

# تأثیر هدفمندسازی یارانه‌ها بر نوع واحدهای موجود در میکروشبکه خودمختار

حمید حسن زاده فرد<sup>۱\*</sup>، سید مسعود مقدس تفرشی<sup>۲</sup>، سید مهدی حکیمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۸۹/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۹۰/۲/۲۷

چکیده:

در دهه اخیر مشکلات ناشی از آلودگی زیست محیطی و اهمیت توسعه پایدار در نزد جهانیان بطور چشمگیری مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مسائلی که بیشترین توجه را در این زمینه به خود معطوف کرده، نوع منابع انرژی مورد استفاده است. امروزه با توجه به حذف یارانه سوخت و آزاد سازی قیمت ها، استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی مانند بادی و خورشیدی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله از انرژی های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی و ذخیره ساز باتری و همچنین سیستم پشتیبان پیل سوختی جهت تامین بار میکروشبکه نمونه استفاده می شود. با توجه به اینکه هیروژن پیل سوختی موجود در میکروشبکه از گاز طبیعی حاصل می شود، از این رو تأثیر حذف یارانه سوخت بر نوع واحدهای موجود در میکروشبکه مورد بررسی قرار می گیرد. بارهای موجود در میکروشبکه از بارهای حساس و قابل قطع تشکیل شده است. هنگامی که توان تولیدی میکروشبکه کمتر از توان مورد نیاز میکروشبکه باشد، ابتدا بارهای قابل قطع، قطع می شوند و در صورت نیاز بارهای حساس قطع خواهند شد. هدف از این مقاله کمینه سازی هزینه این میکروشبکه با توجه به تغییر قیمت سوخت در طول عمر ۲۰ سال می باشد. هزینه ها شامل هزینه سرمایه گذاری اولیه، تعمیرات و نگهداری و هزینه جایگزینی واحد ها، جریمه برای بارهای تامین نشده و همچنین هزینه سوخت می باشد. از الگوریتم اجتماع ذرات جهت بهینه سازی واحد ها استفاده شده است.

کلمات کلیدی:

الگوریتم اجتماع ذرات، حذف یارانه ها، قابلیت اطمینان، میکروشبکه

۱) دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، [h.hassanzadehfard@ee.kntu.ac.ir](mailto:h.hassanzadehfard@ee.kntu.ac.ir)

۲) دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، [tafreshi@eetd.kntu.ac.ir](mailto:tafreshi@eetd.kntu.ac.ir)

۳) دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، [hakimi@ieee.org](mailto:hakimi@ieee.org)

\* نویسنده مسئول

## مقدمه

امروزه با توجه به افزایش مصارف صنعتی و گسترش طرحهای شهری، نیاز به انرژی الکتریکی افزایش چشمگیری داشته است. افزایش هزینه ها و سخت گیری آیین نامه های زیست محیطی، هزینه ساخت نیروگاههای بزرگ را افزایش داده است. محدود بودن منابع سوختی از یک طرف و حذف یارانه سوخت و افزایش قیمت آن از طرفی دیگر باعث شده است که استفاده از منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر مانند انرژی بادی، خورشیدی و غیره بیشتر مورد توجه قرار گیرد. برای استفاده بهینه از منابع تولید پراکنده استفاده از سیستمی که در آن تولید و بارهای مربوطه در قالب یک شبکه کوچک عمل کنند (میکروشبکه)، مناسب می باشد. مفهوم میکروشبکه در ابتدا در کشور آمریکا تحت عنوان ائتلاف چند شرکت برای راه حل های تکنولوژی اطمینان الکتریکی (CERTS) مطرح شد [۹]. میکروشبکه از واحدهای تولید پراکنده (میکروتوربین ها، پانل های خورشیدی، پیل سوختی و ژنراتورهای توربین بادی و...)، تجهیزات ذخیره انرژی (فلای ویل ها، خازن ها، باتری ها و...) و بارها در سیستم ولتاژ پایین تشکیل شده است [۳، ۶ و ۱۱]. در این مقاله بهینه سازی میکروشبکه مبتنی بر واحد های بادی، خورشیدی، پیل سوختی به همراه ذخیره کننده باتری انجام گرفته شده است. دلایل استفاده از این واحد ها عبارتند از: استفاده از واحدهای خورشیدی و بادی با توجه به شرایط محیطی و استفاده از انرژی های پاک، استفاده از پیل سوختی به عنوان پشتیبان قابل اطمینان و استفاده از باتری به عنوان ذخیره ساز انرژی. در میکروشبکه مورد بررسی هرگاه توان تولیدی واحد های موجود در میکروشبکه توانایی تامین بار مورد نیاز میکروشبکه را نداشته باشند، ابتدا بار های قطع پذیر و سپس بارهای حساس، قطع می شوند. از گاز طبیعی جهت تولید هیدروژن مورد نیاز پیل سوختی استفاده می شود. افزایش قیمت سوخت باعث کاهش استفاده از پیل سوختی و افزایش استفاده از انرژی بادی و تابش خورشید در میکروشبکه می شود. جهت بهینه سازی سازه های موجود در میکروشبکه از الگوریتم اجتماع ذرات استفاده شده است.

## واحدهای موجود در میکروشبکه

## توربین بادی

مراجع روابط مختلفی جهت محاسبه توان خروجی توربین بادی ارائه کرده اند. یک مدل ساده برای محاسبه توان خروجی توربین بادی با در دسترس بودن توان نامی توربین بادی، سرعت قطع پایین، سرعت قطع بالا و سرعت لحظه ای باد مطابق رابطه (۱) بدست می آید [۷]:

$$(1) \begin{cases} 0 & V < V_{cut-in}, V > V_{cut-off} \\ P_{rated} \times ((V - V_{cut-in}) / (V_{rated} - V_{cut-in}))^3 & V_{cut-in} \leq V < V_{rated} \\ P_{rated} & V_{rated} \leq V \leq V_{cut-off} \end{cases}$$

که در این رابطه  $V_{cut-in}$  سرعت قطع پایین بر حسب متر بر ثانیه،  $V_{cut-off}$  سرعت قطع بالا بر حسب متر بر ثانیه،  $V_{rated}$  سرعت نامی بر حسب متر بر ثانیه،  $V$  سرعت لحظه ای باد بر حسب متر بر ثانیه و  $P_{rated}$  توان نامی توربین

بر حسب کیلووات می باشد. توان نامی توربین های بادی ۷/۵ کیلووات، هزینه سرمایه گذاری اولیه ۱۹۴۰۰ دلار، هزینه جایگزینی ۱۵۰۰۰ دلار، هزینه تعمیرات و نگهداری ۷۵ دلار در سال و عمر مفید آن ۲۰ سال در نظر گرفته می شود.

### واحدهای خورشیدی

روند استفاده از انرژی خورشیدی در طی سال های اخیر رو به رشد و کاملاً تکاملی بوده است، به گونه ای که امروزه تکنولوژی های استفاده از انرژی خورشیدی بسیار پیشرفته و دارای بازدهی قابل قبول می باشند. تولید سیستم های خورشیدی به میزان تابش در دسترس خورشید بستگی دارد.

برخی از مزایای استفاده از آرایه های خورشیدی عبارتند از:

تکنولوژی ساده، مستقیماً انرژی تابشی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند و کم صدا می باشد و همچنین با پیشرفت تکنولوژی قیمت ها پایین و بازده بالا رفته است. توان خروجی آرایه های خورشیدی توسط رابطه (۲) به دست می آید [۱]:

$$P_{PV} = \eta_g * N * A_m * G_T \quad (2)$$

که در آن  $P_{PV}$  توان خروجی آرایه های خورشیدی بر حسب وات،  $\eta_g$  بازدهی آرایه های خورشیدی،  $N$  تعداد آرایه های خورشیدی،  $A_m$  مساحت هر یک از آرایه های خورشیدی و  $G_T$  شدت تابش خورشید بر حسب وات بر متر مربع می باشد. توان نامی هر یک از واحد های خورشیدی یک کیلووات، هزینه سرمایه گذاری اولیه ۴۰۰۰ دلار، هزینه جایگزینی ۳۰۰۰ دلار و عمر مفید آن ۲۰ سال در نظر گرفته می شود. برای واحد های خورشیدی هزینه ای برای تعمیرات و نگهداری در نظر گرفته نمی شود.

### پیل سوختی

در این مقاله از پیل سوختی غشایی تعویض پروتون (Proton Exchange Membrane) PEM استفاده شده است. توان نامی آن برابر ۱ کیلووات و هزینه سرمایه گذاری اولیه و جایگزینی آن به ترتیب ۳۵۰۰ و ۳۰۰۰ دلار و هزینه تعمیرات و نگهداری آن برابر ۱۷۵ دلار در سال و عمر مفید آن ۵ سال در نظر گرفته می شود.

وظیفه تولید هیدروژن مورد نیاز پیل سوختی بر عهده رفورمر می باشد. رفورمر با پردازش سوخت اولیه (گاز طبیعی) به تولید هیدروژن می پردازد.

در ادامه میزان سوخت (گاز طبیعی) مصرفی جهت تولید یک کیلو وات ساعت انرژی در پیل سوختی، محاسبه می گردد.

۹۵٪ گاز طبیعی از متان تشکیل شده است. هر متر مکعب متان معادل ۱/۲۹ متر مکعب گاز هیدروژن می باشد [۸]. با توجه به این که ارزش گرمایی هیدروژن در شرایط استاندارد برابر ۳/۴ کیلووات ساعت بر متر مکعب است، با در نظر گرفتن بازدهی  $\eta_{fc}$  برای پیل سوختی، هر متر مکعب سوخت (گاز طبیعی) مطابق محاسبات رابطه (۳) قادر به تولید  $\eta_{fc} * 4/1667$  کیلو وات ساعت برق در مجموعه پیل سوختی - رفورمر می باشد.

$$1/29 \text{ (m}^3\text{)} * 3/4 \frac{kWh}{m^3} * 0.95 = 4/1667 * \eta_{fc} \text{ (kWh)} \quad (3)$$

بنابراین مقدار سوخت مورد نیاز جهت تولید یک کیلو وات ساعت انرژی توسط پیل سوختی E مطابق رابطه (۴) محاسبه می گردد.

$$E\left(\frac{m^3}{kWh}\right) = \frac{1}{4.1667 * \eta_{fc}} \quad (4)$$

### باتری

با توجه به اینکه توان تولیدی آرایه های خورشیدی و واحد های بادی به میزان قابل توجهی به شرایط آب و هوایی بستگی دارد. تغییرات طبیعی در سرعت باد و تابش خورشید به ترتیب باعث نوسان توان واحد های بادی و خورشیدی می شود. بنابراین برای استفاده از حداکثر توان تولیدی انرژی بادی و خورشیدی از تجهیزات ذخیره کننده انرژی مانند باتری استفاده می شود [۴]. بدین صورت که مازاد توان تولیدی انرژی بادی و خورشیدی در باتری ذخیره می شود و در هنگام کمبود توان، باتری اختلاف توان را جبران می کند. محدودیت انرژی ذخیره شده در باتری به صورت رابطه (۵) در نظر گرفته می شود.

$$E_{bat \min} \leq E_{bat}(t) \leq E_{bat \max} \quad (5)$$

که در این رابطه  $E_{bat \min}$  مینیمم ظرفیت ذخیره و  $E_{bat \max}$  ماکزیمم ظرفیت ذخیره باتری می باشد.

مقدار حداقل انرژی ذخیره شده در باتری توسط حداکثر توانایی دشارژ باتری به صورت رابطه (۶) محاسبه می شود.

$$E_{bat \min} = (1 - DOD) * E_{bat \max} \quad (6)$$

در این رابطه DOD حداکثر توانایی دشارژ باتری می باشد.

در این پایان نامه مقدار حداکثر توانایی دشارژ باتری برابر ۰/۸ در نظر گرفته می شود.

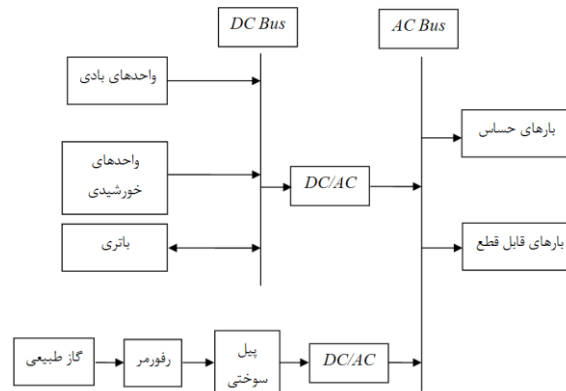
باتری های استفاده شده در این مقاله با ظرفیت ۲/۷۶ کیلووات ساعت در نظر گرفته می شود. هزینه سرمایه گذاری اولیه و جایگزینی آن به ترتیب ۲۶۴ و ۲۶۰ دلار و هزینه تعمیرات و نگهداری آن برابر ۲/۶۴ دلار در سال و عمر مفید آن ۳ سال در نظر گرفته می شود.

### بارهای موجود در میکروشبکه

۱۰٪ بارهای موجود در میکروشبکه از بارهای قابل قطع و ۹۰٪ آن را بارهای حساس تشکیل داده است. در این مقاله هزینه قطع بارهای حساس و بارهای قابل قطع به ترتیب برابر ۵/۶ و ۰/۵۶ بر حسب دلار به ازای هر کیلو وات ساعت در نظر گرفته می شوند. در این مقاله فرض می شود در هر زمان تنها ۱۰٪ بارهای حساس با رعایت محدودیت قابلیت اطمینان، می تواند قطع شود.

### مدل میکروشبکه و استراتژی عملکرد

مدل میکروشبکه مورد بررسی در این مقاله در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: میکروشبکه مورد بررسی

برای میکروشبکه ۳ استراتژی عملکرد زیر را در نظر می گیریم:

۱. مجموع توان تولیدی توسط آرایه های خورشیدی و واحد های بادی برابر توان مورد نیاز میکروشبکه  $P_{Load}(t)$  باشد. در این حالت توان تولیدی پیل سوختی  $P_{FC}(t)$  برابر صفر خواهد بود. در این حالت معادلات به صورت روابط (۷) خواهند بود.

$$P_{wind}(t) + P_{PV}(t) = (P_{Load}(t) / \eta_{DC/AC})$$

$$E_{bat}(t + \Delta t) = E_{bat}(t)$$

$$P_{FC}(t) = 0 \quad (7)$$

که در این رابطه  $P_{wind}(t)$ ،  $P_{PV}(t)$  و  $P_{Load}(t)$  به ترتیب توان تولیدی واحد های بادی، خورشیدی و بار مورد نیاز میکروشبکه در زمان  $t$  می باشد.  $\eta_{DC/AC}$  بازدهی مبدل DC/AC،  $E_{bat}(t)$  و  $E_{bat}(t + \Delta t)$  انرژی ذخیره شده در باتری در زمان های  $t$  و  $t + \Delta t$  می باشد.

۲. مجموع توان تولیدی توسط آرایه های خورشیدی و واحد های بادی بیشتر از توان مورد نیاز میکروشبکه می باشد.

در این حالت مازاد تولید توان واحد های بادی و خورشیدی در باتری ذخیره می شود. روابط بصورت (۸) خواهند بود:

$$P_{wind}(t) + P_{PV}(t) > (P_{Load}(t) / \eta_{DC/AC})$$

$$E_{bat}(t + \Delta t) = E_{bat}(t) + (P_{wind}(t) + P_{PV}(t) - P_{Load}(t) / \eta_{DC/AC}) * \Delta t * \eta_{cha} \quad P_{FC}(t) = 0 \quad (8)$$

$\eta_{cha}$  بازدهی شارژ باتری می باشد. در این حالت هرگاه انرژی ذخیره شده در باتری از ماکزیمم ظرفیت آن بیشتر باشد، انرژی ذخیره

شده در باتری طبق رابطه (۹) برابر ماکزیمم ظرفیت آن در نظر گرفته خواهد شد:

$$E_{bat}(t + \Delta t) = E_{bat \max} \quad (9)$$

۳. مجموع توان تولیدی توسط آرایه های خورشیدی و واحد های بادی کمتر از توان مورد نیاز میکروشبکه باشد:

$$P_{wind}(t) + P_{PV}(t) < (P_{Load}(t) / \eta_{DC/AC}) \quad (10)$$

آنگاه ۲ حالت زیر مورد بررسی واقع می شوند:

حالت اول: باتری ها به همراه آرایه های خورشیدی و واحد های بادی توانایی تامین بار میکرو شبکه را دارند.

$$P_{wind}(t) + P_{PV}(t) + (E_{bat}(t) - E_{bat \min}) * \eta_{dech} / \Delta t > (P_{Load}(t) / \eta_{DC/AC}) \quad (11)$$

در این حالت معادلات بصورت روابط (۱۲) خواهند بود:

$$E_{bat}(t + \Delta t) = E_{bat}(t) + (P_{wind}(t) + P_{PV}(t) - P_{Load}(t) / \eta_{DC/AC}) * \Delta t / \eta_{dech} \\ P_{FC}(t) = 0 \quad (12)$$

حالت دوم: باتری ها به همراه آرایه های خورشیدی و واحد های بادی توانایی تامین بار میکروشبکه را ندارند، آنگاه پیل سوختی نیز به همراه باتری ها به کمک آرایه های خورشیدی و واحد های بادی توان مورد نیاز میکروشبکه را تامین می کنند. در این حالت معادلات مربوطه به صورت (۱۳) خواهند بود:

$$E_{bat}(t + \Delta t) = E_{bat \min} \quad (13) \\ P_{FC}(t) = (P_{Load}(t) / \eta_{DC/AC}) - P_{PV}(t) - P_{wind}(t) - (E_{bat}(t) - E_{bat \min}) * \eta_{dech} / \Delta t$$

در این حالت هرگاه مجموع توان تولیدی واحد های موجود در میکروشبکه توانایی تامین بار را نداشته باشند، ابتدا بارهای قابل قطع و سپس بارهای حساس قطع خواهند شد.

### هزینه میکروشبکه

مقایسه اقتصادی پروژه ها، با اهمیت ترین نوع تصمیم گیری برای هر مدیر است. یک مدیر باید با انتخاب یکی از تکنیک های اقتصاد مهندسی و کاربرد آن، اقتصادی ترین پروژه را معرفی نماید. روش ارزش فعلی یکی از مهم ترین و در ضمن ساده ترین تکنیک های اقتصاد مهندسی است. محاسبه ارزش فعلی یک فرآیند مالی، تبدیل ارزش آینده کلیه هزینه ها به ارزش فعلی در زمان حال یا مبدا پروژه می باشد، که در این مقاله از این روش استفاده می شود. ارزش فعلی هزینه های هر یک از اجزای سیستم در زمان حال بر اساس رابطه (۱۴) محاسبه می شود [۱۰]:

$$NPC = N * (capital\_cost + replacement\_cost * K + operation \& maintenance\_cost * \frac{1}{CRF(ir, R)}) \quad CRF(ir, R) = \frac{ir * (1+ir)^R}{(1+ir)^R - 1}$$

$$K = \sum_{n=1}^y \frac{1}{(1+ir)^{L*n}} \quad (14)$$

که  $L$  طول عمر هر مولد بر حسب سال،  $N$  تعداد بهینه هر یک از واحدها،  $y$  تعداد جایگزینی هر مولد در طول عمر پروژه،  $ir$  نرخ بهره و  $R$  طول عمر پروژه می باشد.

### تابع هدف

تابع هدف مجموع ارزش فعلی هزینه ها می باشد.

$$NPC = NPC_{wind} + NPC_{PV} + NPC_{battery} + NPC_{FC} + NPC_{reformer} + NPC_{fuel} + NPC_{DC/AC} + NPC_{Pi} + NPC_{Pui} \quad (15)$$

که در رابطه (۱۵)  $NPC_{Pui}$  و  $NPC_{Pi}$  هزینه فعلی بابت جریمه برای قطع بارهای قابل قطع و حساس،  $NPC_{wind}$ ،  $NPC_{PV}$ ،  $NPC_{battery}$ ،  $NPC_{FC}$ ،  $NPC_{reformer}$ ،  $NPC_{DC/AC}$  ارزش فعلی هزینه های مربوط به واحدهای بادی، خورشیدی، باتری، پیل سوختی، رفورمر و مبدل  $DC/AC$  و  $NPC_{fuel}$  هزینه فعلی جهت استفاده از سوخت می باشد که توسط رابطه (۱۶) بدست می آید.

$$NPC_{fuel} = \sum_{t=1}^{8760} P_{fc}(t) * C_{fuel} * E / CRF(ir, R) \quad (16)$$

که در رابطه (۱۶)  $C_{fuel}$  هزینه سوخت بر حسب دلار بر متر مکعب و  $P_{fc}(t)$  توان تولیدی پیل سوختی در زمان  $t$  می باشد.

هدف، مینیمم کردن تابع هدف رابطه (۱۵) می باشد که در این مقاله به منظور کمینه سازی تابع هدف از الگوریتم اجتماع ذرات استفاده می شود.

### قابلیت اطمینان

مراجع شاخص های متعددی را برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم ها ارائه کرده اند [۲۰ و ۲۱] که از جمله آنها می توان به شاخص هایی نظیر امید قطع بار، امید از دست رفتن انرژی و یا امید انرژی تامین نشده، احتمال از دست رفتن منبع، ضریب قطع معادل بار (Equivalent Loss Factor) ELF و موارد دیگری از این دست اشاره نمود.

از آنجایی که ELF در برگرنده اطلاعات بیشتری، هم درباره تعداد قطعی ها و هم مقدار آنها می باشد، در این پروژه از آن به عنوان معیار اصلی قابلیت اطمینان استفاده خواهد شد [۲۰ و ۲۱].

ضریب قطع معادل بار را می‌توان به صورت رابطه (۱۷) تعریف نمود:

$$ELF = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{Q_{ui}(t)}{P_{ui}(t)} \quad (17)$$

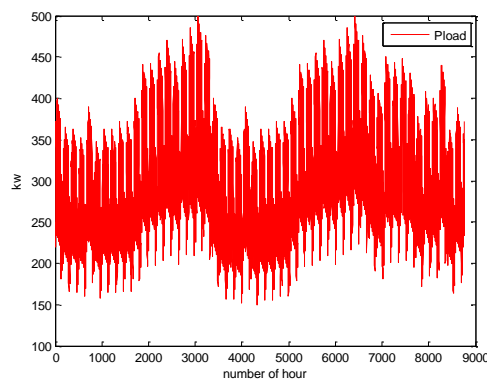
که در این رابطه  $P_{ui}(t)$  و  $Q_{ui}(t)$  به ترتیب بارهای حساس و بارهای حساسی که تامین توان نشده اند، می‌باشند و  $N$  تعداد ساعات می‌باشد.

محدودیت ضریب قطع معادل بار در این مقاله بصورت رابطه (۱۸) در نظر گرفته می‌شود:

$$ELF \leq 0.01 \quad (18)$$

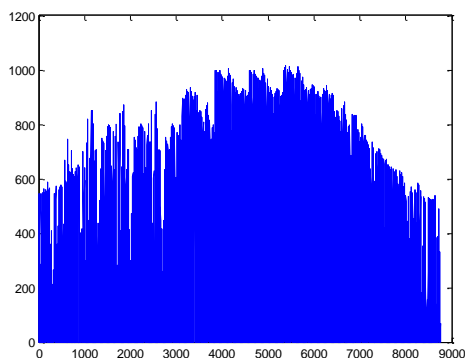
### نتایج شبیه سازی

در این مقاله از منحنی بار استاندارد IEEE با پیک ۵۰۰ کیلو وات استفاده شده است. اطلاعات تابش خورشید و سرعت باد مربوط به منطقه گنجه واقع در شمال غرب کشور ایران می‌باشد. طول عمر پروژه ۲۰ سال و نرخ بهره ۸٪ در نظر گرفته شده است. قیمت سوخت در ابتدا بصورت کاملاً یارانه ای و برابر ۰/۰۱ دلار به ازای هر متر مکعب در نظر گرفته می‌شود. شبیه سازی بوسیله نرم افزار Matlab انجام گرفته شده است. منحنی بار، تابش خورشید و سرعت باد در شکل های (۲، ۳ و ۴) نشان داده شده است

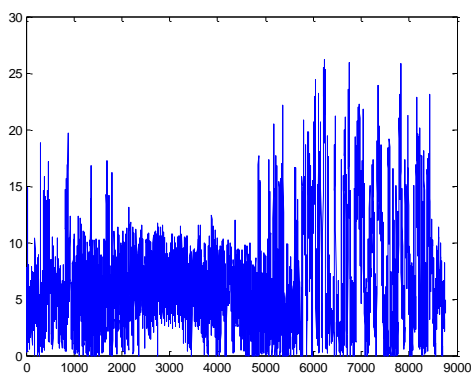


شکل ۲: منحنی بار مورد استفاده





شکل ۳: اطلاعات مربوط به تابش خورشید



شکل ۴: اطلاعات مربوط به سرعت باد

در این حالت تعداد بهینه هر یک از واحدهای موجود در میکروشبکه، هزینه میکروشبکه (بدون در نظر گرفتن جریمه برای قطع بارهای حساس و قابل قطع) و همچنین مقدار سوخت مصرفی بر حسب متر مکعب که حاصل از اجرای برنامه بهینه سازی می باشد، در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: نتایج حاصل از اجرای برنامه بهینه سازی

تعداد واحدهای بادی	تعداد واحدهای خورشیدی	تعداد باتری	تعداد پیل سوختی	سوخت مصرفی ( $m^3$ )	هزینه میکروشبکه (دلار)
۴۰	۱۳۸۱	۱۰۴۴	۳۹۲	$۳/۷۱ \times ۱۰^۵$	$۱/۰۶۵ \times ۱۰^۷$

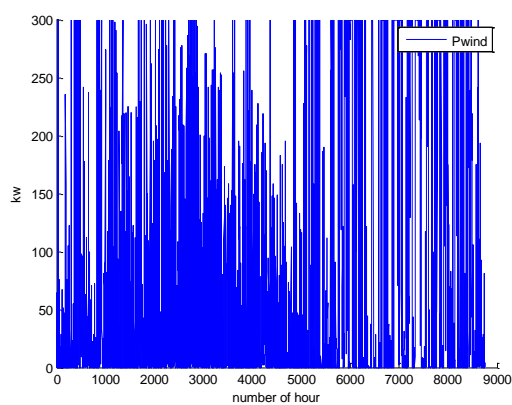
مقدار بارهای حساس و قابل قطعی که تامین توان نشده اند بر حسب کیلووات ساعت در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: مقدار بارهای حساس و قابل قطعی که تامین توان نشده اند

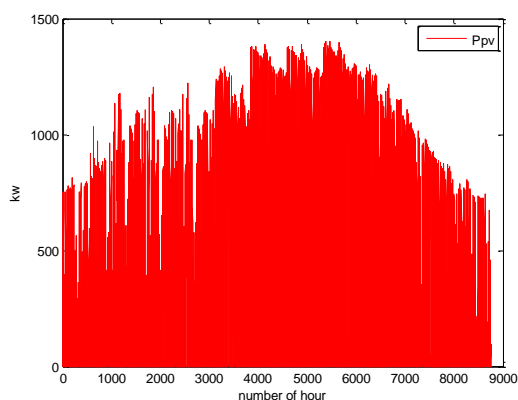
مقدار بارهای قابل قطع (kWh)	مقدار بارهای حساس (kWh)
$2/5911 \times 10^3$	۵۱۶/۵۴۷۴

کل هزینه میکروشبکه با در نظر گرفتن جریمه پرداختی برای بارهای تامین نشده برابر  $10^7 * 1/07$  دلار می باشد.

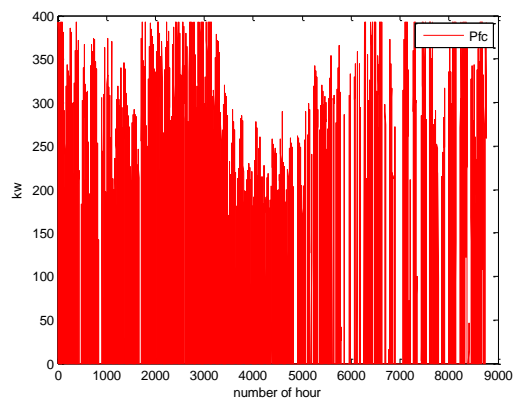
توان تولیدی واحدهای بادی، خورشیدی، پیل سوختی و همچنین تغییرات انرژی باتری در شکل های (۵، ۶، ۷ و ۸) نشان داده شده است.



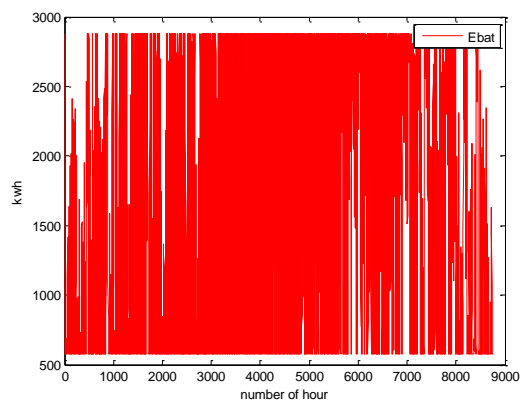
شکل ۵: توان تولیدی واحدهای بادی



شکل ۶: توان تولیدی واحدهای خورشیدی

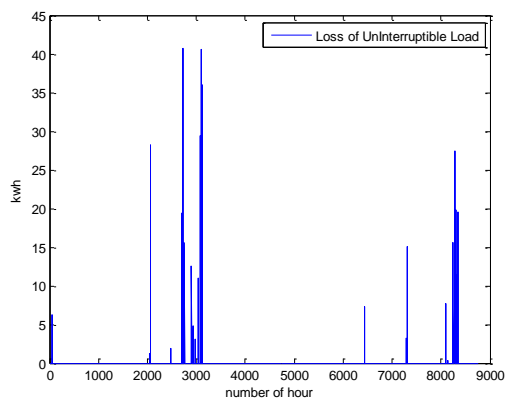


شکل ۷: توان تولیدی پیل سوختی

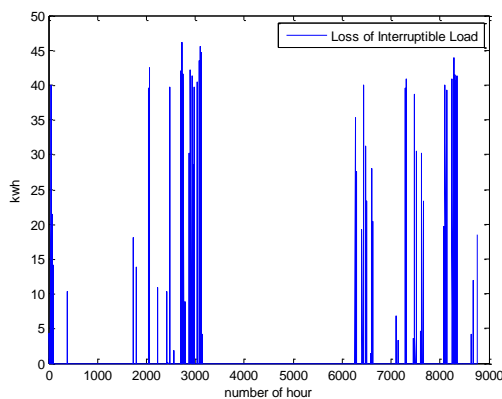


شکل ۸: تغییرات انرژی در باتری

شکل های (۹ و ۱۰) بارهای حساس و قابل قطعی که در ساعات مختلف تامین نشده اند را نشان می دهند.



شکل ۹: بارهای حساس تامین نشده در هر ساعت



شکل ۱۰: بارهای قابل قطع تامین نشده در هر ساعت

در بازه زمانی ۸۰۰۰ تا ۸۷۶۰ ساعتی وجود دارد که انرژی ذخیره شده در باتری به همراه توان تولیدی واحدهای خورشیدی و بادی و پیل سوختی توانایی تامین کل بار میکروشبکه را ندارند، در این حالت همانطور که در شکل های ۹ و ۱۰ مشاهده می شود، ابتدا بارهای قابل قطع و سپس بارهای حساس به میزان مجاز قطع خواهند شد.

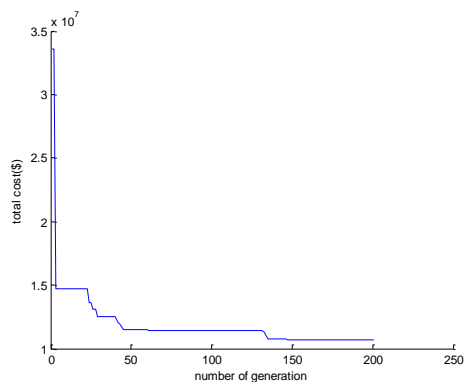
مقدار هر یک از شاخص های قابلیت اطمینان در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: مقدار هر یک از شاخص های قابلیت اطمینان

ELF	LOEE (MWh/yr)	LPSP	LOLE (hr/yr)
$1/388 * 10^{-4}$	۰/۵۱۶۵	$2/11 * 10^{-4}$	۳۶

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود مقدار ELF در محدوده مجاز در نظر گرفته شده در این مقاله قرار دارد.

شکل (۱۱) نمایانگر روند هزینه های سیستم بر حسب تعداد مراحل تکرار می باشد.



شکل ۱۱: روند هزینه های سیستم بر حسب تعداد مراحل تکرار

### تاثیر تغییر قیمت سوخت ناشی از هدفمند شدن یارانه ها بر تعداد بهینه واحد های موجود در میکروشبکه

در این قسمت تاثیر هدفمند شدن یارانه ها بر تعداد بهینه واحد های موجود در میکروشبکه مورد بررسی قرار می گیرد.

در روزهای اخیر با اجرای قانون هدفمندی یارانه ها، قیمت گاز شهری افزایش یافته است. با توجه به استفاده پیل سوختی موجود در میکروشبکه از این سوخت، تاثیر افزایش قیمت سوخت بر تعداد بهینه پیل سوختی مورد بررسی قرار می گیرد.

قیمت سوخت را از ۰/۰۱ دلار تا ۰/۳ دلار به ازای هر متر مکعب افزایش می دهیم. نتایج حاصل از اجرای برنامه بهینه سازی در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴: تاثیر تغییر قیمت سوخت بر سایز بهینه واحدها

۰/۳	۰/۲	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱	قیمت سوخت دلار به ازای هر متر مکعب
۱۱۵	۵۲	۲۳۴	۹۳	۴۰	تعداد واحدهای بادی
۴۵۴۸	۳۸۷۳	۱۹۰۵	۱۳۳۶	۱۳۸۱	تعداد واحدهای خورشیدی
۴۷۹۴	۴۵۹۰	۳۹۲۲	۴۸۲۶	۱۰۴۴	تعداد باتری
۱۹۸	۲۵۰	۳۲۰	۳۷۲	۳۹۲	تعداد پیل سوختی
۰/۱۲۴	۱/۸۸	۱۶/۶	۱۴۰/۳	۳۷۱	سوخت مصرفی ( $m^3$ ) * $10^3$
۲۶/۰۶	۶۶/۷۳	۱۰۴/۲۲۵	۲۷۸/۵۲۴	۵۱۶/۵۵	بارهای حساس قطع شده (kWh)
۲۹/۱۳	۰/۱۳۴	۰/۳۳۳	۱/۳۱۱	۲/۵۹۱	بارهای قابل قطعی که قطع شده اند (kWh) * $10^3$
۲/۹۷	۲/۵۵	۲/۰۲۷	۱/۵۴۶۷	۱/۰۷	هزینه با احتساب جریمه (\$) * $10^7$

همانطور که در جدول (۴) مشاهده می شود با افزایش قیمت سوخت تعداد پیل سوختی کمتری انتخاب می شود و مقدار سوخت کمتری در میکروشبکه مصرف می شود. این امر گواه آن است که با افزایش هزینه سوخت، میکروشبکه به سمت استفاده از انرژی های تجدید پذیر بادی و خورشیدی روی می آورد.

### نتیجه گیری

در این مقاله تعیین سایز بهینه واحد های موجود در میکروشبکه خودمختار مبتنی بر واحدهای بادی، خورشیدی، پیل سوختی و ذخیره کننده باتری مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه هدفمند سازی یارانه ها و افزایش قیمت سوخت از جمله مسائلی است که اخیراً در کشور ایران مطرح شده است، حذف یارانه سوخت در میکروشبکه مورد بررسی، در نظر گرفته شد.

افزایش قیمت سوخت باعث کاهش تعداد پیل سوختی و سوخت مصرفی و افزایش استفاده از انرژی باد و تابش خورشید در میکروشبکه جهت تامین بار مورد نیاز گردیده است.

## منابع

- [1] A. Kashefi Kaviani , G.H. Riahy, SH.M. Kouhsari, 2009, Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system, considering component outages, *Renewable Energy*, Vol. 34, PP. 2380–2390.
- [2] Bagen and Roy Billinton, 2005, Evaluation of Different Operating Strategies in Small Stand-Alone Power Systems, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 20, No. 3, PP. 654 - 660.
- [3] D. Herman, 2001, Investigation of the Technical and Economic Feasibility of Micro-Grid Based Power Systems, EPRI Technical Report 1003973.
- [4] Daniele Menniti, Anna Pinnarelli, 2009, A Method To Improve Micro grid Reliability By Optimal Sizing PV/WIND Plants And Storage Systems, 20th International Conference on Electricity Distribution, PP. 1-1.
- [5] Raquel S. Garcia, Daniel Weisser, 2006, A Wind–Diesel System with Hydrogen Storage: Joint Optimization of Design and Dispatch, *Renewable Energy*, Vol. 31, PP. 2296–2320.
- [6] Robert Lasseter, Abbas Akhil, Chris Marnay, John Stephens, 2002, Integration of Distributed Energy Resources The CERTS MicroGrid Concept, LBNL-50829.
- [7] S.M. Hakimi, S.M. Moghaddas-Tafreshi, 2009, Optimal Sizing of a Stand-Alone Hybrid Power System Via Particle Swarm Optimization for Kahnouj Area in South-East of Iran, *Renewable Energy*, Vol. 34, PP. 1855–1862.
- [8] U.S.Department of energy, 2002, A new Biomass Energy Conversion Technology Yields Methane for Power Generation, Office of Weatherization and Intergovernmental Program Energy Efficiency and Renewable Energy.
- [9] Wei Deng, Wei Pei, Zhiping Qi, 2008, Impact and Improvement of Distributed Generation on Voltage Quality in Micro-grid, Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, PP. 1737 – 1741.
- [10] <http://www.mahler-ags.com/>
- [11] <http://www.microgrids.eu/>