طراحی ریزشبکه برای یک ساختمان اداری دارای نیروگاه خورشیدی

(مطالعه موردی: نیروگاه خورشیدی الهیه)

مهدی علومی بایگی

محمد مهدی عربشاهی

محمود مهربان خمارتاش

شرکت برق منطقه‌ای خراسان

چکیده

امروزه نیاز به قابلیت اطمینان بالا در بسیاری از بارهای تجاری و صنعتی، ضرورت ایجاد ریزشبکه برای تامین بار مورد نظر در شرایط جزیره‌ای[1] را ایجاد کرده است. انرژی خورشیدی به علت پاک بودن، عدم آلودگی صوتی و همچنین برخورداری از حمایت‌های دولت به‌عنوان یک گزینه مناسب برای تامین برق ریزشبکه مدنظر است. برای ساخت یک ریزشبکه، دو گام مهم نیازسنجی فنی و اقتصادی باید در نظر گرفته شود. در این مقاله نیاز سنجی فنی و اقتصادی برای بهره‌برداری از نیروگاه فتوولتاییک الهیه مشهد به‌صورت ریزشبکه فتوولتاییک انجام می‌شود. در حال حاضر نیروگاه خورشیدی الهیه مشهد به‌صورت متصل به شبکه[2]، توان تولیدی خود را به شبکه برق شهر تحویل می‌دهد؛ اما در صورت قطعی برق این نیروگاه از مدار خارج می‌شود. در این طراحی هدف این است که با اضافه کردن تجهیزات مورد نیاز، این نیروگاه خورشیدی به همراه سیستم ذخیره‌ساز در شرایط قطعی برق بتواند به کار خود ادامه دهد و بخشی از بار ساختمان شرکت برق منطقه‌ای خراسان را تامین کند. نیازسنجی فنی شامل معرفی مبدل‌های مورد نیاز، سیستم باتری و همچنین سایر تجهیزات جانبی برای بهره‌برداری از نیروگاه خورشیدی به صورت ریزشبکه است. همچنین برای بررسی اقتصادی نیز تعداد تجهیزات مورد نیاز براساس شرایط ریزشبکه مورد نظر معرفی می‌شود.

۱- مقدمه

امروزه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به‌دلیل روند رو به رشد قیمت سوخت‌های فسیلی و هم چنین مسایل زیست‌محیطی در بازار انرژی جهان رو به افزایش است. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، وضعیت سیستم‌های فتوولتاییک از یک بازار کوچک، به سمت بازاری عمده در جهان در حال تغییر است[۱]. در حال حاضر سیستم‌های فتوولتاییک یک درصد از انرژی الکتریسیته جهان را تولید می‌کنند[۲].

مهمترین دلیل گسترش سیستم‌های فتوولتاییک، قوانین دولت‌ها و همچنین تعرفه‌های موجود برای حمایت از سیستم‌های فتوولتاییک است[۳]. قیمت اجزای سیستم‌های فتوولتاییک، به عبارتی مبدل‌های خورشیدی و ماژول‌ها، به شدت در حال کاهش است و از این رو این سیستم‌ها قابلیت رقابت در بازار را پیدا خواهند کرد.

براساس داده‌های آماری، ایران در میان ۲۰ کشور اول جهان در تولید گازهای گلخانه‌ای قرار دارد[۳]. همچنین این کشور بین عرض جغرافیایی ۲۵/۱ تا ۴۰/۱ شمالی قرار دارد و از این رو در منطقه‌ای مناسب از نظر دریافت انرژی خورشیدی واقع شده است[۳]. با توجه به این ویژگی جغرافیایی مهم ایران، طرح‌های بسیاری در زمینه سیستم‌های خورشیدی در حال انجام است. یکی از این طرح‌ها، طراحی سیستم خورشیدی در شرکت برق منطقه‌ای خراسان در شهر مشهد است.

۲- طراحی ریزشبکه فتوولتاییک

تبدیل یک نیروگاه فتوولتاییک به یک ریزشبکه نیازمند دو مرحله طراحی و بررسی عملکرد سیستم است. در مرحله طراحی، تجهیزات مورد نیاز باید مشخص و برای هر یک ظرفیت مناسبی پیشنهاد شود. مهمترین موضوع در مرحله طراحی، تعیین تعداد باتری و

اینورتر مشخص برای اضافه شدن به نیروگاه فتوولتاییک است. بعد از مشخص شدن ظرفیت سیستم بانک باتری، مرحله بهره‌برداری مطرح میشود. به این معنی که در شرایط قطعی برق و اتصال به شبکه ریزشبکه چگونه عمل میکند.

به منظور طراحی یک سیستم خورشیدی برای یک بار همچون ساختمان اداری، فازهای مشخصی برای طراحی وجود دارد که باید انجام شود. اولین مرحله به‌دست آوردن اطلاعات دقیق در مورد آب و هوا و محیط مورد نظراست. در[۴]، از اطلاعات ساعتی آب و هوای یک منطقه در عمان که در طی دو سال جمع‌آوری شده، استفاده شده است. به‌جای اطلاعات ساعتی می‌توان از اطلاعات متوسط روزانه یا ماهانه نیز استفاده کرد که این نوع داده‌ها برای طراحی سیستمی در یونان استفاده شده است[۵].

گام دوم در طراحی سیستم خورشیدی تحلیل الگوی بار مصرفی است که مشابه اطلاعات آب و هوایی می‌توان از اطلاعات متوسط و یا ساعتی استفاده کرد[۶]،[۷]و [۸].

اضافه کردن باتری و اینورتر آخرین گام در طراحی سیستم فتوولتاییک است. برای به دست آوردن ظرفیت مناسب باتری، دو راه وجود دارد. راه اول فرایند حسی[۳] یا به‌عبارت بهتر تخمینی است. در[۹]،[۱۰]،[۱۱]،[۱۲] از این روش برای به‌دست آوردن ظرفیت مناسب باتری استفاده می‌شود. در این روش از مقادیر متوسط داده‌ها برای محاسبات استفاده می‌شود. این روش به‌علت سادگی و استفاده از مقادیر متوسط برای محاسبات سرانگشتی و همچنین ایجاد دیدگاه مناسب برای طراحی اولیه، بسیار مفید است. اما ایراد آن این است که نتیجه آن برای طراحی دقیق قابل استفاده نیست. لازم به‌ذکر است در شرایطی که داده‌های کافی در دسترس نباشد این روش بیشتر استفاده می‌شود. راه دیگر در تعیین ظرفیت باتری استفاده از شبیه‌سازی عددی است. در این روش وضعیت شارژ باتری و تامین بار به واسطه سیستم فتوولتاییک برای هر دوره زمانی که معمولا ساعت و یا روز می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود. در [۱۳]، با در نظر گرفتن اطلاعات دقیق مدل باتری شامل وضعیت شارژ و طول عمر باتری، اطلاعات بار و آب و هوا، ظرفیت باتری مشخص شده است. با این حال در این روش قطعی برق در نظر گرفته نشده است. در نظر نگرفتن قطعی برق به این معنا است که سیستم همیشه به شبکه متصل است و وضعیت اضطراری هیچگاه رخ نمی‌دهد که طبیعتا فرض مناسبی نیست. مرجع [۱۴] قطعی برق را نیز در نظر می‌گیرد و ظرفیت باتری را برای سیستمی با بار ساختمان تجاری، با در نظر گرفتن حداقل قابلیت اطمینان به‌دست می‌آورد. این کار برای ظرفیت‌های مختلف آرایه خورشیدی انجام شده و از بین آنها اقتصادی‌ترین گزینه انتخاب می‌شود. اما نکته مهم این است که برای هر ظرفیت آرایه خورشیدی باتری به‌دست آمده هرچند حداقل قابلیت اطمینان را ارایه می‌دهد اما لزوما برای آن آرایه خورشیدی اقتصادی‌ترین گزینه نیست. علت این موضوع این است که هر چند با افزایش قابلیت اطمینان هزینه اولیه سیستم بالاتر می‌رود اما هزینه‌های ناشی از قطعی برق که به ساختمان شرکت برق منطقه‌ای وارد می‌شود کاهش می‌یابد. از این رو هر چقدر هزینه‌های ناشی از قطعی برق بالاتر باشد، از نظر اقتصادی به صرفه‌تر است که سیستم باتری بزرگتر باشد تا قابلیت اطمینان سیستم بالاتر بشود.

در این طرح برای یک مجموعه آرایه خورشیدی ۱۱۰ کیلوواتی به همراه یک ساختمان اداری، یک سیستم باتری با ظرفیت مشخص و در نظر گرفتن تمام قیود عملی طراحی شده است. مسایلی همچون در دسترس بودن تجهیزات در ایران، نوع مناسب باتری و اینورتر و تامین برق به هر قیمتی در ساعات قطعی برق برای ساختمان برق منطقه‌ای خراسان در این مقاله در نظر گرفته شده است.

۳- نیروگاه خورشیدی الهیه

شکل (۱) نمایی از نیروگاه الهیه را نشان می‌دهد.

شکل۱: نمایی از نیروگاه الهیه

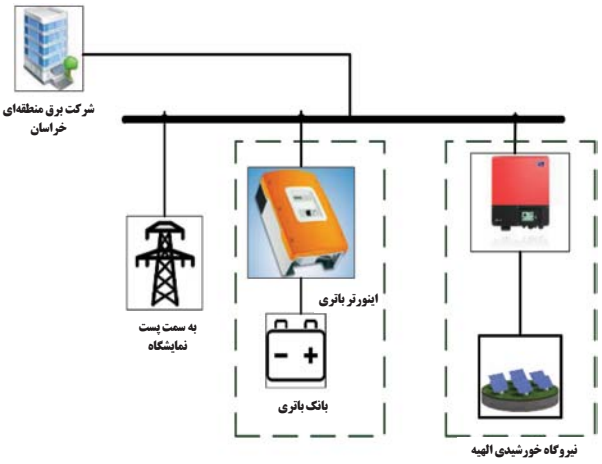
ساختار این نیروگاه به این صورت است که هر دوازده ماژول سری یک آرایه را تشکیل داده‌اند و این نیروگاه شامل ۴۵ آرایه است. هر سه آرایه که تقریباً دارای توان نامی ۷ کیلووات هستند، به یک اینورتر تک‌فاز از نوع SMC7000TL متصل شده‌اند. از این رو ۱۵ اینورتر در نیروگاه وجود دارد. این نوع اینورتر در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل۲: اینورتر متصل به شبکه نیروگاه الهیه

پنل خورشیدی از نوع AS-M200L است که توان نامی آن ۲۰۰ وات است. توان خروجی این نیروگاه حداکثر به حدود ۱۱۰ کیلووات می‌رسد.

۴- معرفی تجهیزات مورد نیاز

همانطور که در مقدمه اشاره شد یکی از اهداف این مقاله نیازسنجی فنی است. به عبارتی باید تمام تجهیزات مورد نیاز برای بهره‌برداری از نیروگاه الهیه به‌صورت ریزشبکه معرفی شود. تجهیزات اصلی برای بهره‌برداری از نیروگاه فتوولتائیک به‌صورت ریزشبکه در شکل (۳) اشاره شده است. تجهیزات اصلی عبارتند از: کلید انتقال خودکار[۴]، اینورتر باتری، بانک باتری.



شکل۳: ساختار کلی برای اضافه کردن سیستم باتری

۴-۱- اینورتر باتری

اینورتر Sunny Island 8.0 h ساخت شرکت SMA برای این طرح پیشنهاد می‌شود. شکل (۴) تصویر این اینورتر را نشان می‌دهد.

شکل۴: اینورتر Sunny Island 8.0 h [۱۵]

۴-۲- کلید انتقال خودکار

مهمترین وظیفه این تجهیز این است که در هنگام قطعی برق، با فرمان اینورتر Sunny Island 8.0h، ریزشبکه را از شبکه اصلی جدا کند. پس از آن سیستم باتری را متصل کرده و سپس اینورتر خورشیدی را نیز به ریزشبکه متصل نماید[۱۵].

۴-۳- سیستم باتری

باتری پیشنهادی برای این طرح مدل 6FM200D، است که توسط شرکت vision تولید می‌شود. جدول (۱) شامل مشخصات عمده این باتری است.

جدول ۱: مشخصات باتری مورد استفاده [۱۶]

پارامتر	مقدار
ظرفیت نامی باتری	۲۰۰ آمپر ساعت برای ۲۰ ساعت دشارژ ۱۸۷ آمپرساعت برای ۱۰ ساعت دشارژ ۱۷۹آمپرساعت برای ۵ ساعت دشارژ ۱۲۶ آمپر ساعت برای ۱ساعت
ولتاژ نامی	۱۲ ولت
خودتخلیه شدن	۳درصد در ماه

۵- نیازسنجی فنی و اقتصادی تجهیزات مورد نیاز

در این بخش تعداد تجهیزات و هزینه مورد نیاز برای طراحی ریزشبکه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. به این منظور باید تخمین درستی از بار در دسترس باشد. ریزشبکه خورشیدی باید بتواند بار ساختمان شرکت برق منطقه‌ای به‌جز سیستم تهویه را تامین کند. به عبارتی بار کامپیوترها، سیستم‌های روشنایی و غیره، بارهای مدنظر در این طراحی هستند.

براساس داده‌های موجود بار کلی ساختمان (شامل سیستم تهویه) در دسترس است. اما این مقدار بار مجموع بار سیستم تهویه و سایر تجهیزات است. در این طراحی هدف تامین بار سیستم تهویه نیست. بنابراین باید به‌نحوی مقدار بار بدون در نظر گرفتن سیستم تهویه محاسبه شود. هرگاه سیستم تهویه ساختمان خاموش باشد، بار کل ساختمان معادل با بار مورد نظر است. سیستم تهویه ساختمان در ایام خاصی از سال کاملا خاموش است. بنابراین کافی است میزان بار در این روزها در نظر گرفته شود. بارهای دیگر تقریبا در تمام ایام سال یکسان است چرا که مصارف آن مطابق با ساعات اداری و مستقل از آب و هوا است. بنابراین کافی است در یکی از روزهای سال که سیستم تهویه خاموش باشد مقدار بار مصرفی اندازه‌گیری شود. این کار با کمک پروفیل بار مصرفی ساختمان و تولید نیروگاه خورشیدی انجام شد. برای به‌دست آوردن میزان‌بار مصرفی کافی است در یک یا چند ساعت که سیستم تهویه خاموش باشد بار کل را اندازه‌گیری کرد. برای این کار از داده‌های اندازه‌گیری شده فیدرها و تولید خورشیدی استفاده شده است و در نهایت بار مصرفی مورد نظر ساختمان در حدود ۱۰۰ کیلووات است.

۵-۱- تعداد اینورترها

تعداد اینورترها براساس توان مورد نیاز برای تامین بار مشخص می‌شود. به این معنا که برای پایداری سیستم در حالت جزیره‌ای باید مجموعه‌ی اینورترها بتواند توان مورد نیاز بار را تحویل دهد. در این طراحی همانطور که قبلا ذکر شد اینورتر Sunny Island 8.0h استفاده شده است. توان بیشینه این اینورتر ۵/۴ کیلووات است. برای تامین‌بار استفاده از ۱۸ عدد اینورتر حدود ۱۰۰ کیلووات توان می‌دهد. همانطور که ذکر شد بار مصرفی در حدود ۱۰۰ کیلووات است که به نظر همین تعداد اینورتر می‌تواند بار را تامین کند. علت تاکید بر روی همین تعداد و اضافه نکردن اینورتر این است که در صورت اضافه کردن اینورتر برای سه فاز باید سه عدد اینورتر دیگر اضافه کرد که با توجه به قیمت این نوع اینورتر هزینه بسیار زیادی را تحمیل می‌کند.

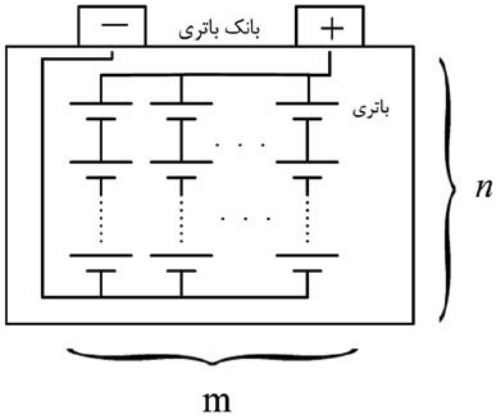
۵-۲- تعداد کلید انتقال خودکار

کلید انتقال خودکار قابلیت اتصال به یک مجموعه سه فاز اینورتر باتری یعنی سه اینورتر را دارد. بنابراین برای اتصال ۱۸ اینورتر باید از ۶ کلید انتقال خودکار استفاده کرد. در طراحی این ریزشبکه کلید انتقال خودکار با مدل 3ph battery backup G59 switch box ساخت شرکت SMA پیشنهاد می‌شود.

۵-۳- تعداد باتری

تعداد باتری بر اساس مدت زمان قطعی برق مشخص می‌شود چرا که باید انرژی مورد نیاز بار را در مدت قطعی برق و در بدترین حالت، یعنی زمانی که نیروگاه خورشیدی تولیدی نداشته باشد، تامین کند. از این رو به ازای هر ۱۵ دقیقه قطعی برق تعداد باتری‌های مورد نیاز را به‌دست خواهیم آورد. ذکر این نکته ضروری است که بار مصرفی روشنایی چون در طول روز به دما و ... وابسته نیست، تقریبا پروفیل مسطحی دارد و میزان بار به‌طور ثابت ۱۰۰ کیلووات در نظر گرفته

شده است. نکته قابل توجه دیگر این است که تعداد باتری‌ها به ولتاژ ورودی اینورتر باتری نیز وابسته است. به این معنا که بانک باتری مطابق با شکل (۵) از مجموعه سری و موازی باتری‌های 6FM200D تشکیل شده است. مساله مورد نظر به‌دست آوردن تعداد باتری‌های سری و موازی است. تعداد سری باتری‌ها از این محدودیت به‌دست می‌آید که ولتاژ ورودی اینورتر باید با ولتاژ بانک باتری یکسان باشد. ولتاژ ورودی Sunny Island 8.0h 48 ولت و ولتاژ باتری نیز مطابق با جدول(۱)، ۱۲ ولت است. بنابراین تعداد باتری سری (n) باید ۴ باشد. تعداد باتری موازی (m) نیز براساس انرژی مورد نیاز در شرایط قطعی برق به‌دست می‌آید.



شکل۵: شکل ساده شده بانک باتری متشکل از باتری‌های سری و موازی

هزینه کل

در این بخش به ازای هر مدت زمان قطعی برق تجهیزات مورد نیاز معرفی شده است. لازم به‌ذکر است که تعداد اینورتر به توان بار وابسته است، پس ثابت است. تعداد کلید انتقال خودکار نیز براساس تعداد اینورترها مشخص می‌شود و به قطعی برق ارتباطی ندارد و تعداد آن ثابت است. تنها تجهیز مهم همان باتری است که براساس قطعی برق تغییر می‌کند.

برای محاسبه تعداد باتری به ازای هر ۱۵ دقیقه قطعی برق ظرفیت باتری مورد نیاز محاسبه شده و تعداد باتری‌ها به‌دست می‌آید. تعداد باتری بر اساس مدت قطعی برق به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$N=(T\times Load)/(Cap\times DOD_{max}\times\eta\times(1-Caploss)) \quad (1)$$

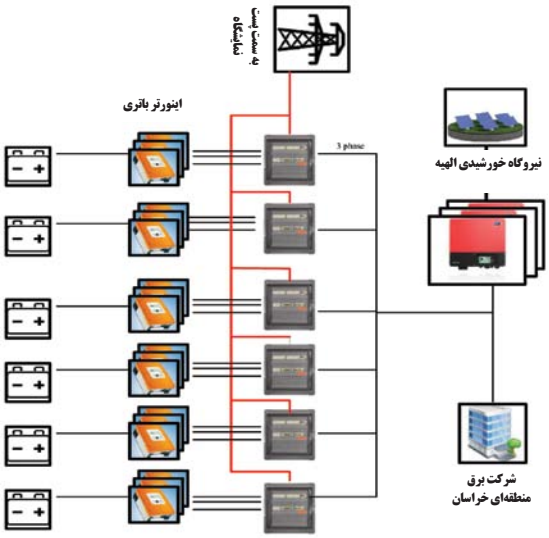
که در آن T مدت زمان قطعی برق، Load مقدار بار مصرفی ساختمان، Cap ظرفیت باتری و η نیز بازدهی اینورتر باتری، Caploss میزان کاهش ظرفیت باتری به خاطر طول عمر باتری است؛ DOD_{max} حداکثر مقدار مجاز از ظرفیت باتری برای دشارژ کردن است. این مقدار معمولا برای هر باتری توسط تولیدکننده آن ارایه می‌شود تا از دشارژ کردن بیش از حد باتری که باعث آسیب رسیدن به آن می‌شود جلوگیری شود. نهایتا N تعداد باتری مورد نیاز است. لازم به ذکر است Caploss در محاسبات همان مقدار کاهش ظرفیت نامی باتری است که به صورت متوسط ۵ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به نوع باتری مورد استفاده DOD_{max} نیز ۹۵ درصد درنظر گرفته شد. با توجه به توضیحات ارایه شده در نهایت هزینه تمام تجهیزات مورد نیاز در جدول (۲) نشان داده شده است. در این جدول قیمت تجهیزات با در نظر گرفتن مالیات و هزینه حمل و نقل محاسبه شده است.

۶- عملکرد ریزشبکه

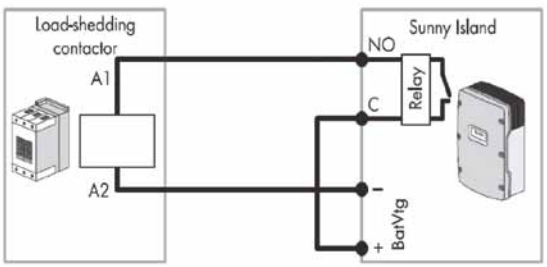
مطابق با تجهیزات معرفی شده و تعداد آنها، ساختار ریزشبکه به صورت شکل (۶) است. همانطور که در شکل دیده می‌شود شش گروه اینورتر دوطرفه در ریزشبکه است که هر گروه شامل سه اینورتر تک‌فاز است. در هر گروه یک اینورتر به‌صورت پایه [۵] و دو اینورتر دیگر به‌صورت پیرو[۶] است. در حالت متصل به شبکه اینورتر دوطرفه Sunny Island 8.0h از طریق اتصال به کلید انتقال خودکار ولتاژ لحظه‌ای شبکه را پایش می‌کند و در صورتی که اندازه و فرکانس ولتاژ از محدوده‌ای خارج شود رله‌ی موجود در اینورتر عمل کرده و دستور ایزوله شدن ریزشبکه از شبکه برق شهر را می‌دهد.

در شرایط جدا از شبکه اینورتر دوطرفه پایه ولتاژ سینوسی تولید می‌کند. اینورترهای پیرو به واسطه کابل مخابراتی به اینورتر پایه متصل هستند. در نتیجه این سه اینورتر با هماهنگی یکدیگر ولتاژ سه فاز متعادل و متقارن ایجاد میکنند. با این کار مرجع سه فاز سنکرون برای اینورتر SMC7000TL که به صورت متصل به شبکه کار می‌کند، ایجاد می‌شود. در واقع اینورتر باتری با ایجاد مرجع سنکرون از خاموش شدن اینورتر نیروگاه جلوگیری می‌کند. در شرایط جدا از شبکه اگر میزان توان تولیدی از مصرف بیشتر باشد، اینورتر دوطرفه باتری به‌صورت یکسوساز عمل کرده و شروع به شارژ باتری می‌کند. اگر میزان مصرف از تولید نیروگاه بیشتر باشد اینورتر شروع به تخلیه باتری می‌کند.

در صورتی‌که وضعیت شارژ باتری از حدی کمتر شود مطابق با شکل (۷) رله اینورتر دوطرفه عمل کرده و در نتیجه کنتاکتور، بارهای با اولویت پایین‌تر را قطع می‌کند.

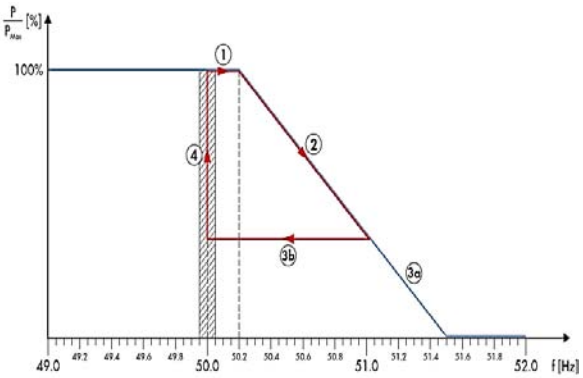


شکل۶: ساختار ریزشبکه



شکل۷: حذف بار در ریزشبکه

اگر شـارژ باتری بـاز هم کاهش یابـد اینورتر باتری بـرای محافظت به‌صورت خودکار خاموش می‌شود.
در شـرایط جدا از شـبکه، در صورتی که شارژ باتری به‌حداکثر خود رسـیده باشـد و از طرف دیگر میزان تولید از مصرف بیشـتر باشـد، بایـد توان تولیـدی نیروگاه کاهش یابد. برای اینـکار اینورتر دوطرفه باتـری فرکانس ریزشـبکه را افزایش می‌دهد. از طـرف دیگر اینورتر SMC7000TL می‌تواند برحسـب فرکانس شـبکه توان خود را تغییر دهد. شکل (۸) منحنی تغییرات توان خروجی اینورتر نیروگاه برحسب فرکانس را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود با افزایش فرکانس توان تولیدی آن کاهش می‌یابد. بنابراین از شـارژ شدن بیش از حد باتری جلوگیری شده و مانع آسیب رسیدن به آن می‌شود.



شکل ۸: تغییرات توان نسبت به فرکانس در اینورتر نیروگاه

نحوه عملکرد این منحنی به‌شرح ذیل است:
تا زمانی که فرکانس ۵۰Hz باشد اینورتر نیروگاه در حداکثر توان خود کار می‌کنـد. این موضوع تا زمانی که فرکانس به ۵۰/۲ Hz نرسـیده باشـد برقرار اسـت. این مقدار فرکانس نیز قابل تنظیم است. (قسمت ۱ منحنی). از فرکانس ۵۰/۲ Hz توان خروجی اینورتر با شـیب ۷۷% توان نامی بر هرتز کاهش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که فرکانس به‌صورت لحظه‌ای توسـط این اینورتر پایش می‌شـود. شـیب کاهش توان نیز قابل تنظیم اسـت (قسمت ۲ منحنی). اگر فرکانس همچنان افزایـش یابد اینورتر نیروگاه نیز توان خروجی خود را کاهش می‌دهد تا جایی که توان آن به صفر در فرکانس ۵۱/۵ Hz می‌رسـد (قسـمت a۳ منحنی). اگر فرکانس سیسـتم در مقداری بیشـتر از ۵۰/۲ Hz ثابـت بماند یا پس از مدتی از این مقدار شـروع به کاهش کند، توان اینورتر نیروگاه ثابت باقی می‌ماند (قسمت b۳ منحنی). به محض این که فرکانس سیسـتم به ۵۰/۰۵ Hz برسد، اینورتر توان خود را با نرخ ۱۰% توان نامی بر دقیقه افزایش می‌دهد. شیب افزایش توان نیز قابل تغییر است.

۷- زیرساخت ارتباطی مورد نیاز

یکی از مهمترین ویژگی‌های یک ریزشبکه هوشمند امکان فروش برق به‌صورت برنامه‌ریزی شـده اسـت. در حال حاضر پیاده‌سازی بازار برق از اهداف این طراحی نیسـت؛ چرا که قیمت برق در ایران بسیار پایین است و حتی سیاست‌های حمایتی سـال‌های اخیر دولت از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز این کار را توجیه نمی‌کند. از این رو شارژ و دشارژ کردن مداوم باتری در طول شبانه‌روز برای فروش برق برنامه‌ریزی شده صرفه اقتصادی ندارد.
هرچند در حال حاضر موضوع بازار برق مدنظر نیست، اما پیش‌بینی این مساله برای ریزشبکه موضوعی حیاتی به‌نظر می‌رسد؛ زیرا انتظار می‌رود در آینده قیمت برق به‌مقدار واقعی خود نزدیک‌تر شـود و حمایت‌های دولـت نیز از انرژی‌های تجدیدپذیـر افزایش یابد. برای این موضوع اولا نیازمند یک اندازه‌گیـر بانـام SMA Bidiectional Energy Meter در محل اتصال ریزشـبکه به شبکه برق شهر است تا میزان انرژی ورودی به ریزشـبکه و یا خروجی از آن به‌صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری شـود. ثانیـا برای مدیریت انرژی و بازار برق باید از دسـتگاه Sunny Home Manager سـاخت شرکت SMA اسـتفاده کرد. عملکرد این دستگاه به این صورت اسـت که با استفاده از کابل ارتباطی به‌صورت لحظه‌ای میزان انرژی مبادله شـده با شبکه را از اندازه‌گیر در ابتدای ریزشبکه دریافـت می‌کند. از طرف دیگر با اسـتفاده از پروفیل بار تخمینی در سـاعات آینده و همچنین اطلاعات آب و هوایی، برای میزان شـارژ و دشارژ باتری تصمیم‌گیری می‌کند. پروفیل بار با استفاده از مصرف بار در روزهای گذشته در همان ساعت تخمین زده می‌شود که برای این پروژه منطقی اسـت؛ چرا که نوع بار به وضعیت آب و هوایی وابسـته نیسـت و تقریبا در تمام سـال پروفیل مصرفی مشـابه‌ی دارد. برای به‌دست آوردن وضعیت آب و هوایی نیز این دستگاه از طریق اینترنت از مرجعی که شرکت SMA فراهم کرده است استفاده می‌کند. میزان تولیـد نیـز با اسـتفاده از نوع مـاژول و اطلاعات آن و با اسـتفاده از داده‌های به‌دست آمده تخمین زده می‌شود.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله نیاز سـنجی فنی و اقتصادی برای بهره‌برداری از نیروگاه فتوولتاییـک الهیه به‌صورت ریزشـبکه انجام شـد. با بررسـی تعداد تجهیزات مورد نظر براساس شـرایط موجود هزینه مورد نیاز تخمین زده شـد. ایـن کار با ارایه سـناریوهای مختلف براسـاس مدت زمان قطعی برق انجام شد. با بررسی‌های انجام شده، تجهیزات اصلی شامل ۱۸ اینورتر Sunny Island 8.0h و ۶ کلید انتقال خودکار شـد. تعداد باتری‌ها در سـناریوهای مختلف از ۳۲ باتـری vision تا ۲۴۰ باتری تغییر می‌کند. سـپس عملکرد ریزشـبکه هوشـمند در حالت متصل به شـبکه و جدا از شـبکه مورد بررسـی قرار گرفت. نهایتا زیرساخت ارتباطـی مورد نیاز بـرای بهره‌برداری از نیروگاه به‌صورت ریزشـبکه هوشمند معرفی شد تا در آینده بتوان موضوعاتی مانند بازار برق را در ریزشبکه پیاده‌سازی کرد.

***

پی‌نوشت‌ها:

1- Islanded mode
2- On-grid
3- Intuitive
4- Automatic transfer switch
5- Master
6- Slave

مراجع:

[1] [Online]. Available: http://www.epa.org.
[2] [Online]. Available: http://www.iea-pvps.org.
[3] Alamdari, Pouria, Omid Nematollahi, and Ali Akbar Alemrajabi, «Solar energy potentials in Iran: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 21, pp. 778-788, 2013.
[4] Kazem, Hussein A., Tamer Khatib, and K. Sopian, «Sizing of a standalone photovoltaic/battery system at minimum cost for remote housing electrification in Sohar, Oman,” *Energy and Buildings,* vol. 61,pp. 108-115, 2013.
[5] Soras, C., and V. Makios, «A novel method for determining the optimum size of stand-alone photovoltaic systems,» *Solar Cells,* vol. 25, no. 2, pp. 127-142, 1988.
[6] Gokcol, Cihan, and Bahtiyar Dursun, «A comprehensive economical and environmental analysis of the renewable power generating systems for Kırklareli University, Turkey,” *Energy and*

[11] J. CHAMBERLAIN, «IEEE Recommended Practice for Sizing Lead Acid Batteries in Photovoltaic Systems," Institute of Electrical and Electronics Engineers.
[12] McEvoy, Augustin, et al., eds, Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications, Elsevier, 2003.
[13] Aichhorn, Andreas, et al, «A cost effective battery sizing strategy based on a detailed battery lifetime model and an economic energy management strategy,» in *Power and Energy Society General Meeting*, 2012.
[14] Tan, Chee Wei, Tim C. Green, and Carlos A. Hernandez-Aramburo, «A stochastic method for battery sizing with uninterruptible-power and demand shift capabilities in PV (photovoltaic) systems,» *Energy,* vol. 35, no. 12, pp. 5082-5092, 2010.
[15] [Online]. Available: http://www.sma.de
[16] [Online]. Available: http://www.vision-batt.com
[17] [Online]. Available: http://www.amazon.com
[18] [Online]. Available: http://www.windandsun.co.uk
Buildings, vol. 64, pp. 249-257, 2013.
[7] W. X. Shen, «Optimally sizing of solar array and battery in a standalone photovoltaic system in Malaysia," *Renewable energy,* vol. 34, no. 1, pp.348-352,.2009
[8] Tan, Chee Wei, Tim C. Green, and Carlos A. Hernandez-Aramburo, «A stochastic method for battery sizing with uninterruptible-power and demand shift capabilities in PV (photovoltaic) systems," *Energy,* vol. 35, no. 12, pp. 5082-5092, 2010.
[9] Sharma, Vinod Kumar, Antonio Colangelo, and Giuseppe Spagna,»Photovoltaic technology: basic concepts, sizing of a stand alone photovoltaic system for domestic applications and preliminary economic analysis," Energy conversion and management, vol. 36, no. 3, pp. 161-174, 1995.
[10] Al-Ismaily, Hilal A., and Douglas Probert, «Photovoltaic electricity prospects in Oman," Applied energy, vol. 59, no. 2, pp. 97-124, 1998. McEvoy, Augustin, et al., eds, Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications, Elsevier, 2003.

جدول۲: تجهیزات مورد نیاز بر اساس زمان قطعی برق

ردیف	تجهیز مورد نیاز	باتری	اینورتر	جعبه سوییچ	هزینه کل به دلار
	نوع تجهیز مورد استفاده	Vision 6FM200D	Sunny island 8.0h (شامل تجهیزات جانبی)	Automatic Transfer 3ph battery) Switch backup G59 switch (box	
	قیمت تجهیز	۴۲۸ دلار [۱۷]	۴۳۰۰ دلار [۱۸]	۱۸۰۰ دلار [۱۸]	
۱	۱۵ دقیقه	۳۲	۱۸	۶	۱۰۲۰۰۰
۲	۳۰ دقیقه	۴۸	۱۸	۶	۱۰۹۰۰۰
۳	۴۵ دقیقه	۶۴	۱۸	۶	۱۱۶۰۰۰
۴	۱ ساعت	۷۶	۱۸	۶	۱۲۱۰۰۰
۵	۷۵ دقیقه	۸۸	۱۸	۶	۱۲۶۰۰۰
۶	۹۰ دقیقه	۱۰۰	۱۸	۶	۱۳۱۰۰۰
۷	۱۰۵ دقیقه	۱۱۲	۱۸	۶	۱۳۶۰۰۰
۸	۲ ساعت	۱۲۰	۱۸	۶	۱۴۰۰۰۰
۹	۱۳۵ دقیقه	۱۳۲	۱۸	۶	۱۴۵۰۰۰
۱۰	۱۵۰ دقیقه	۱۴۰	۱۸	۶	۱۴۸۰۰۰
۱۱	۱۶۵ دقیقه	۱۵۲	۱۸	۶	۱۵۳۰۰۰
۱۲	۳ ساعت	۱۶۰	۱۸	۶	۱۵۷۰۰۰
۱۳	۱۹۵ دقیقه	۱۷۲	۱۸	۶	۱۶۲۰۰۰
۱۴	۲۱۰ دقیقه	۱۸۰	۱۸	۶	۱۶۵۰۰۰
۱۵	۲۲۵ دقیقه	۱۹۲	۱۸	۶	۱۷۰۰۰۰
۱۶	۴ ساعت	۲۰۰	۱۸	۶	۱۷۴۰۰۰
۱۷	۲۵۵ دقیقه	۲۱۲	۱۸	۶	۱۷۹۰۰۰
۱۸	۲۷۰ دقیقه	۲۲۰	۱۸	۶	۱۸۲۰۰۰
۱۹	۲۸۵ دقیقه	۲۳۲	۱۸	۶	۱۸۷۰۰۰
۲۰	۵ ساعت	۲۴۰	۱۸	۶	۱۹۱۰۰۰