عمق شارژ ۵۰ درصد با خاصیت شیمیایی لیتیوم انتخاب شده است [۶۴].

جدول (۳-۶): مشخصات باتری

نوع	DOD (%)	بازده (%)	طول عمر (y)	اندازه (kW)	هزینه تعویض (\$)	O&M (\$/y)	هزینه اولیه (\$)
LFP	۵۰	۹۵	۲۰	۱	۶۰۰	۱۵	۶۵۰
باتری							

دلیل انتخاب باتری لیتیومی، بازده بالا و طول عمر بالاتر نسبت به دیگر باتری‌ها می‌باشد که در شکل (۱۰-۳) نشان داده شده است. با توجه به زمان مصرف و مقدار الکتریسیته تولیدی، فرمول شارژ باتری قابل نوشتن است. هنگامی که $E_G(t) \geq \frac{ED_I(t)}{\eta_{inv}}$ باشد، باتری در حالت شارژ کردن است و مقدار شارژ ذخیره شده در زمان t به صورت زیر است:

$$SOC(t) = SOC(t-1) \cdot (1 - \beta) + P_{surp} \times \eta_{btc} \quad (9)$$

اما در زمانی که $E_G(t) \leq \frac{ED_I(t)}{\eta_{inv}}$ باشد، باتری در حالت ازدست دادن شارژ است و مقدار شارژ ذخیره شده در زمان t به صورت زیر است:

$$SOC(t) = SOC(t-1) \cdot (1 - \beta) - P_{def} \quad (10)$$

که $SOC(t)$ و $SOC(t-1)$ سطوح شارژ باتری در زمان t و $t-1$ ، $ED_I(t)$ انرژی موردنیاز در زمان مشخص، $E_G(t)$ انرژی تولیدشده توسط توربین باد و پنل خورشیدی، η_{inv} بازده مبدل، β نرخ کاهش شارژ در هر ساعت، η_{btc} بازده کاهش شارژ و P_{def} نیز از رابطه ۲۴ مقدار P_{surp} که به عنوان توان مازاد تولیدشده شناخته می‌شود از رابطه زیر:

$$P_{surp} = E_G(t) - \frac{ED_I(t)}{\eta_{inv}} \quad (11)$$

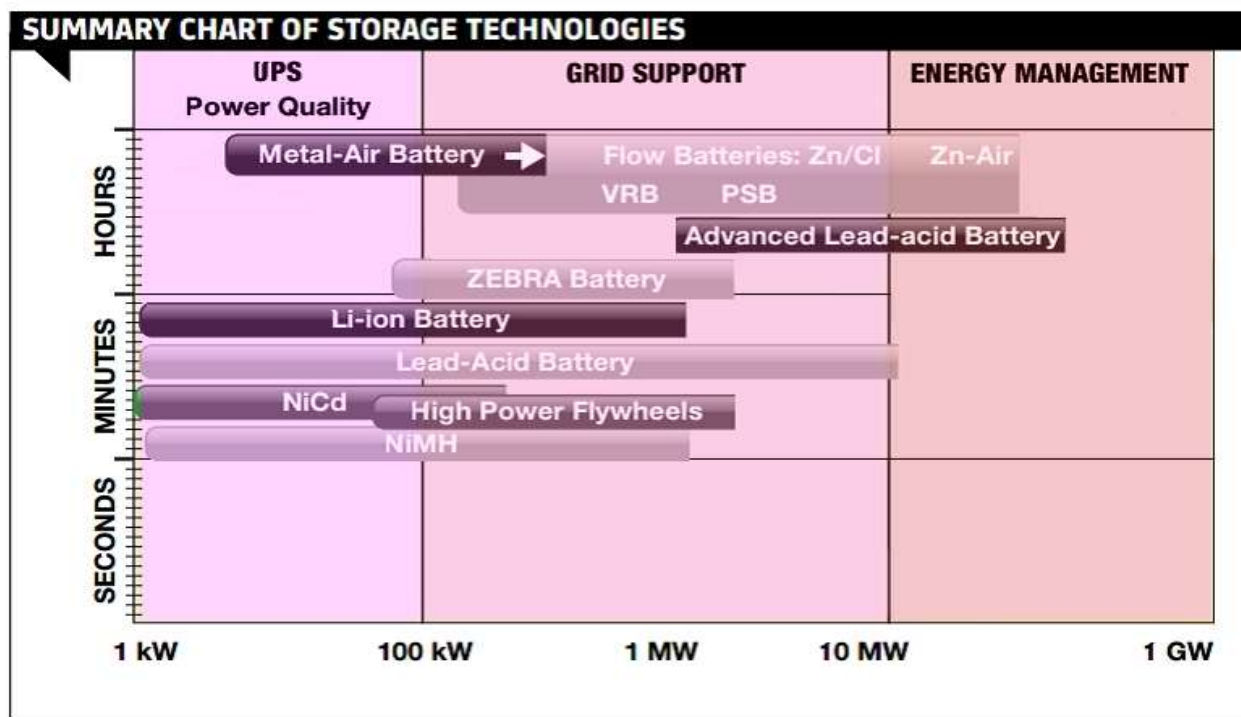
مقدار ظرفیت شارژ در هر ساعت نیز در روابط ۱۲ تا ۱۴ آمده‌اند:

$$SOC_{min}(t) \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (12)$$

$$SOC_{max} = 100\% \cdot C_{cap} \quad (13)$$

$$SOC_{min} = SOC_{max}(1 - DOD) \quad (14)$$

که SOC_{min} کمترین فضای شارژ، SOC_{max} بیشترین فضای شارژ، C_{cap} فضای شارژ اسمی و DOD^1 عمق شارژ می‌باشند. همچنین این باتری دارای هزینه اولیه ۶۵۰ دلار، هزینه تعویض ۶۰۰ دلار و تعمیر و نگهداری ۱۵ دلار در سال است.



شکل (۳-۱۰): مقایسه انواع باتری‌ها

۳-۲-۵- مبدل:

به علت اینکه بعضی اجزای این مدل‌سازی، دارای خروجی AC^2 می‌باشند، برای ایجاد یک رابطه بین جریان‌های تولیدی و باتری، نیاز به یک مبدل می‌باشد. مبدل پیشنهادی با هزینه اولیه ۷۵۰ دلار، هزینه تعویض ۷۰۰ دلار است که در این مدل‌سازی، هزینه تعمیرات و نگهداری در طول بازه طول عمر ۱۰ ساله، صفر در نظر گرفته شده

¹ Depth of Discharge

² Alternating Current

است (به علت ناچیز بودن). همچنین بازده ورودی این مبدل ۹۵ درصد می‌باشد. فرمول توان ورودی مبدل P_{inv} نیز از رابطه زیر:

$$P_{inv}(t) = \frac{ED_I(t)}{\eta_{inv}} \quad (15)$$

جدول (۷-۳): مشخصات مبدل

طول	هزینه تعویض	O&M	هزینه اولیه	اندازه (kW)	بازده (%)	عمر (y)
	(\$)	(\$/h)	(\$)			
مبدل	۷۰۰	۰	۷۵۰	۱	۹۵	۲۰

۳-۳- نفوذپذیری انرژی تجدید پذیر:

نفوذپذیری انرژی تجدید پذیر یا مقدار نفوذ انرژی سیستم، برابر است با نسبت انرژی تولیدشده از منابع تجدید پذیر به کل انرژی تولیدی در سیستم‌های تولید الکتریسیته. برای مشخص کردن میزان نفوذ این انرژی، مقدار آن به چهار دسته کلی تقسیم‌بندی شده است:

نفوذپذیری بسیار کم:

در این نوع سیستم، انرژی‌های تجدید پذیر مانند بادی، خورشیدی یا زیست‌توده سهم خاص و چندانی در تولید انرژی یا الکتریسیته ندارند. به همین دلیل هیچ مکانیزم کنترلی و یا تبدیلی نیز مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. نفوذپذیری کم:

در این نوع سیستم، وجود انرژی‌های تجدید پذیر و همچنین مکانیزم‌های کنترلی و مبردها برای دستیابی به انرژی و یا بار مورد نظر ضروری است. البته این ضرورت برای تأمین بار در کمترین حالت خود است و مقدار انرژی تولیدی از منابع تجدید پذیر همیشه به مقداری است که مینیمم نیاز تأمین شود.

نفوذپذیری متوسط:

در این نوع سیستم‌ها، به دلیل نقش پررنگ منابع تجدید پذیر، به راحتی می‌توان از استفاده از سوخت‌های فسیلی چشم‌پوشی کرد و یا از آن‌ها به عنوان سیستم کمکی استفاده کرد. این چشم‌پوشی از استفاده منابع فسیلی، باعث کم کردن ساعات کارکرد می‌شود که خود باعث کم شدن هزینه‌هایی چون: تعمیرات و نگهداری، خرید سوخت، حمل و نقل سوخت می‌شود.

نفوذپذیری بالا:

این نوع سیستم، شباهت بسیار زیادی با سیستم‌ها با نفوذپذیری متوسط دارد. فرق عمده این سیستم، استفاده از منابع ذخیره‌ساز و باتری‌ها است. به علت درجه نفوذپذیری بسیار بالا و همچنین تولید بسیار بالا، این سیستم‌ها اغلب دارای انرژی تولیدشده مازاد می‌باشند. به همین علت با استفاده از باتری‌ها و استفاده از انرژی ذخیره‌شده در آن‌ها، هنگامی که منابع تجدید پذیر قادر به تأمین توان موردنیاز نیستند، حتی می‌توان به طور کامل از سیستم‌های سوخت فسیلی (حتی به صورت کمکی) چشم‌پوشی کرد.

۳-۴- بهینه‌سازی و حساسیت سنجی

برای یافتن بهترین حالت و نتیجه، با توجه به اطلاعات داده‌شده، عمل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی با توجه به بالانس انرژی انجام می‌گیرد. در این بهینه‌سازی، مقادیر و توابع بسیاری موردنظر قرار می‌گیرند. برای مثال: قابلیت اطمینان که با توابع مخالفی چون Capacity Shortage و یا ^۱LPSP معرفی می‌شود، بیانگر میزان کمبود نیروی تولیدی در مقاطعی از سال است. همچنین کم کردن و کوچک کردن اندازه هر یک از اجزای سیستم طراحی‌شده، یکی دیگر از توابع مدنظر است که این کار باعث کاهش در هزینه‌ها، برای ایجاد یک خروجی مطمئن برای رفع نیاز می‌باشد. دیگر تابع هدف مدنظر، میزان گازهای آلاینده می‌باشند که سیستم بهینه، به دنبال مینیمم کردن مقدار آن‌ها می‌باشد.

۳-۴-۱- متغیرهای حساسیت:

قسمت اقتصادی سیستم و همچنین بهینه‌سازی نتایج، به‌صورت ملموسی تحت تأثیر توابعی چون: هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری، هزینه سوخت و... است. برای درک بهتر این قضیه و چگونگی تأثیر این پارامترها بر نتیجه بهینه‌سازی، تحلیل حساسیت انجام گرفت. این تحلیل، شامل مدنظر قرار گرفتن تعداد متفاوت از پنل‌های خورشیدی، قیمت پنل خورشیدی، قیمت موتور، قیمت باتری‌ها و قیمت مبدل و قیمت سوخت است که در جدول شماره (۸-۳) نمایش داده‌شده است.

¹ Loss of Power Supply Probability

جدول (۳-۸): مقادیر متغیرهای حساسیت

مقادیر حساسیت	نوع	اندازه
قیمت سوخت دیزل (\$/L)		۰.۶ الی ۱.۴
قیمت بایودیزل (\$/L)		۰.۲ الی ۰.۷
باتری	Lead Acid, LFP, Ni-Fe	
Capacity Shortage یا LPSP (%)		۳ الی ۱۰
قیمت موتور		۸۰ درصد الی ۱۲۰ درصد
قیمت باتری		۸۰ درصد الی ۱۲۰ درصد
قیمت PV		۸۰ درصد الی ۱۲۰ درصد
نرخ سود		۱۲ درصد تا ۱۵ درصد

مقادیر دیگری که برای تعیین NPC^1 موردنظر گرفته شده‌اند، طول عمر سیستم است که در این شبیه‌سازی طول عمر ۲۰ سال انتخاب شده است. همچنین نرخ سود ۱۲٪ و نرخ تورم ۱۰٪ اعمال شده است [۶۵].

اعمال شدن این موارد برای هریک از اجزا بدین منظور است تا بتوان یک NPC دقیق و مطمئن برای سیستم پیشنهادی به دست آید.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، مقدار Capacity Shortage یکی از توابع مهم در شبیه‌سازی می‌باشد. با در نظر گرفتن مقدار عددی ۳ درصد و قراردادن آن در تحلیل حساسیت، تأثیرات این پارامتر مهم در NPC و همچنین $LCOE^2$ قابل مشاهده است. برای نشان دادن بهتر تأثیر این پارامتر، مقادیر ۳ تا ۱۰ احتساب شده‌اند.

پس از انجام تمامی تحلیل حساسیت‌ها، نتایج به‌دست‌آمده در بخش نتایج تحلیل و بررسی می‌شوند.

¹ Net Present Cost² Levelized Cost of Energy

۳-۴-۲- مدل سازی اقتصادی

در این بخش مدل سازی اقتصادی سیستم هیبریدی پیشنهادی با توجه به مفاهیمی چون NPC و LCOE انجام گرفته است که در روابط ۱۶ تا ۱۹ آمده اند [۶۶]:

$$LCOE = \frac{NPV \times CRF}{E_{load}} \quad (16)$$

$$CRF = \frac{i(1+I_{real})^{R_{proj}}}{(1+I_{real})^{R_{proj}} - 1} \quad (17)$$

I_{real} از طریق فرمول فیشر به دست می آید [۶۷] و CRF^1 معرف فاکتور بازگشت سرمایه است.

$$I_{real} = \frac{i + I_f}{1 + I_f} \quad (18)$$

همچنین NPC نیز از رابطه زیر به دست می آید [۶۸]:

$$NPC = N_{PV}C_{PV} + N_{Tr}C_{Tr} + N_{gen}C_{bio} + N_{Batt}C_{Batt} + N_{conv}C_{conv} \quad (19)$$

که C_{PV} و C_{Tr} و C_{bio} و C_{Batt} و C_{conv} به ترتیب هزینه سلول خورشیدی، توربین باد، ژنراتور، باتری و مبدل می باشند و از رابطه زیر به دست می آیند که مقدار هزینه هریک از اجزا در شکل شماره ۱۰ آمده است.

$$C_c = C_C + C_R + C_{O\&M} + C_F - S \quad (20)$$

که S قیمت فروش هر جز به صورت اسقاط می باشد.

۳-۴-۳- مدیریت توان تولیدی

اندازه سیستم های هیبرید عموماً با توجه به دو شاخص LPSP و EXC^2 انجام می پذیرد که فلوچارت مدیریت توان پیشنهادی این تحقیق در شکل (۱۱-۳) نشان داده شده است. این دو پارامتر به ترتیب معرف ارزیابی قابلیت اطمینان و مقدار انرژی تلف شده می باشند. مقدار LPSP به شکل روبه رو بیان می گردد $0 \leq LPSP \leq 1$ که

¹ Capital Recovery Factor

² Excess Energy

وقتی تقاضای بار به اندازه کافی تأمین می‌شود $LPSP=0$ و هنگامی که بار مورد نیاز تأمین نشود $LPSP=1$ [۶۹]. همان‌طور که گفته شد، EXC مقدار انرژی تلف شده از منابع تجدید پذیر: خورشیدی، بادی و بایو دیزل می‌باشد که $0 \leq EXC \leq 1$ [۷۰]. این مقدار در بدترین حالت ممکن (بیشترین اتلاف انرژی) نزدیک به عدد یک و در بهترین حالت ممکن، صفر می‌باشد. با توجه به اینکه این تحقیق به دنبال بهینه کردن سیستم هیبریدی پیشنهادی می‌باشد، مقادیر EXC و $LPSP$ باید مینیمم شوند.

رویه پیشنهادی مدیریت توان تولید شده در این تحقیق با توجه به وجود سیستم ذخیره (باتری) به این صورت است که بار اضافی تولید شده، برای استفاده در زمان نیاز، در باتری ذخیره شود که این رویه در زیر آمده است:

در زمان $t=1$ باتری کامل شارژ است. مجموع توان تولیدی منابع تجدید پذیر به شکل زیر است:

$$E_G(t) = P_{pv} + P_{wt} + P_{bdg} / \eta_{inv} \quad (21)$$

با توجه به طراحی سیستم و شبکه مصرفی، ۳ حالت برای مدیریت توان تولیدی ایجاد می‌شود [۷۱]:

۱- اضافه تولید:

اگر $E_G(t) > P_{inv}(t)$ آنگاه توان مازاد (P_{surp}) باتری را شارژ می‌کند که ظرفیت ذخیره سازی جدید از رابطه ۱۰ است و P_{surp} نیز از رابطه ۱۱. اگر سطح شارژ باتری به حالت ماکسیمم خود برسد، باقی مانده توان اضافی به عنوان انرژی هدررفته (WE) در نظر گرفته می‌شود که از رابطه زیر است:

$$WE(t) = P_{surp}(t) - (SOC_{max} - SOC(t-1)) \quad (22)$$

۲- تولید به اندازه مصرف:

اگر $E_G(t) = P_{inv}(t)$ آنگاه ظرفیت باتری دست نخورده باقی می‌ماند و $LPS(t) = 0$.

۳- مصرف بیشتر از تولید:

اگر $E_G(t) < P_{inv}(t)$ آنگاه توان ذخیره شده در باتری برای جبران کمبود (P_{def}) استفاده می‌شود که ظرفیت ذخیره سازی جدید از رابطه (۱۰) به دست می‌آید. در ادامه داریم:

$$P_{\text{def}}(t) = P_{\text{inv}}(t) - E_G(t) \quad (23)$$

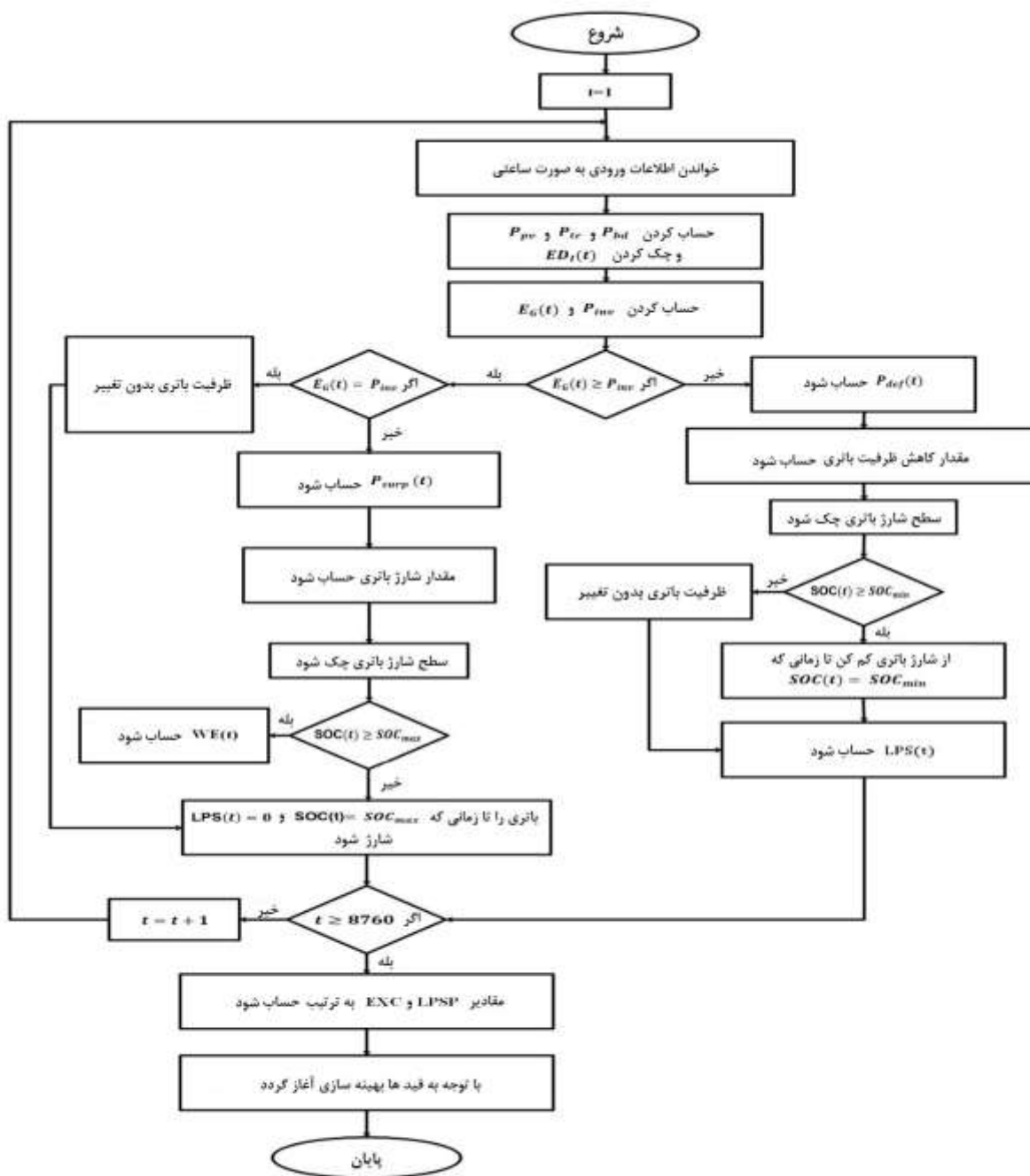
$$LPS(t) = ED_I(t) - (E_G(t) + SOC(t-1) - SOC_{\min})\eta_{\text{inv}} \quad (24)$$

مقدار LPSP در بازه زمانی $T = 8760$ از رابطه زیر است [۷۲]:

$$LPSP(t) = \sum_{t=1}^T \frac{LPS(t)}{ED_I(t)} \quad (25)$$

همچنین مقدار EXC نیز در بازه زمانی $T = 8760$ از رابطه زیر است:

$$EXC(t) = \sum_{t=1}^T \frac{WE(t)}{E_G(t)} \quad (26)$$



شکل (۳-۱۱): فلوچارت مدیریت توان پیشنهادی

۴-۳- محاسبه گاز آلاینده

در این قسمت با توجه به اینکه یکی از اهداف این پژوهش، حداقل کردن میزان گازهای آلاینده ناشی از سوختن می‌باشد، با ارائه روابطی تابع هدف را می‌نویسیم. با توجه به اینکه گازهای گلخانه‌ای آثار منفی‌ای مانند گرم شدن کره زمین، باران‌های اسیدی و تأثیر بر زیست‌بوم دارند، حداقل سازی آن‌ها یکی از اهداف مهم طراحان سیستم‌های هیبریدی است. به این منظور، مجموعه گازهای گلخانه‌ای با اسم CO_2e و یا CO_2 معادل شناخته می‌شوند این گاز به‌عنوان گاز مرجع شناخته می‌شود و دارای پتانسیل زمین گرمایشی (GWP) = ۱ می‌باشد که در پروتکل توکیو قیدشده است [۷۳]. مقدار گاز تولیدشده برای الکتریسیته برای سوخت‌های دیزل و بایو به ترتیب مقادیر ثابت $3.9 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ و $0.95 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ را دارا می‌باشند [۷۴]. برای محاسبه مقدار گاز گلخانه‌ای تولیدی از روابط ۲۷ تا ۳۲ استفاده می‌کنیم:

$$\text{GHG emissions}_{\text{tot}} = \text{GHG emissions}_{\text{d}} + \text{GHG emissions}_{\text{bd}} \quad (27)$$

$$\text{GHG emissions (tones)} = \text{Energy consumption} \times \text{electricity emission factor} \times \text{GWP} \quad (28)$$

$$\text{Energy consumption (kWh)} = \text{TOE} \times 0.000277 \quad (29)$$

$$1 \text{ KJ} = 0.0002778 \text{ kWh} \quad \text{که}$$

$$\text{TOE (kj)} = \text{total fuel consumption} \times \text{LHV} \quad (30)$$

$$\text{TOE}_{\text{d}} = \frac{80}{100} \text{ total fuel consumption} \times \text{LHV} \quad (31)$$

$$\text{TOE}_{\text{bd}} = \frac{20}{100} \text{ total fuel consumption} \times \text{LHV} \quad (32)$$

و TOE مجموع انرژی سوخت است.

۳-۴-۵- الگوریتم MOPSO:

PSO (الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات PSO) از دسته الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که بر مبنای تولید تصادفی جمعیت اولیه عمل می‌کنند. در این الگوریتم با الگوگیری و شبیه‌سازی رفتار پرواز دسته‌جمعی (گروهی) پرندگان یا حرکت دسته‌جمعی (گروهی) ماهی‌ها بنانهاده شده است. هر عضو در این گروه توسط بردار سرعت و بردار موقعیت در فضای جستجو تعریف می‌گردد. در هر تکرار زمانی، موقعیت جدید ذرات با توجه به بردار سرعت و بردار موقعیت در فضای جستجو تعریف می‌گردد. در هر تکرار زمانی، موقعیت جدید ذرات با توجه به بردار سرعت فعلی، بهترین موقعیت یافت شده توسط آن ذره و بهترین موقعیت یافت شده توسط بهترین ذره موجود در گروه، به‌روزرسانی می‌گردد. این الگوریتم ابتدا برای پارامترهای پیوسته تعریف شده بود اما با توجه به اینکه در برخی از کاربردها با پارامترهای گسسته سروکار داریم، این الگوریتم به حالت گسسته نیز بست داده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات را در حالت گسسته با (MOPSO) معرفی می‌گردد. در این الگوریتم موقعیت هر ذره با مقدار یک تعریف می‌گردد. در این الگوریتم موقعیت هر ذره با مقدار باینری صفر و یا یک نشان داده می‌شود. در MOPSO مقدار هر ذره می‌تواند از صفر به یک و یا از یک به صفر تغییر کند. سرعت هر ذره نیز به‌عنوان احتمال تغییر هر ذره به مقدار یک تعریف می‌گردد.

فرض یک فضای جستجوی d بعدی داریم. i آمین ذره در این فضای d بعدی باب بردار موقعیت X_i به

شکل زیر توصیف می‌گردد:

$$X_i = (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{id}) \quad (33)$$

بردار سرعت i آمین ذره نیز با بردار V_i به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$V_i = (V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}, \dots, V_{id}) \quad (34)$$

بهترین موقعیتی که ذره i ام پیدا کرده است را با $P_{i.best}$ تعریف می‌کنیم:

$$P_{i.best} = (P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{id}) \quad (35)$$

بهترین موقعیتی که بهترین ذره در بین کل ذرات پیدا کرده است را با $P_{g.best}$ به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$P_{g.best} = (P_{g1}, P_{g2}, P_{g3}, \dots, P_{gd}) \quad (36)$$

برای به روزرسانی محل هر کدام از ذرات از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$V_i(t) = w \times V_i(t-1) + c_1 * rand_1 * (P_{i.best} - X_i(t-1)) + c_2 * rand_2 * (P_{g.best} - X_i(t-1)) \quad (37)$$

$$X_i = X_i(t-1) + V_i(t) \quad (38)$$

بعضاً در مراجع مختلف در نحوه تفکیک مراحل اجرای الگوریتم اختلافاتی دیده می شود؛ یعنی در یک مواقع مراحل به صورت تفکیک شده تری ذکر می شوند و در برخی مواقع دو یا تعداد بیشتری از مراحل را باهم ترکیب کرده و تبدیل به یک مرحله می کنند؛ اما این موضوع اشکالی در برنامه نویسی های انجام شده ایجاد نمی کند زیرا آنچه مهم است اجرا شدن مراحل برنامه به ترتیبی که در ادامه خواهد آمد، است و نحوه تفکیک این مراحل.

تولید تصادفی جمعیت اولیه به طور ساده عبارت است از تعیین تصادفی محل اولیه ذرات با توزیع یکنواخت در فضای حل (فضای جستجو). مرحله تولید تصادفی جمعیت اولیه تقریباً در تمامی الگوریتم های بهینه سازی احتمالاتی وجود دارد؛ اما در این الگوریتم علاوه بر محل تصادفی اولیه ذرات، مقداری برای سرعت اولیه ذرات نیز اختصاص می یابد. رنج پیشنهادی اولیه برای سرعت ذرات را می توان از رابطه زیر استخراج کرد.

$$\frac{X_{min} - X_{max}}{2} \leq V \leq \frac{X_{max} - X_{min}}{2} \quad (39)$$

اتمام PSO می تواند بر اساس تعداد مشخصی تکرار یا رسیدن به مقدار تعیین شده ای از pbest باشد و یا

زمانی که هیچ بهبود و تغییری در آن حاصل نشود، به پایان برسد.

مراحل الگوریتم PSO استاندارد به صورت زیر است:

مقداردهی اولیه ذرات در موقعیت‌های تصادفی با سرعت اولیه، روی D بعد فضای جستجو بعد فضای جستجو.

۱. به‌روزرسانی سرعت و موقعیت هر ذره.

۲. محاسبه تابع شایستگی و به‌روزرسانی هم‌زمان $pbest$ یا $gbest$ در صورت نیاز.

۳. برگشت به مرحله 2 تا برقراری شرط اتمام.

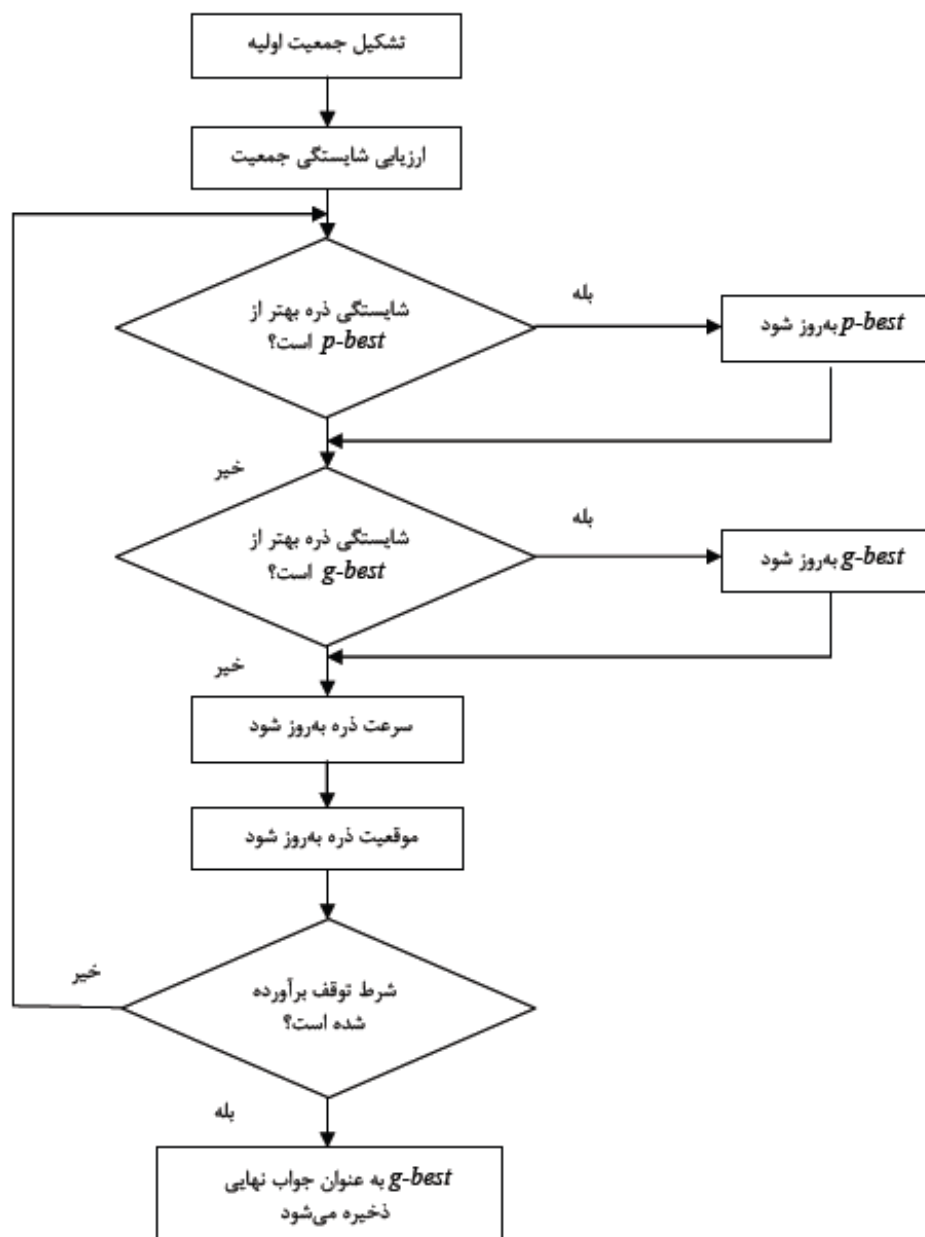
نخستین نسخه چندهدفه الگوریتم جمعیت پرندگان در سال ۱۹۹۹ ارائه شد. الگوریتم چندهدفه مورد استفاده در این تحقیق MOPSO است که مراحل آن در شکل (۱۴-۳) نشان داده شده است. این الگوریتم از عملگری به نام عملگر جهش واحد استفاده می‌کند که یک عضو از جمعیت را انتخاب کرده، مقدار یک بعد آن را به عددی در محدوده مقادیر معتبر تغییر می‌دهد. همچنین، یک سیاست نخبه‌گرایی به منظور نگه داشتن نتایج برتر و غالب در تکرارهای الگوریتم تعریف شده است. پاسخ‌های غالب در آرشیو خارجی که ساختار گرید دارد، ذخیره می‌شوند. دستاورد مدیریت صحیح آرشیو، تنوع جمعیت و توزیع مناسب پاسخ‌هاست. هنگامی که ذرات می‌خواهند حرکتی انجام دهند یک عضو از مخزن را به عنوان لیدر یا رهبر انتخاب می‌کنند. این لیدر حتما باید عضو مخزن و همچنین نا مغلوب باشد. اعضای مخزن بیانگر جبهه پارتو و شامل ذرات نا مغلوب هستند. پس بجای $gbest$ یکی از اعضای مخزن انتخاب می‌شود. به این دلیل در PSO مخزن وجود ندارد زیرا در آن تنها یک هدف وجود دارد و یک ذره است که بهترین است؛ اما در MOPSO چند ذره وجود دارد که نا مغلوب هستند و در مجموعه جواب جای دارند.

مراحل الگوریتم MOPSO استاندارد به صورت زیر است:

۱. ایجاد جمعیت اولیه.

۲. جدا کردن اعضای نا مغلوب جمعیت و ذخیره کردن آن در مخزن.

۳. جدول بندی فضای هدف کشف شده (بدین معنی که با توجه به حداقل و حداکثر میزان توابع هدف به دست آمده هر یک از این بازه ها را بر حسب نیاز به 5 الی 10 قسمت مساوی تقسیم کنیم).
۴. انتخاب یک رهبر از میان مخزن برای هر ذره و حرکت آن.
۵. به روز رسانی بهترین خاطره هر یک از ذرات.
۶. اعضای نا مغلوب جمعیت فعلی به مخزن اضافه می شود.
۷. اعضای مغلوب مخزن حذف می شود.
۸. به دلیل کمبود حافظه در مخزن باید تعداد آن ها را کم کنیم. اگر تعداد اعضای مخزن بیش از ظرفیت تعیین شده باشد اعضای اضافی را حذف می کنیم (گاهی در این مرحله دوباره جدول بندی می شود. علت اصلی این گام فرض حافظه محدود برای مخزن می باشد و این زمانی رخ می دهد که تعداد جواب های پارتویی زیاد باشد و بخواهیم برای کاهش سردرگمی تصمیم گیرنده تنها تعداد مشخصی از جواب های پارتویی را تولید نماییم).
۹. در صورتی که شرایط خاتمه محقق نشده اند به گام 3 باز گردد و در غیر این صورت پایان.



شکل (۳-۱۲): فلوچارت الگوریتم MOPSO

۳-۴-۶- نرم افزار هومر:

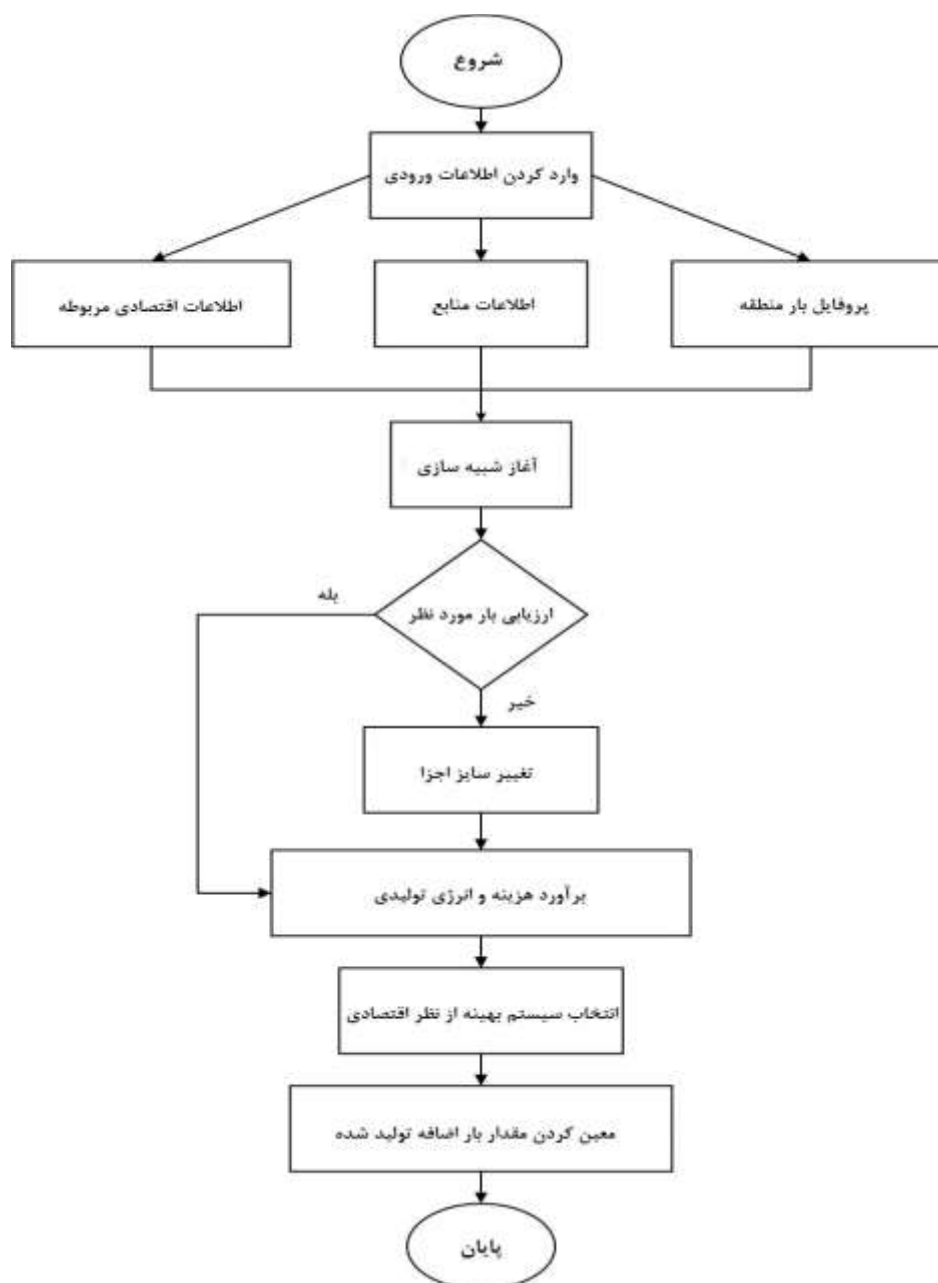
با توجه به توابع هدف: قابلیت اطمینان، هزینه و گازهای آلاینده، نیاز به یک نرم افزار با قابلیت بهینه سازی چندهدفه بود. برای بهره گیری از هومر، مدلی را با ورودی های مختلف خواهید داشت که گزینه های فناوری، هزینه های اجزاء و دسترسی به منابع را در برمی گیرد. از طرف دیگر، هومر نتایج شبیه سازی را در جداول و نمودارهای مختلف نشان می دهد که به مقایسه پیکره بندی های مختلف کمک کرده و بر اساس رتبه بندی های فنی و اقتصادی آن ها را مقایسه می کند و امکان استخراج جداول و نمودارها در گزارش ها و ارائه ها را فراهم می کند. هومر روش بهره برداری از یک سیستم را با ایجاد معادلات تراز در هر ۸۷۶۰ ساعت از سال شبیه سازی می کند. هومر تقاضای الکتریکی و حرارتی را در هر ساعت که باید توسط سیستم تأمین شود را فراخوان کرده و جریان انرژی تحویلی و یا دریافتی به/از اجزای سیستم را محاسبه می کند. همچنین هومر برای سیستم های شامل باتری ها یا ژنراتورهای تولید برق از سوخت، تصمیم می گیرد که در چه زمان هایی راه اندازی ژنراتورها اقتصادی بوده و یا در چه زمان هایی باتری ها را شارژ و یا تخلیه نماید. سپس تصمیم می گیرد که چه پیکره بندی امکان پذیر است یعنی درحالی که این پیکره بندی تقاضای الکتریکی را تحت شرایط مدنظر کاربر تأمین می کند، هزینه های نصب و بهره برداری از سیستم را در طی عمر پروژه محاسبه می کند. محاسبات هزینه سیستم برای هزینه هایی نظیر سرمایه گذاری، جایگزینی، بهره برداری و نگهداری، سوخت و بهره انجام می دهد.

بهینه سازی: بعد از شبیه سازی پیکره بندی های ممکن سیستم، هومر فهرستی از پیکره بندی های چیده شده بر اساس خالص هزینه کنونی (بعضی اوقات به هزینه چرخه عمر موسوم است) نشان می دهد که شما می توانید گزینه های مختلف طراحی سیستم را مقایسه کنید.

تحلیل‌های حساسیت: زمانی که شما متغیرهای حساسیت را به‌عنوان ورودی تعریف می‌کنید، هومر فرایند بهینه‌سازی را برای هر متغیر حساسیت که تعیین کردید، تکرار می‌کند. برای نمونه، اگر سرعت باد به‌عنوان یک متغیر حساسیت تعریف شود، هومر پیکره‌بندی‌های سیستم را برای دامنه‌ای از سرعت‌های که تعیین کرده‌اید، شبیه‌سازی می‌کند.

ازجمله توانمندی‌های این نرم‌افزار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مدل‌سازی بارهای الکتریکی، حرارتی و هیدروژن
- مدل‌سازی سلول‌های خورشیدی تولید برق (خورشیدی)، توربین بادی، توربین آبی، تولید هیدروژن، ژنراتورهای مصرف‌کننده سوخت فسیلی
- مدل‌سازی اتصال به شبکه برق در حالت‌های مختلف
- تحلیل اقتصادی انواع فناوری‌ها
- تحلیل انتشار آلاینده‌ها از انواع فناوری‌ها
- مدل‌سازی و تحلیل سناریوهای مختلف از طریق نرم‌افزار



شکل (۳-۱۳): فلوچارت نرم افزار هومر

فصل چارم

نتائج و بحث

۴-۱- مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از طراحی و مدل سازی سیستم موردنظر که در فصل سوم به آن پرداخته و روابط بین پارامترها ذکر شده بود، بیان شده است.

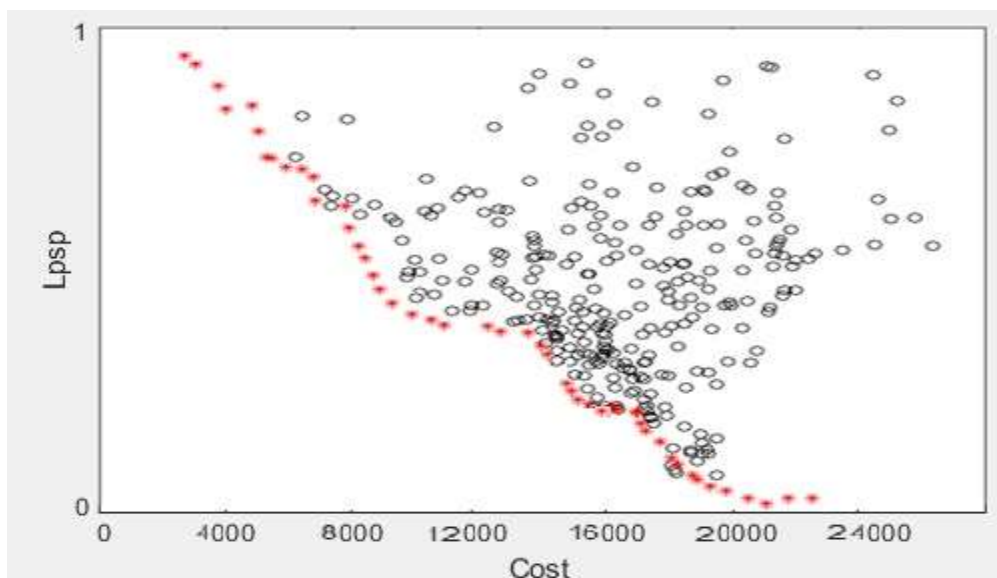
۴-۲- سیستم هیبرید پیشنهادی

پس از اتمام مدل سازی، فرآیند بهینه سازی بر اساس الگوریتم پیشنهادی (MOPSO) انجام گرفت. این الگوریتم با توجه و در نظر گرفتن توابع هدف، بهترین نتیجه را به عنوان خروجی در اختیار طراح قرار می دهد. نتایج به دست آمده در جدول (۴-۱) خصوصیات سیستم بهینه شده نهایی را از قبیل قابلیت اطمینان، میزان هزینه و میزان آلودگی نشان می دهد.

جدول (۴-۱): مشخصات سیستم بهینه

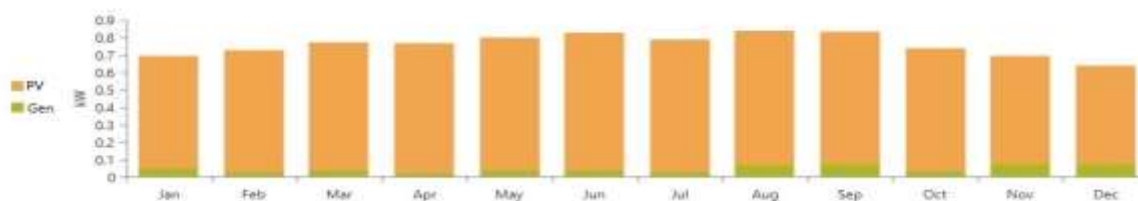
	NPC (\$)	LCOE (\$)	LPSP	هزینه سوخت (\$/yr)	PV (Kw)	باتری (تعداد)	توربین (تعداد)
سیستم بهینه	۲۰۶۴۹	۰.۳۷۷	۰.۰۲۴	۱۶۳.۵	۴	۱۱	۰

با توجه به شکل که نمودار پرتو سیستم هیبریدی پیشنهادی می باشد، قابل ملاحظه است که سیستم پیشنهادی با هزینه حدوداً ۲۰۰۰۰ دلار، دارای کمترین LPSP ممکن می باشد. همچنین مقدار هزینه با افزایش LPSP به سمت ۱ کمتر می شود که این تغییرات با مفهوم LPSP و مینیمم سازی آن که همسو است. به صورت کلی این مفهوم که با افزایش LPSP (کاهش قابلیت اطمینان)، هزینه نهایی طراحی سیستم کاهش می یابد در این نمودار پرتو مشهود است.

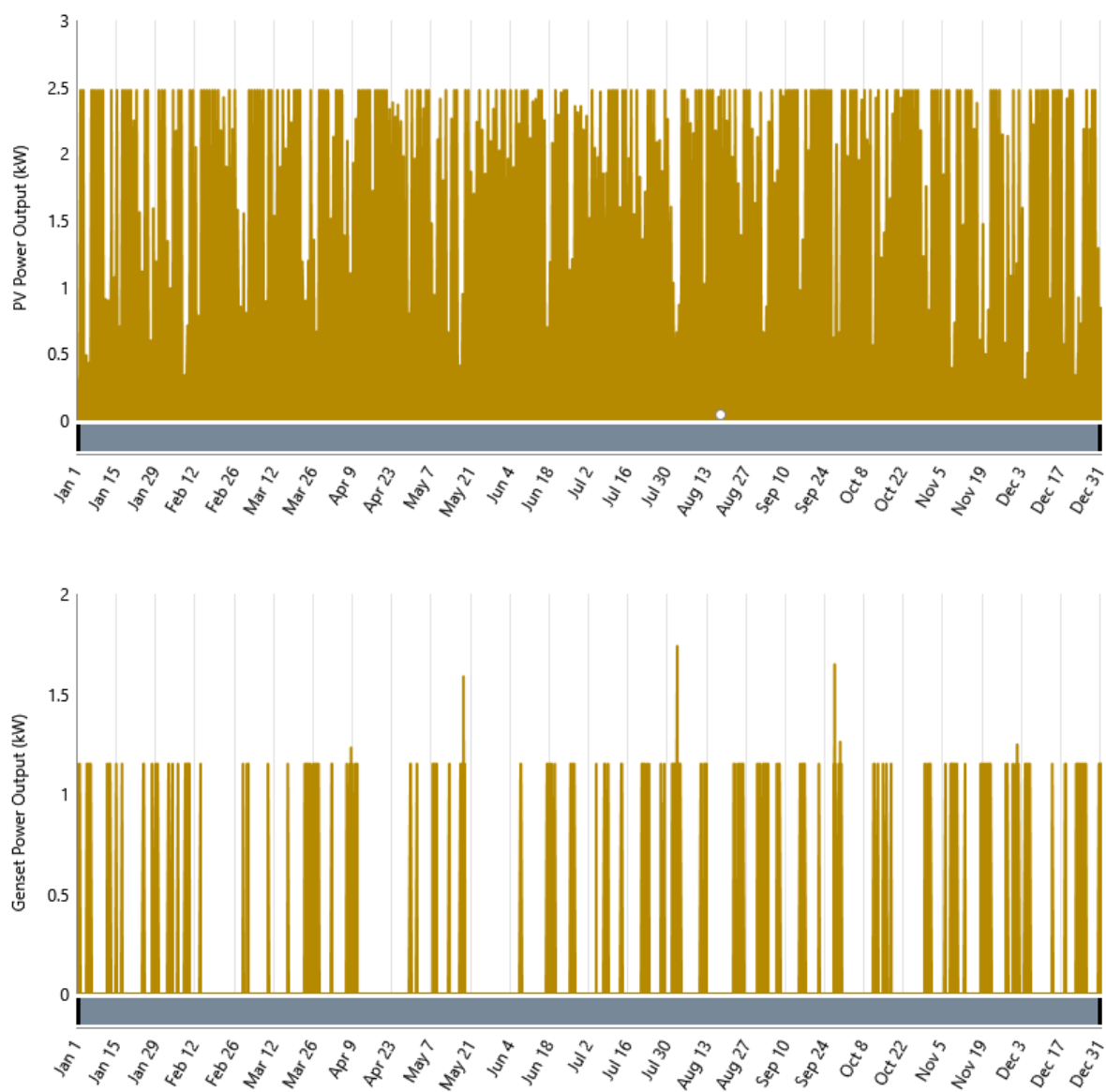


شکل (۴-۱): نمودار پرتو سیستم پیشنهادی

بهینه‌سازی انجام گرفته نشان می‌دهد که سیستم هیبرید شامل: پنل خورشیدی، موتور بایودیزل، باتری و مبدل بهترین انتخاب ممکن است. همچنین همان‌طور که با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی منطقه انتظار می‌رفت، جز خورشیدی سهم بسیار چشمگیری در تولید انرژی دارد. این سهم در طول روز بیشترین مقدار خود را داراست. در باقی ساعات روز که این تشعشعات کمتر و حتی در حد صفر می‌باشند، وظیفه تأمین بار موردنیاز بر عهده سیستم باتری و موتور بایودیزل است. در شکل شماره (۲-۴) و (۳-۴) میزان تولید و سهم هر یک از اجزا در سیستم پیشنهادی به صورت ماهانه و سالانه نشان داده شده است.

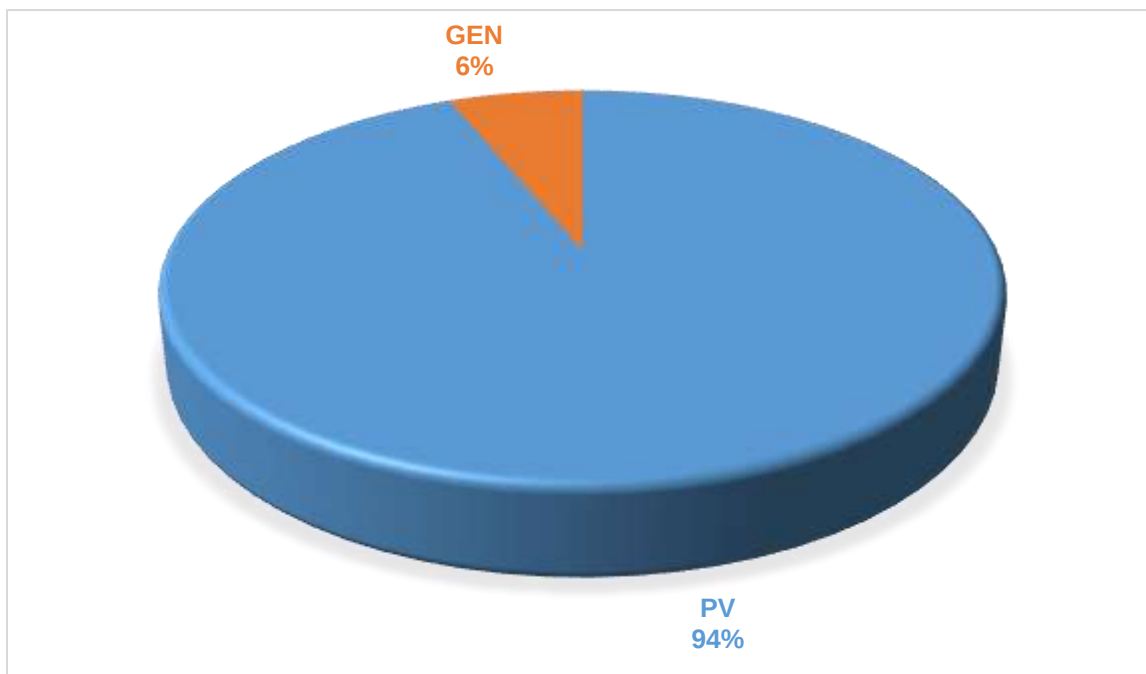


شکل (۴-۲): میانگین تولید و سهم هر جز به صورت ماهانه



شکل (۴-۳): میزان تولید هر جز به صورت ماهانه

در شکل شماره (۴-۴) نیز سهم تولیدی پنل خورشیدی و بایودیزل نمایش داده شده است که به ترتیب برای پنل خورشیدی ۹۳.۸۱ درصد و برای بایو دیزل ۶.۱۹ درصد است. البته باید در نظر داشت که این مقادیر به صورت میانگین می باشند و حداکثر سهمیه پنل خورشیدی در تابستان و حداقل در زمستان است.



شکل (۴-۴): سهم تولیدی هر جز

مقادیر هزینه اولیه، تعمیرات و نگهداری، تعویض و فروش اجزا در جدول شماره (۴-۲) نشان داده شده اند.

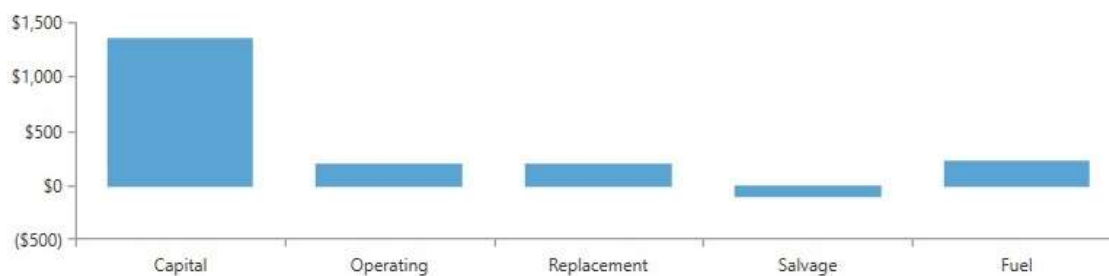
همچنین مقدار LCOE برای این سیستم پیشنهادی ۰.۳۷۷ دلار بر کیلووات می باشد.

جدول (۲-۴): گزارش هزینه‌های سیستم بهینه

اجزا	هزینه کلی (\$)	هزینه تعویض (\$)	O&M (\$)	قیمت اسقاط (\$)
موتور	۲۳۰۰	۰	۵۷۰	۳۸۴
PV	۵۱۰۰	۰	۷۳۸	۴۵۱
باتری	۶۰۰	۲۶۲۵	۱۲۷۳	۱۲۱۶
مبدل	۱۹۵۰	۰	۰	۰
دیگر اجزا	۰	۰	۹۰	۰
سیستم	۱۵۴۰۰	۲۶۲۵	۲۶۷۲	۲۰۵۲

۳-۴- جنبه‌های اقتصادی:

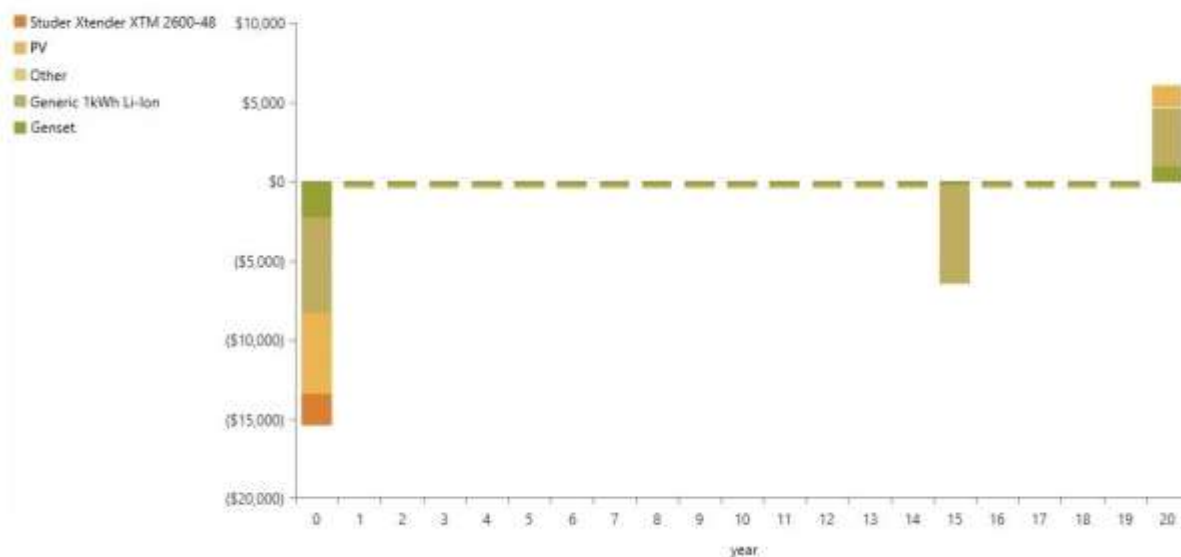
شکل شماره (۴-۵) نشان می‌دهد که مطابق انتظار بیشترین هزینه مربوط به قسمت سرمایه‌گذاری اولیه می‌باشد. از مزیت‌های سیستم بهینه‌سازی شده می‌توان به هزینه بسیار کم جایگزینی اجزا و همچنین هزینه بسیار کم سوخت اشاره کرد.



شکل (۴-۵): مقادیر هزینه‌ها

همچنین سیستم پیشنهادی از دیدگاه Cash Flow هم بررسی شده است. در شکل شماره (۴-۶) واضح است که بیشترین هزینه مربوط به پنل خورشیدی و باتری می‌باشد، اما همان‌طور که پیش‌تر گفته شده، با استفاده از پنل خورشیدی، هزینه سوخت و آلودگی به شکل بسیار محسوس و چشمگیری کاهش می‌یابند. همچنین

قابل ملاحظه است که در سال ۱۵-ام سیستم نیاز به تعویض باتری دارد که تمامی هزینه تعویض نیز مربوط به همین جز می باشد و دیگر اجزا تا پایان دوره پیشنهادی نیاز به تعویض ندارند.



شکل (۴-۶): نمودار Cash Flow

همان طور که گفته شد، یکی از مهم ترین اهداف این سیستم، بحث آلودگی و محیط زیستی بوده است. آلودگی گازهای تولیدی حاصل از سوخت دیزل، بر کسی پوشیده نیست. از این روی با استفاده از منابع تجدید پذیری چون سوخت بایو انرژی خورشید در سیستم شماره یک، نه تنها سوخت دیزل استفاده شده به مقدار چشمگیری کاهش می یابد، بلکه مقدار گازهای آلوده کننده ناشی از سوختن سوخت دیزل نیز کاسته می شود. اگر برای تأمین نیاز و بار تنها از سوخت دیزل استفاده کنیم، سالانه به مقدار ۱۴۷۹ لیتر سوخت دیزل نیازمندیم. در حالی که با استفاده از سیستم هیبریدی پیشنهادی بایو دیزل/خورشیدی، این مقدار به ۱۶۳.۵ لیتر در سال کاهش می یابد (کمتر از نیم لیتر در روز) که بسیار محسوس است. از سوی دیگر، این کاهش در گازهای آلوده کننده تولیدی در پیشگیری از جریمه های زیست محیطی نیز کمک می کند که در این شبیه سازی این جریمه ها نیز به ترتیب: ۱۵ دلار به ازای

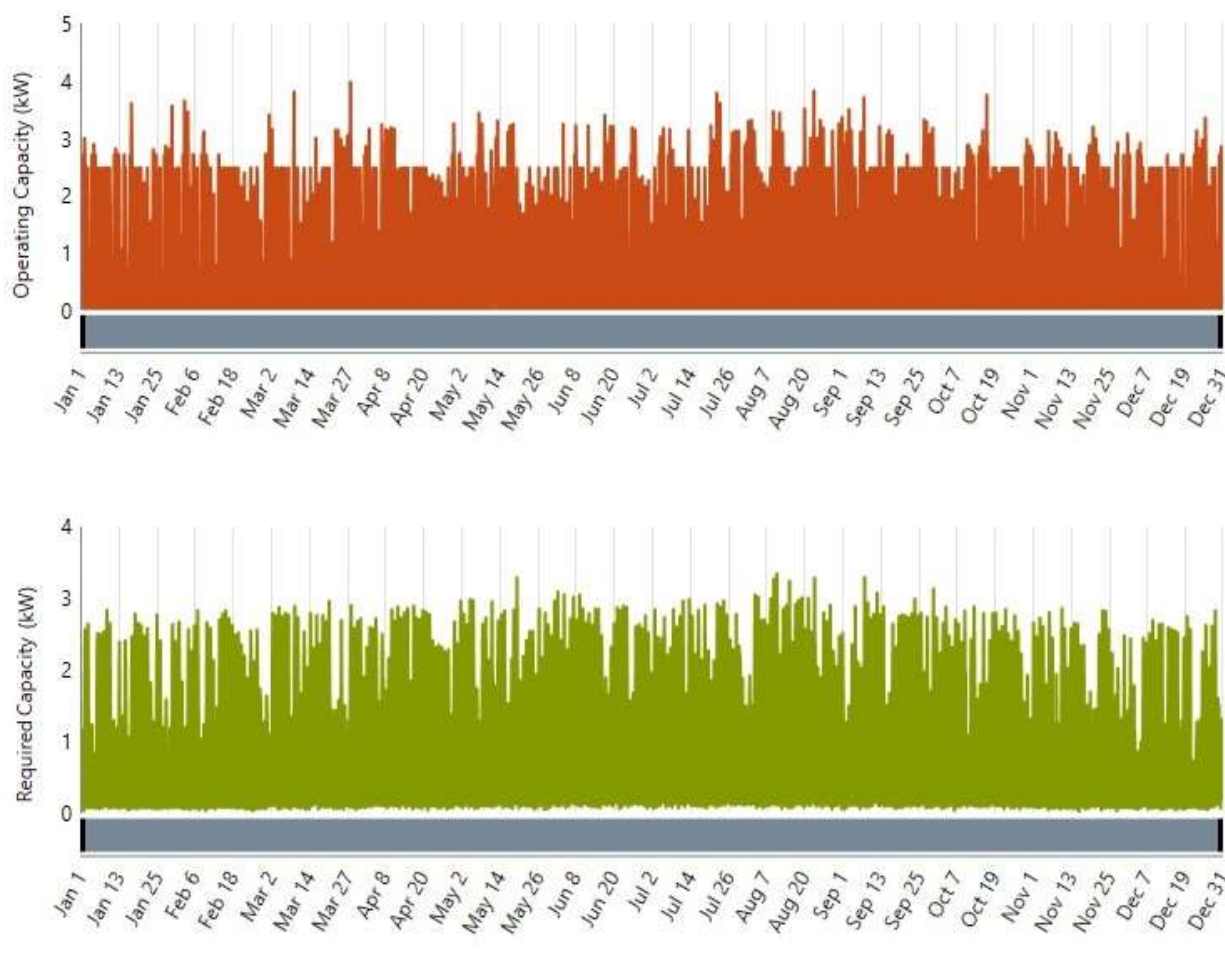
هر تن کربن دی اکسید، ۲۰ دلار به ازای هر تن دی اکسید سولفور و ۲۰ دلار به ازای تولید هر تن نیتروژن اکسید است. هرچند با استفاده از سوخت بایو و پنل خورشیدی، مقدار گازهای آلوده کننده سیستم پیشنهادی به قدری کاهش می یابد که شامل این جریمه ها نمی شود. در جدول شماره ۴ مقدار گازهای تولیدی به واحد kg/yr نشان داده شده است.

جدول (۳-۴): مقدار گازهای تولیدی

واحد	اندازه	
Kg/yr	۶۴۰	دی اکسید کربن
Kg/yr	۴۰۳	مونوکسید کربن
Kg/yr	۰.۱۷۶	هیدروکربن های سوخته نشده
Kg/yr	۱.۵۷	دی اکسید سولفور
Kg/yr	۳.۷۹	اکسید نیتروژن

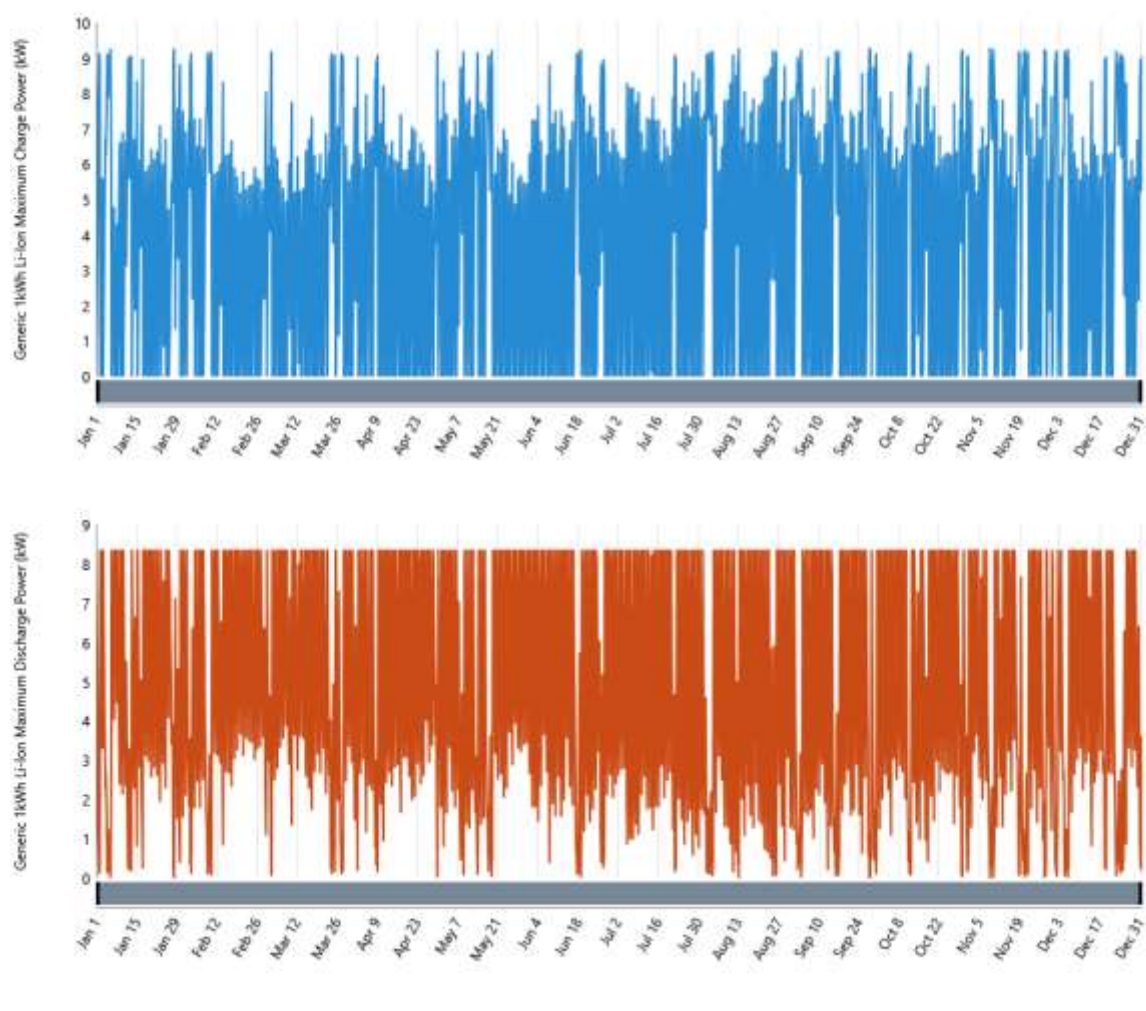
بیشترین استفاده از سیستم دیزل، با توجه به نتایج در فصول پاییز و زمستان است که بنا بر شرایط بومی و اقلیمی، تشعشعات خورشیدی در کمترین مقدار خود می باشند و انرژی تولیدی از پنل های خورشیدی، جوابگوی نیاز بار درخواستی نمی باشد.

با توجه به نمودارهای بار مورد نیاز و بار تولیدی توسط سیستم پیشنهادی شکل شماره (۴-۷)، قابل ملاحظه است که در برخی از ماه های سال، مخصوصاً در فصل تابستان که تشعشعات خورشیدی به بیشترین حد خود می رسند، میزان بار تولیدی، از میزان نیاز بیشتر است و این مقدار انرژی تولیدی، در باتری ذخیره می شود. به طور کلی، مقدار بار تولیدی در سال ۶۶۶۱ kWh و میزان بار مورد نیاز ۴۰۱۱۳ kWh است. شاید این مسئله به عنوان یک نکته منفی برای سیستم باشد، اما از این منظر که این سیستم آمادگی و توان لازم را برای افزایش و رشد تقاضا در آینده را داراست، برای سرمایه گذاری ۲۰ ساله، قابل گذشت است.



شکل (۴-۷): بار تولیدی و بار مورد نیاز

با توجه به پروفایل شارژ و کاهش شارژ باتری به صورت ماهانه شکل (۴-۸)، مشاهده می‌شود که باتری زمان‌های بیشتری در حالت شارژ می‌باشد و میانگین سطح شارژ به صورت کلی هیچ‌گاه از نصف کمتر نمی‌شود که نکته‌ای مثبت است زیرا کاهش شارژ باتری به مقدار زیاد، از کارایی و طول عمر باتری می‌کاهد. همچنین واضح است که سیستم بیشترین مقادیر کاهش شارژ را در ماه‌هایی که تابش خورشید کمتر می‌باشد داراست و باتری در این ایام برای تأمین بار مورد نیاز، به کمک موتور می‌آید.



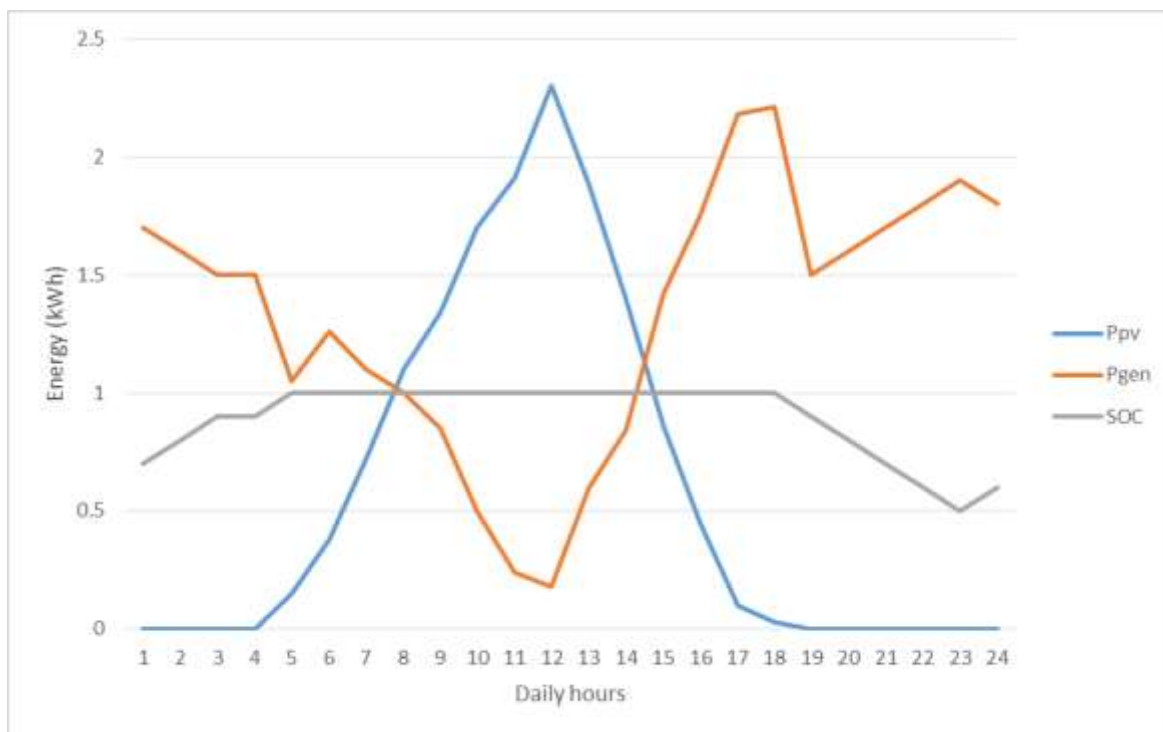
شکل (۴-۸): پروفایل شارژ و کاهش شارژ باتری به صورت ماهانه

۴-۴- تحلیل حساسیت:

با توجه به وجود متغیرهای بسیار در این شبیه‌سازی وابستگی نتایج به آن‌ها، تحلیل حساسیت می‌تواند قسمت مهمی از این پژوهش باشد. تفاوت هزینه‌های حمل‌ونقل، تفاوت قیمت در فروشگاه‌ها و حتی تغییر کلی قیمت‌ها توسط کمپانی‌ها، طراح را ناچار می‌سازد که به سراغ تحلیل حساسیت برود.

۴-۴-۱- تحلیل بار:

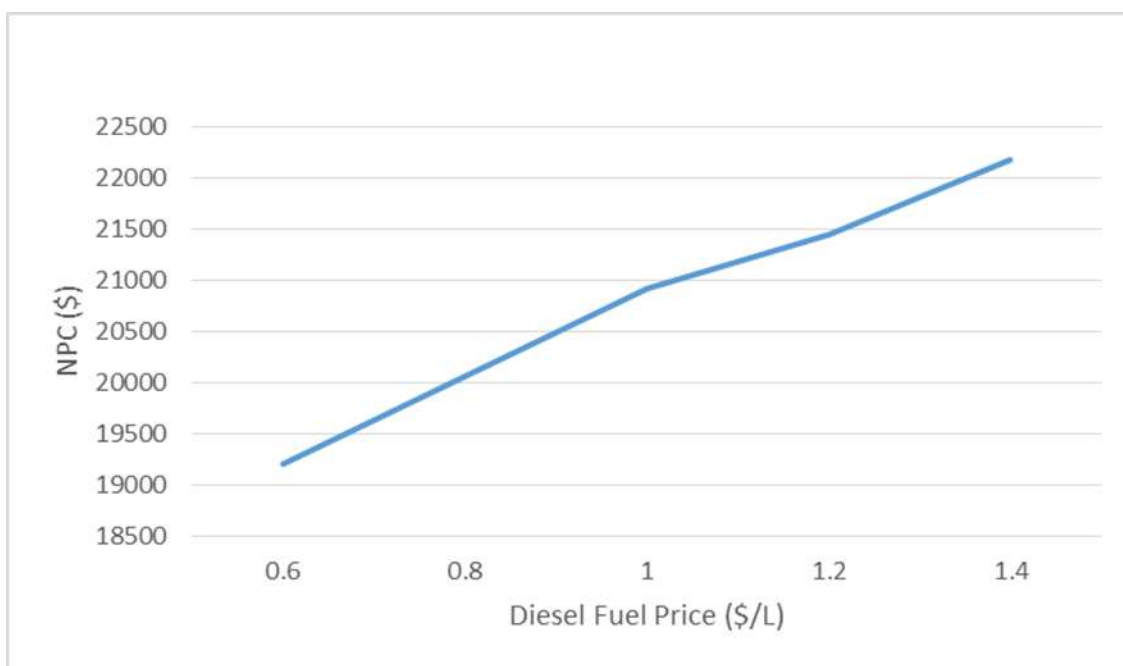
برای انجام این تحلیل، یک روز از سال به صورت اتفاقی انتخاب شد. شکل شماره (۹-۴) نشان می‌دهد که وظیفه تأمین بار موردنیاز در طول روز بر عهده پنل خورشیدی می‌باشد و این امر، در طول شب بیشتر بر عهده ژنراتور و مابقی بر عهده باتری می‌باشد. همچنین واضح است که سطح شارژ باتری در طول روز هیچ‌گاه از نیمه کمتر نمی‌شود.



شکل (۹-۴): بالانس انرژی در یک روز

۴-۴-۲- تحلیل قیمت سوخت‌ها:

قیمت سوخت دیزل که در حالت پایه ۱ دلار بر لیتر انتخاب شده است، دو حالت باقیمت کمتر ۰.۶ و قیمت بیشتر ۱.۴ دلار بر لیتر نیز محاسبه شده است که در شکل شماره (۴-۱۰) نشان داده شده‌اند. در این تحلیل، تمامی موارد دیگر مانند هزینه اولیه، تعمیرات و نگهداری بنا بر جدول شماره (۹-۳) می‌باشند و تنها قیمت سوخت دیزل متغیر است.

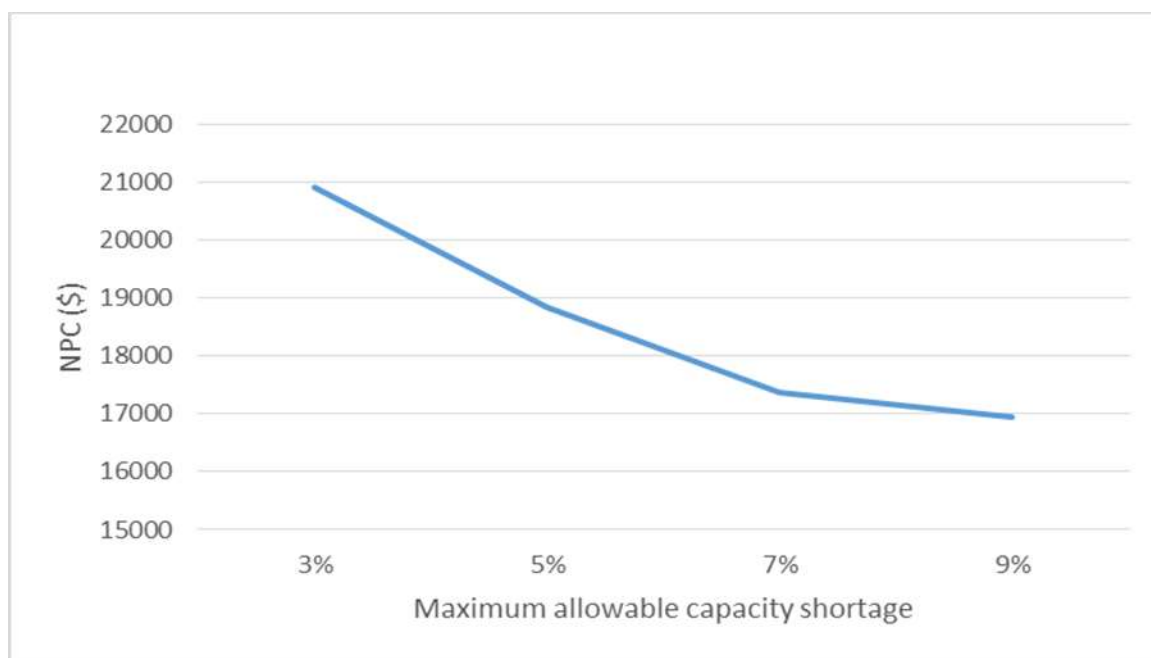


شکل (۴-۱۰): تأثیر تحلیل حساسیت قیمت سوخت دیزل بر NPC

تحلیل حساسیت انجام شده بر روی سوخت بایو نشان داده است که با تغییر نوع و یا قیمت سوخت بایو دیزل، تغییر چندانی در هزینه ایجاد نمی‌شود و همچنین تأثیر جزئی بر روی NPC و LCOE دارد.

۴-۳-۴-تحلیل Maximum allowable capacity shortage:

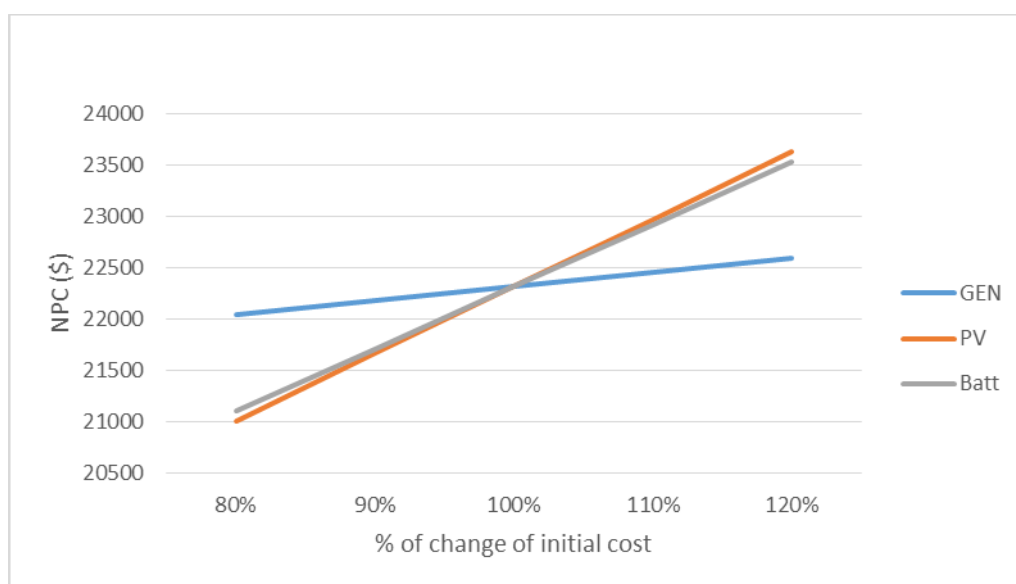
قدرت و ظرفیت قدرت رسانی، یکی دیگر از المان‌های مهم در تحلیل حساسیت است که کاملاً وابسته به نظر نوع طراحی و طراح است. این مورد با توجه به ارجحیت و یا ممتد بودن رساندن انرژی به مقصد است. برای مثال سیستم طراحی شده برای یک بیمارستان باید دارای کمترین حالت کمبود قدرت رسانی باشد اما در این تحقیق بنا بر اینکه سیستم برای یک بخش مسکونی نیرو تهیه می‌کند، کمبود را ۳٪ در نظر می‌گیریم. تأثیر این پارامتر را بر روی NPC در بازه ۳٪ تا ۱۰٪ را در شکل شماره (۴-۱۱) مشاهده می‌شود که نتیجه می‌شود با افزایش مقدار کمبود قدرت رسانی تا ۱۰٪، مقدار NPC تا ۱۸.۸۶٪ کاهش می‌یابد.



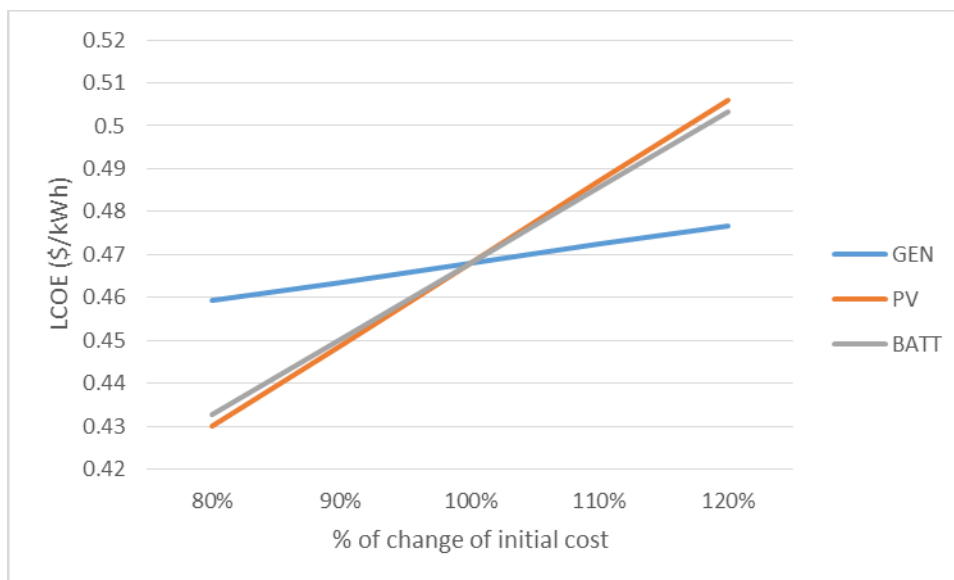
شکل (۴-۱۱): تأثیر Maximum allowable capacity shortage بر NPC

۴-۴-۴- تحلیل قیمت اجزای سیستم:

همان‌طور که گفته شد بخش اعظمی از مجموع قیمت‌ها مربوط به قسمت خورشیدی و باتری سیستم پیشنهادی می‌باشند. پس افزایش یا کاهش این اجزا تأثیر چشم‌گیری در قیمت نهایی دارد. با کاهش ۵۰ درصدی قیمت جز خورشیدی و باتری، NPC کل سیستم به ترتیب ۱۴.۶۵ و ۱۳.۵۵ درصد کاهش می‌یابد. از سوی دیگر کاهش قیمت موتور بایو دیزل تا ۵۰ درصد، تنها ۳.۰۲ درصد از NPC سیستم می‌کاهد. در شکل شماره (۱۲-۴) و (۱۳-۴) تأثیر افزایش یا کاهش قیمت اجزا را بر NPC و LCOE در بازه ۸۰ تا ۱۲۰ درصدی نشان داده شده است.



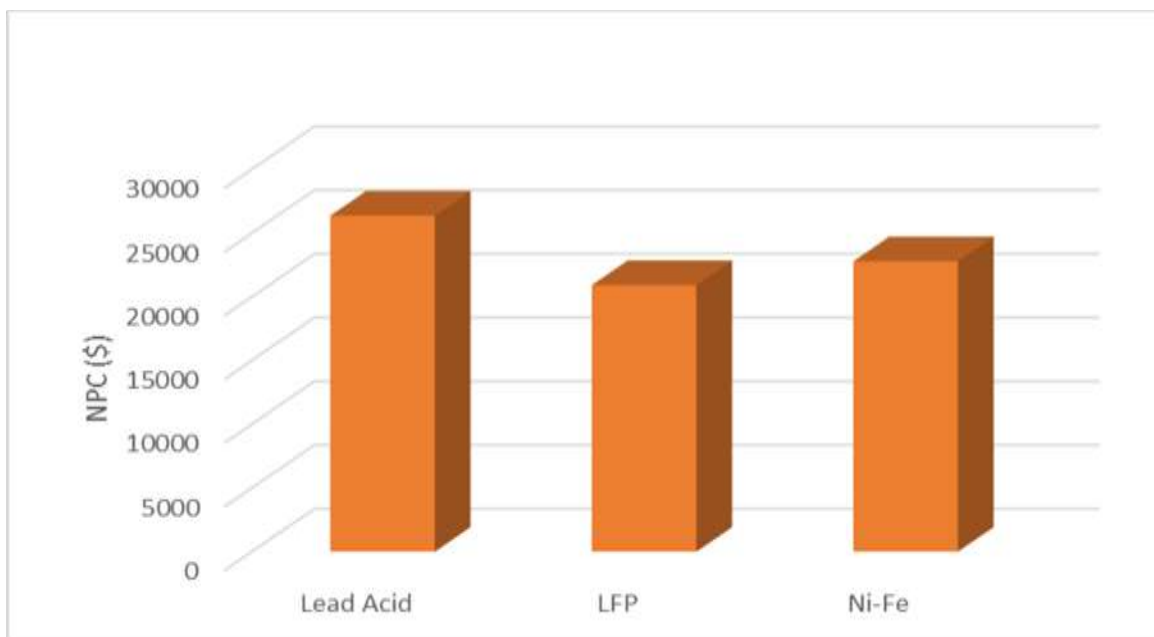
شکل (۱۲-۴): تأثیر تغییر قیمت اجزای سیستم بر NPC



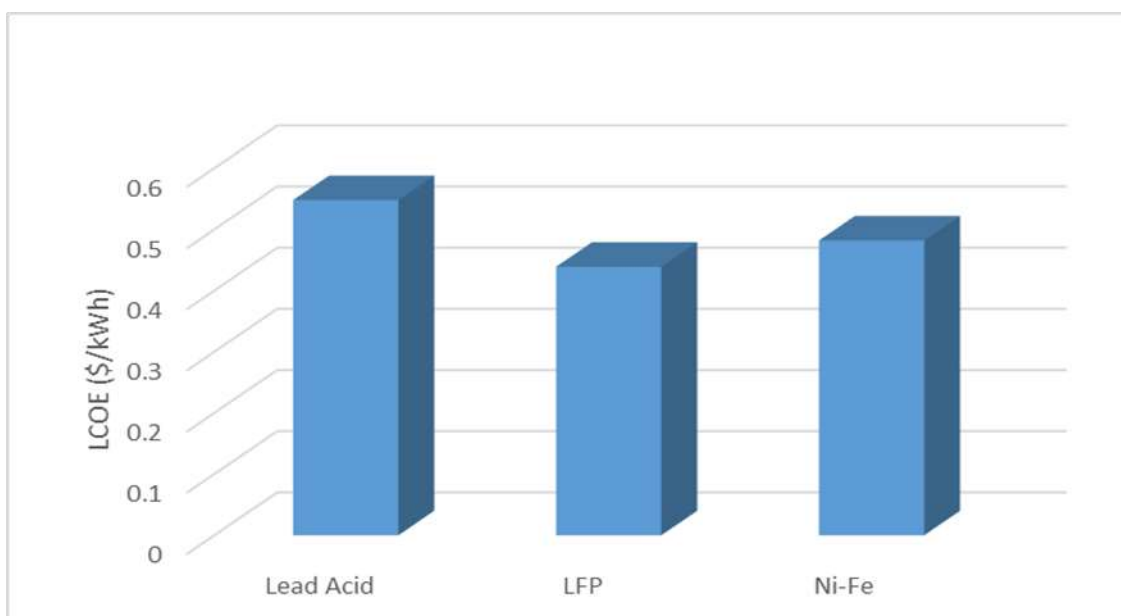
شکل (۴-۱۳): تأثیر تغییر قیمت اجزای سیستم بر LCOE

۴-۴-۱- تحلیل اقتصادی باتری‌ها:

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، این تحقیق همچنین به دنبال مشخص کردن تأثیرات استفاده از باتری‌های متفاوت در سیستم هیبریدی پیشنهادی می‌باشد. از این‌رو سه مدل باتری مرسوم و رایج که بیشترین استفاده را در سیستم‌های هیبرید دارند، انتخاب شدند. در شکل‌های (۴-۱۴) و (۴-۱۵) تأثیرات سه باتری Lead Acid، LFP و Ni-Fe را بر NPC و LCOE سیستم قابل مشاهده است. با توجه به این دو نمودار، همان‌طور که مدنظر بود، باتری LFP بهترین و مناسب‌ترین انتخاب می‌باشد.



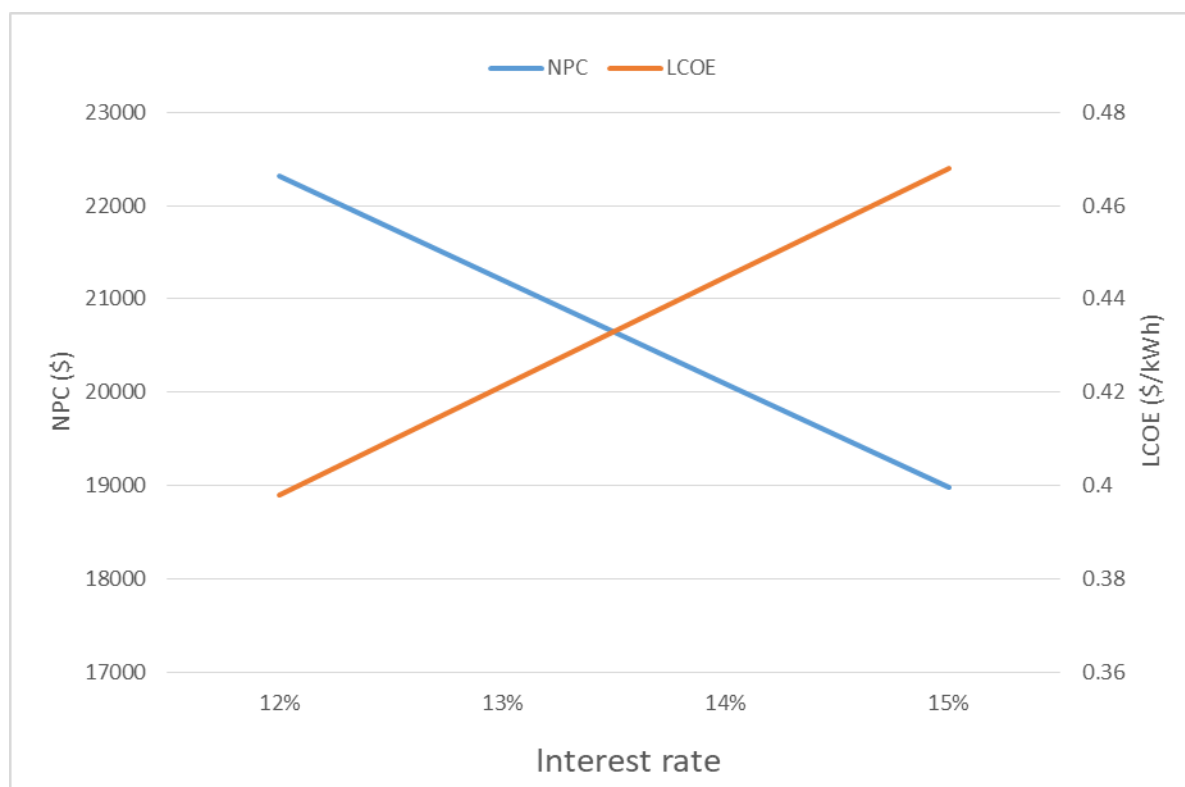
شکل (۴-۱۴): تأثیر سه نوع باتری مرسوم بر NPC سیستم



شکل (۴-۱۵): تأثیر سه نوع باتری مرسوم بر LCOE سیستم

۴-۴-۵- تحلیل نرخ سود:

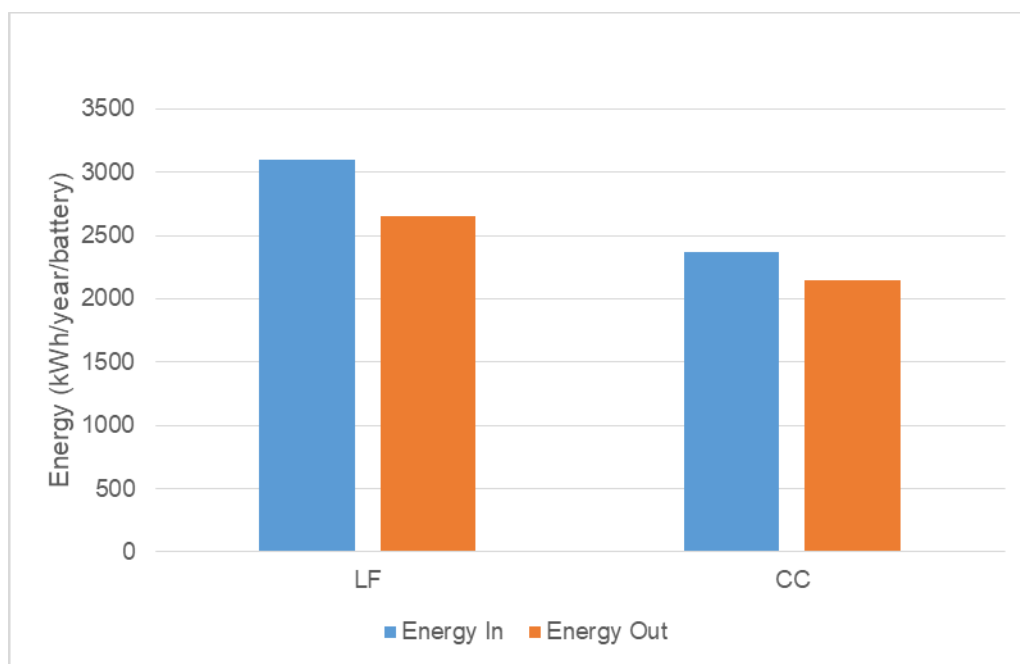
در شکل شماره (۴-۱۶) تأثیر افزایش سود بر NPC و LCOE قابل مشاهده است. با افزایش مقدار سود از ۱۲٪ به ۱۵٪ مشاهده می‌شود که سود رابطه‌ای مستقیم با LCOE دارد به‌طوری‌که با افزایش مقدار سود، LCOE نیز افزایش می‌یابد و همچنین افزایش سود رابطه‌ای معکوس با NPC دارد.



شکل (۴-۱۶) تأثیر افزایش سود بر NPC و LCOE

۴-۴-۶-تحلیل نوع Dispatch:

شکل (۴-۱۷) مقدار انرژی ورودی/خروجی به باتری را بر اساس دو مدل LF^1 و CC^2 نشان می‌دهد. در حالت LF سیستم طراحی شده تنها به دنبال برآورده کردن میزان بار مورد نیاز است. درحالی که نوع CC درکنار تامین بار مورد نیاز، باتری را نیز شارژ میکند. در سیستم بهینه‌سازی شده، روش CC نشان‌دهنده مقادیر کمتری از انرژی ورودی/خروجی نسبت به نوع LF می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که میزان تبادل انرژی در شیوه CC به مقدار ۲۲۵۹ kWh است که در مقابل این مقدار برای نوع LF به میزان ۲۹۳۶ kWh می‌باشد. این تفاوت در مقدار آزانجایی حائز اهمیت است که در طول مدت استفاده از باتری، هرچه میزان تبادل انرژی کمتر باشد (میزان کمتری از شارژ و کاهش شارژ در طول یک سال)، باتری به نسبت طول عمر بیشتری خواهد داشت.



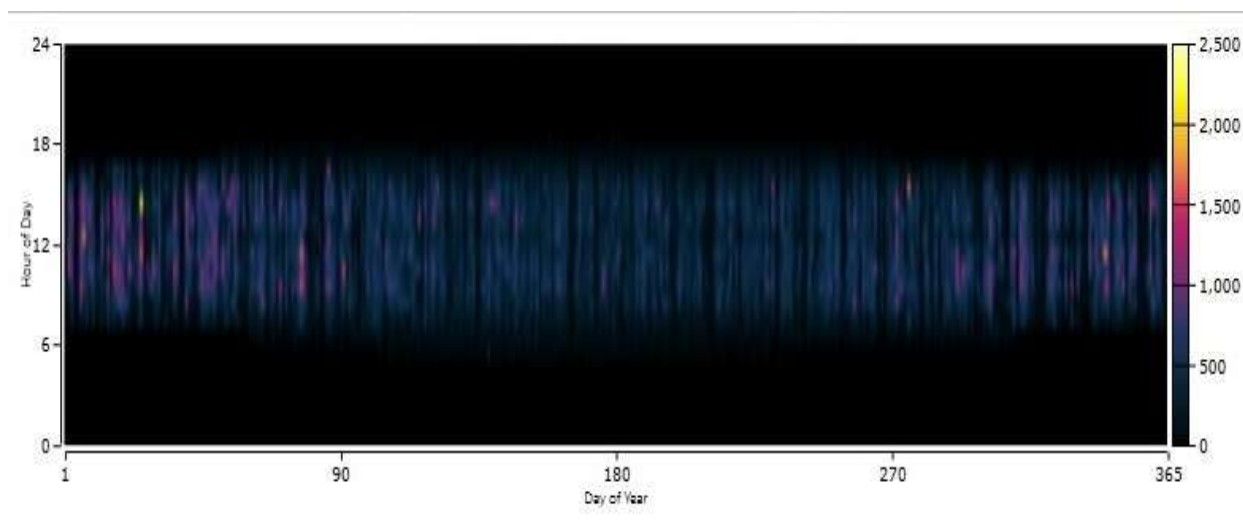
شکل (۴-۱۷): مقادیر ورودی/خروجی باتری برای مدل‌های LF و CC

¹ Load Following

² Cycle Charge

۴-۵- تحلیل مقدار نفوذپذیری انرژی‌های تجدید پذیر:

با توجه به شکل (۴-۱۸) و جدول (۴-۴) مشخص است که سیستم پیشنهادی، دارای نفوذپذیری بسیار بالایی است. انرژی تولیدشده توسط پنل خورشیدی، به‌اندازه‌ای است که مقدار بسیار زیادی از بار را تأمین کند. همچنین تأمین لحظه‌ای و کوتاه‌مدت بار، بر عهده باتری می‌باشد. هنگامی که تأمین باز توسط پنل خورشیدی و یا باتری صورت نگیرد، موتور بایودیزل این وظیفه‌دار بر عهده می‌گیرد. همان‌طور که مشخص است، پنل خورشیدی، مقدار بیشتری از بار موردنیاز را تأمین می‌کند که منجر به تولید بار اضافی می‌گردد. هرچند این بار با ذخیره شدن در باتری‌ها، در مواقع دیگر (هنگامی که تشعشعات خورشیدی در دسترس نیستند) مورد استفاده قرار می‌گیرد. موتور بایو دیزل در اکثر مواقع، نیاز به کار کردن به‌صورت تمام توان خود را ندارد چون تأمین بار بر عهده پنل خورشیدی و باتری‌ها است. این مورد به کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری موتور دیزل و همچنین کاهش مصرف سوخت کمک می‌کند. همین امر نشان‌دهنده نفوذپذیری بسیار بالای انرژی تجدید پذیر در سیستم پیشنهادی می‌باشد.



شکل (۴-۱۸): بار خروجی از منابع تجدید پذیر.

جدول (۴-۴): مقدار تولیدی منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر.

واحد	اندازه	سنجش بر اساس انرژی
%	۱۵۲	میزان نفوذپذیری انرژی‌های تجدید پذیر به‌تنهایی
%	۹۰	میزان نفوذ انرژی‌های تجدید پذیر در کل سیستم

۴-۶- نتایج هومر:

برای اعتبارسنجی و تأیید نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی و بهینه‌سازی مطرح‌شده در این تحقیق، تمامی اجزای سیستم هیبریدی پیشنهادی در نرم‌افزار هومر مدل‌سازی شد؛ مانند تمامی نرم‌افزارهای بهینه‌سازی، نرم‌افزار هومر نیز نتایج به‌دست‌آمده را به‌صورت طبقه‌بندی‌شده نشان می‌دهد. اولویت انتخاب‌شده توسط نرم‌افزار به‌صورت خودکار بر NPC می‌باشد؛ که اولین سیستم انتخاب‌شده دارای کمترین NPC در بین دیگر سیستم‌ها است. در جدول (۴-۵) مشخصات انتخاب اول نرم‌افزار نشان داده‌شده است.

جدول (۴-۵): سیستم هیبریدی انتخاب‌شده توسط هومر

سیستم انتخابی هومر	واحد	مشخصات سیستم
۵	kW	PV
۰	تعداد	توربین
۴,۶	kW	موتور
۱۲	تعداد	باتری
۲,۶	kW	مبدل
۱۸۸۶۹	\$	مجموع هزینه اولیه
۲۰۹۲۱	\$	NPC
۱۳۲۹	\$/yr	هزینه سالیانه
۲۲۶	\$/yr	هزینه تعویض سالیانه
۲۳۰	\$/yr	هزینه تعمیرات و نگهداری سالیانه
۱۹۷	\$/yr	هزینه کلی سوخت
۰,۴۳۹۳	\$/kWh	LCOE

البته باید گفت که همیشه ارزان‌ترین سیستم، بهترین انتخاب نیست. در این قسمت، طراح با توجه به تجربیات و البته در نظر گرفتن دیگر پارامترهای مهم مانند گازهای آلاینده، قابلیت اطمینان و ساعات کار موتور بهترین انتخاب را از میان سیستم‌های پیشنهادی نرم‌افزار انجام می‌دهد. با توجه به محور و موضوع این تحقیق، استفاده از منابع محیطی تجدید پذیر در کنار توجه به مقدار هزینه، قابلیت اطمینان و میزان آلاینده‌گی در سیستم‌های هیبرید نیز دارای ارجحیت خاص خود است.

می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به موارد گفته‌شده، سیستم انتخابی حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی که شامل پنل خورشیدی، بایودیزل، مبدل و باتری می‌باشد، هم به دلیل NPC کمتر تا ۱۳.۷۱ درصد و هم در نظر گرفتن کم شدن آلاینده‌گی به میزان ۱۷.۲ درصد و همچنین استفاده از منابع تجدید پذیر محیطی (خورشیدی)، در کنار قابلیت اطمینان بیشتر به مقدار ۲۰ درصد، انتخابی بهینه و مناسب‌تر است.

فصل پنجم

نتیجه گیری و ارائه پیشنهاداتی برای آینده

۵-۱- نتیجه گیری

در این پژوهش، به مدل سازی و بهینه سازی یک سیستم هیبریدی خورشیدی، بادی و بایودیزل به همراه باتری پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا تمامی اجزای دخیل در یک سیستم مناسب جهت استفاده در مناطق دورافتاده و جدا از شبکه با هدف کاهش هزینه و آلودگی و افزایش قابلیت اطمینان، شناسایی و به طور کامل مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. در ادامه، معادلات لازم برای شبیه سازی عملکرد هر یک از اجزا و بخش های سیستم و الگوریتم مناسب برای حل، آورده شده اند. به منظور حل، برنامه کد نویسی شده در نرم افزار استفاده شده (Matlab)، نتایج حاصل از مدل سازی با نرم افزار معروف هومر اعتبار سنجی شده است. در نهایت یک مدل مناسب برای سیستم هیبریدی خورشیدی، بادی و بایودیزل به همراه باتری طراحی شده است. در مقایسه با سیستم انتخابی هومر، سیستم پیشنهادی دارای NPC برابر با ۲۰۶۴۹ می باشد که ۱۳.۷۱٪ کمتر است. در رابطه با پارامتر LCOE که پیش تر در این پایان نامه توضیح داده شد و از اهمیت آن گفته شد، با توجه به نتایج، LCOE سیستم پیشنهادی با مقدار ۰.۳۷۷ دلار بر کیلووات در مقایسه با سیستم انتخابی هومر با مقدار ۰.۴۳۹ دلار بر کیلووات شاهد کاهش محسوس ۱۴.۷۳ درصدی را دارا می باشد.

همچنین در قسمت سوخت نیز با استفاده از سیستم خورشیدی، مقدار سوخت ۲۲۴.۵۴ دلار در سال کاهش یافته است که در مقایسه با سیستم انتخابی هومر نیز کاهشی به میزان ۱۷.۲ درصدی دارا می باشد.

در بخش گازهای آلاینده و آلاینده های که یکی از توابع هدف این پایان نامه بوده، در مقایسه با سیستم دیزلی، سیستم بهینه دارای تولید ۱۶۳.۵ کیلوگرم کربن دی اکسید در سال می باشد که کاهشی ۹۸.۳۵ درصدی داراست. همچنین در مورد دیگر گاز آلاینده اکسیدهای نیتروژن نیز شاهد کاهشی ۸۳.۴۵ درصدی می باشد که این کاهش برای گاز دی اکسید سولفور نیز ۸۳.۴۴ درصد است.

با توجه به دیگر تابع مورد نظر یعنی قابلیت اطمینان، سیستم بهینه دار LPSP برابر با ۰.۰۲۴ می باشد که نسبت به سیستم انتخابی هومر، ۲۰ درصد قابلیت اطمینان بیشتری دارد.

به دلیل عدم قطعیت مربوط به قیمت سوخت دیزل و سوخت بایو، سرمایه گذاری اولیه، هزینه های حمل و نقل، تعمیرات و نگهداری و با توجه حالات امکان پذیر، تحلیل حساسیت به شکل نسبتاً گسترده با توجه به تغییرات قیمت سوخت بایو دیزل، افزایش یا کاهش قیمت اجزای اصلی چون: موتور، پمپ خورشیدی و باتری و NPC و LCOE و Shortage Capacity و افزایش یا کاهش نرخ سود و همچنین آلودگی صورت گرفت. نتایج نشان دادند که سیستم بهینه شده توسط الگوریتم پیشنهادی، با توجه به هر سه تابع مدنظر، مناسب ترین و بهترین سیستم ممکن می باشد.

۵-۲- ارائه پیشنهادانی برای آینده

۱. بررسی استفاده بیشتر از سوخت بایودیزل
۲. بررسی استفاده از باتری های مختلف برای افزایش قابلیت اطمینان
۳. پیاده سازی کامل معادلات ریاضی مرتبط با سیستم
۴. تولید الکتریسیته و بررسی بیشتر اثرات زیست محیطی ناشی از سیستم های هیبریدی خورشیدی، بادی و بایو دیزل برای مناطق دورافتاده
۵. رفع مشکلات تکنیکی در شبیه سازی در نرم افزار، مانند ساینس سیستم هیبریدی برای تأمین الکتریسیته مورد نیاز
۶. انجام تحلیل های بیشتر اقتصادی، محیط زیست و انرژی بر روی سیستم پیشنهادی

۷. بررسی انواع مختلف انرژی‌های تجدید پذیر و شرایط ادغام آن‌ها در راستای تولید الکتریسیته

- [1]. energyenergy.ir
- [2]. ieht-renew.ir
- [3]. iranrea.com
- [4]. geosakht.ir
- [5] Energy Information Administration, "Annual Energy Outlook 2015 with Projections to 2040", US Energy Information Administration, Washington, DC, 2015.
- [6] R. S. Balog, J. W. Kimball and B. T. Kuhn, "A system design approach for unattended solar energy harvesting supply", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 24, Issue 4, pp. (2016) 952-962.
- [7] Ardakani FJ, Ardehali MM. Long-term electrical energy consumption forecasting for developing and developed economies based on different optimized models and historical data types. Energy Feb. (2014) 65:452e61.
- [8] M. Mofijur, H. Masjuki, M. Kalam, S.A. Rahman, H. Mahmudul, Energy scenario and biofuel policies and targets in ASEAN countries, Renew. Sustain. Energy Rev. 46 (2015) 51e61.
- [9] B.S. Chauhan, N. Kumar, H.M. Cho, A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Jatropha biodiesel oil and its blends, Energy 37 (2012) 616e622.
- [10] Satya Prakash Makhija & Dr. S P Dubey Cost comparisons of hybrid renewable energy systems comprising different fueled generators 2017.

- [11] M. Mofijur, H. Masjuki, M. Kalam, A. Atabani, Evaluation of biodiesel blending, engine performance and emissions characteristics of *Jatropha curcas* methyl ester: Malaysian perspective, *Energy* 55 (2013) 879e887.
- [12] S. Puan, N. Vedaraman, B.V. Ram, G. Sankarnarayanan, K. Jeychandran, Mahua oil (*Madhuca Indica* seed oil) methyl ester as biodiesel-preparation and emission characteristics, *Biomass Bioenergy* 28 (2005) 87e93.
- [13] M.Kharrich, O.H. Mohammed and M. Akherraz Design of Hybrid Microgrid PV/Wind/Diesel/Battery System: Case Study for Rabat and Baghdad licensed to EAI. 2020
- [14] Wanxi Penga,b, Akbar Malekic, Marc A. Rosend, Pouria Azarikhah Optimization of a hybrid system for solar-wind-based water desalination by reverse osmosis: Comparison of approaches *Desalination* 442 (2018) 16–31.
- [15] Aditya Kumar Nag, Shibayan Sarkar, Modeling of hybrid energy system for futuristic energy demand of an Indian rural area and their optimal and sensitivity analysis, *Renewable Energy* (2017), doi: 10.1016/j.renene.
- [16] Ali Saleh Aziz, Mohammad Faridun Naim Tajuddin , Mohd Rafi Adzman ,Makbul A. M. Ramli and Saad Mekhilef Energy Management and Optimization of a PV/Diesel/Battery Hybrid Energy System Using a Combined Dispatch Strategy 2019.
- [17] Demsew Mitiku Teferra Potential and feasibility study of standalone solar PV/wind/biogas and biodiesel hybrid electric supply system in Ethiopia *Int. J. Energy Technology and Policy*, Vol. 13, No. 4, 2017.
- [18] Shweta Goyal, Sachin Mishra & Anamika Bhatia Optimization of size of PV/wind/biodiesel by using Artificial Bee Colony (ABC) algorithm 2017.

- [19] Du Guangqian, Kaveh Bekhrad, Pouria Azarikhah, Akbar Maleki A hybrid algorithm based optimization on modeling of grid independent biodiesel-based hybrid solar/wind systems *Renewable Energy* 122 (2018) 551e560.
- [20] Shezan, S. A., Julai, S., Kibria, M. A., Ullah, K. R., Saidur, R., Chong, W. T., et al. Performance analysis of an off-grid wind-PV (photovoltaic)–diesel–battery hybrid energy system feasible for remote areas. *Journal of Cleaner Production* (2016) 125, 121–132.
- [21] S. Sinha, S. Chandel, Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic wind based hybrid energy systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 50 (2015) 755e769.
- [22] A. Maleki, M. Ameri, F. Keynia, Scrutiny of multifarious particle swarm optimization for finding the optimal size of a PV/wind/battery hybrid system, *Renew. Energy* 80 (2015) 552e563.
- [23] G. Panayiotou, S. Kalogirou, S. Tassou, Design and simulation of a PV and a PV Wind standalone energy system to power a household application, *Renew. Energy* 37 (2012) 355e363.
- [24] A.H. Mamaghani, S.A.A. Escandon, B. Najafi, A. Shirazi, F. Rinaldi, Techno economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia, *Renew. Energy* 97 (2016) 293e305.
- [25] M.A. Ramli, A. Hiendro, S. Twaha, Economic analysis of PV/diesel hybrid system with flywheel energy storage, *Renew. Energy* 78 (2015) 398e405.
- [26] W.K. Yap, V. Karri, An off-grid hybrid PV/diesel model as a planning and design tool, incorporating dynamic and ANN modelling techniques, *Renew. Energy* 78 (2015) 42e50.

- [27] S. Karellas, K. Terzis, D. Manolakos, Investigation of an autonomous hybrid solar thermal ORC PV RO desalination system. The Chalki island case, *Renew. Energy* 36 (2011) 583e590.
- [28] Akbar Maleki Modeling and optimum design of an off-grid PV/WT/FC/diesel hybrid system considering different fuel prices.
- [29] Soro S. Martin, Ahmed Chebak, Abderazak EI Ouafi & Mustapha Mabrouki Modeling and Simulation of Hybrid Power System Integrating Wind, Solar, Biodiesel Energies and Storage Battery (2016) 978-1-5090-5713-9/ IEEE.
- [30] Akbar Maleki, Ahmad Hajinezhad & Marc A. Rosen. Modeling and optimal design of an off-grid hybrid system for electricity generation using various biodiesel fuels: a case study for Davarzan, Iran, *Biofuels*, (2016) 10.1080/17597269.2016.1192443
- [31] Jun Cong Ge, Sam Ki Yoon and Nag Jung Choi Using Canola Oil Biodiesel as an Alternative Fuel in Diesel Engines: A Review *Appl. Sci.* (2017), 7, 881; doi:10.3390/app7090881.
- [32] Jun Cong Ge, Sam Ki Yoon, Min Soo Kim and Nag Jung Choi Application of Canola Oil Biodiesel/Diesel Blends in a Common Rail Diesel Engine *Appl. Sci.* (2017), 7, 34; doi:10.3390/app7010034.
- [33] Rezzouk, H., & Mellit, A. Feasibility study and sensitivity analysis of a stand-alone photovoltaic–diesel–battery hybrid energy system in the north of Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2015) 43, 1134–1150.
- [34] Zhao, Y. S., Zhan, J., Zhang, Y., Wang, D. P., & Zou, B. G. "The Optimal Capacity Configuration Of an Independent Wind/PV Hybrid Power Supply System Based On Improved PSO Algorithm", *IEEE*, pp.1-7, 2006.

- [35] J. Dhillon, Multi-objective Optimization Of power Dispatch Problem Using NSGA-II, Master of Engineering Power Systems & Electric Drives, Thapar University, Patiala, 2009.
- [36] Boomsma, T. K., Meade, N., & Fleten, S. E. "Renewable energy investments under different support schemes: A real options approach", *European Journal of Operational Research*, pp. 225–237, 2012.
- [37] Alvarez-Valdes, R., Crespo, E., Tamarit, J.M., & Villa, F. "GRASP and path relinking for project scheduling under partially renewable resources", *European*.
- [38] Yang, H., Zhou, W., Lua, L., & Fang, Z., "Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar–wind system with LPSP technology.
- [39] Wei, Z. Simulation and Optimum Design of Hybrid Solar-Wind and Solar-Wind-Diesel Power Generation Systems, Doctor of Philosophy. The Hong Kong Polytechnic University, 2007.
- [40] Scheaffer, L., Mulekar, S., & MvClave, T. Probability and Statistics for Engineers. (5th ed.), Canada: Richard Stratton, 2011.
- [41] Waqas, S. Development of an Optimisation Algorithm for Auto sizing Capacity of Renewable and Low Carbon Energy Systems, Master of Science, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde Engineering, 2011.
- [42] R. Dufo-Lopez, I.R. Cristobal-Monreal, J.M. Yusta, Optimisation of PV wind-diesel-battery stand-alone systems to minimise cost and maximise human development index and job creation, *Renew. Energy* 94 (2016) 280e293.
- [43] C. Smith, J. Burrows, E. Scheier, A. Young, J. Smith, T. Young, et al., Comparative life cycle assessment of a Thai Island's diesel/PV/wind hybrid microgrid, *Renew. Energy* 80 (2015) 85e100.

- [44] W.K. Yap, V. Karri, An off-grid hybrid PV/diesel model as a planning and design tool, incorporating dynamic and ANN modelling techniques, *Renew. Energy* 78 (2015) 42e50.
- [45] M.A. Ramli, A. Hiendro, S. Twaha, Economic analysis of PV/diesel hybrid system with flywheel energy storage, *Renew. Energy* 78 (2015) 398e405.
- [46] Fetanat, A., Khorasaninejad, E., “Size optimization for hybrid photovoltaic wind energy system using ant colony optimization for continuous domains based integer programming”, *Appl Soft Comput*, pp. (2015) 196–209.
- [47] G. Merei, C. Berger, D.U. Sauer, Optimization of an off-grid hybrid PV-Wind-Diesel system with different battery technologies using genetic algorithm, *Sol. Energy* 97 (2013) 460e473.
- [48] R. Kumar, R. Gupta, A.K. Bansal, Economic analysis and power management of a stand-alone wind/photovoltaic hybrid energy system using biogeography based optimization algorithm, *Swarm Evol. Comput.* 8 (2013) 33e43.
- [49] S. Sinha, S. Chandel, Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic wind based hybrid energy systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 50 (2015) 755e769.
- [50] A.H. Mamaghani, S.A.A. Escandon, B. Najafi, A. Shirazi, F. Rinaldi, Technoeconomic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia, *Renew. Energy* 97 (2016) 293e305.
- [51] O. Ekren, B.Y. Ekren, Size optimization of a PV/wind hybrid energy conversion system with battery storage using simulated annealing, *Appl. Energy* 87 (2010) 592e598.

- [52] Mahesh, A., Singh Sandhu, K., “Hybrid wind/photovoltaic energy system developments: Critical review and findings”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52. (2015) pp. 1135–1147.
- [53] M. Ismail, M. Moghavvemi, T. Mahlia, Techno-economic analysis of an optimized photovoltaic and diesel generator hybrid power system for remote houses in a tropical climate, *Energy Convers. Manag.* 69 (2013) 163e173.
- [54] A. Demirbas, in: *Biodiesel: a Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*, Springer-Verlag, London, 2008.
- [55] Y. Katsigiannis, P.S. Georgilakis, E.S. Karapidakis, Hybrid simulated annealing tabu search method for optimal sizing of autonomous power systems with renewables, *IEEE Trans. Sustain. Energy* 3 (2012) 330e338.
- [56] <http://www.afdc.energy.gov/>(Alternative Fuels Data Center).
- [57] Y. Bakelli, A. Hadj Arab, B. Azoui, Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept, *Sol. Energy* 85 (2011) 288e294.
- [58] A. Maleki, F. Pourfayaz, H. Hafeznia, M.A. Rosen, A novel framework for optimal photovoltaic size and location in remote areas using a hybrid method: a case study of eastern Iran, *Energy Convers. Manag.* 153 (2017) 129e143.
- [59] F. Caballero, E. Sauma, F. Yanine, Business optimal design of a grid-connected hybrid PV (photovoltaic)-wind energy system without energy storage for an Easter Island's block, *Energy* 61 (2013) 248e261.
- [60] A. Maleki, H. Hafeznia, M.A. Rosen, F. Pourfayaz, Optimization of a grid connected hybrid solar-wind-hydrogen CHP system for residential applications by efficient meta heuristic approaches, *Appl. Therm. Eng.* 123 (2017)1263e1277.

- [61] Flooded Lead-Acid Battery - 12V 100Ah/20hr, “Trojan.” [Online]. Available: <https://www.thepowerstore.com/trojan-flooded-lead-acid-battery-12v-100ah-20hr>. [Accessed:07-Jan-2018].
- [62] CBE, “InterestRates.” [Online]. Available: <http://www.cbe.org.eg/en/Pages/default.aspx>. [Accessed: 01-May-2016].
- [63] R. Luna-Rubio, M. Trejo-Perea, D. Vargas-Vázquez, and G. J. Ríos-Moreno, “Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies,” *Sol. Energy*, vol. 86, no. 4, pp. 1077–1088, 2012.
- [64] I. Fisher. *The Theory of Interest*. Philadelphia: Porcupine Press, 1930.
- [65] B. Leland and T. Anthony, *Engineering economy*, 6th. New York: McGraw Hill Publishers, 2002.
- [66] H. Yang, W. Zhou, L. Lu, and Z. Fang, “Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar wind system with LPSP technology by using genetic algorithm,” *Sol. energy*, vol. 82, no. 4, (2008) pp. 354–367.
- [67] S. Diaf, D. Diaf, M. Belhamel, M. Haddadi, and A. Louche, “A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/wind system,” *Energy Policy*, vol. 35, (2007) no. 11, pp. 5708–5718.
- [68] S. M. Hakimi and S. M. Moghaddas-Tafreshi, “Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system via particle swarm optimization for Kahnouj area in south-east of Iran,” *Renew. Energy*, vol. 34, no. 7, (2009) pp. 1855–1862.
- [69] B. Ai, H. Yang, H. Shen, and X. Liao, “Computer-aided design of PV/wind hybrid system,” *Renew. Energy*, vol. 28, no. 10, (2003) pp. 1491–1512.

- [70] S. Solomon, Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC, vol. 4. Cambridge University Press, 2007.
- [71] Simone Pereira de Souza, Sergio Pacca, Márcio Turrade Ávila, José Luiz B. Borges Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel RenewableEnergy35(2010)2552e2561
- [72] Agropalma. Personal information. Tailandia, PA; 2009.
- [73] Simapro. Classroom 2.0, Amersfoort. The Netherlands: Pre Consultants BV; 2008.
- [74] IPCC. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Hayama, Japan. National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES; 2006.

Abstract

The main contribution of this research is modeling and multi-objective optimization of off-grid hybrid renewable system with biodiesel generator and battery bank. There are many investigations based on hybrid wind and photovoltaic power systems but the investigation on the hybrid wind/photovoltaic/biodiesel/battery system is rarely found. Also considering the different types of storage systems is not included in previous studies. Here, the optimal design of a biodiesel/wind/photovoltaic/battery energy system for an off-grid area in Iran is studied. The objective of the optimum design is to minimize cost and pollutions and maximize the reliability (manifested as loss of power supply probability) of the hybrid system. For this cause, modeling, optimization, Economic Analyses, Sensitivity analyses on different types of batteries, load, components prices, interest rate, fuel prices and etc. has been done. The results show that the biodiesel/photovoltaic/battery system is the optimum choice. The proposed hybrid system has less fuel consumption, 13% cheaper, less Levelized cost of energy, 98.35% reduction of pollutions, renewable penetration of over 90% and also high reliability due to using biodiesel generator and battery bank as backup systems compared to common diesel generator systems.

Keywords: Renewable Hybrid Energy System, Biodiesel Energy, Sensitivity Analysis, Battery Bank Storage, Multi-Objective Optimization



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering

M.Sc. Thesis in Energy Systems

**Modeling and performance optimization of a hybrid
solar/wind/biodiesel system**

By:

Mohammad Mehdi Reisi

Supervisors:

Dr. Mohammad Hossein Ahmadi

Dr. Akbar Maleki

September 2020