

برنامه ریزی کوتاه مدت بهره برداری بهینه یک ریز شبکه در حضور منابع تولید پراکنده انرژی

حسین فرح بخش^{۱*}، افشین لشکر آرا^۲ محمده

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، hfgh@chmail.ir

۲- استادیار، گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، lashkarara@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۵

چکیده: برنامه ریزی کوتاه مدت یک ریز شبکه به صورت مستقل و خودکفا، به منظور بهره برداری بهینه برای مدت یک روز نمونه و با حضور منابع تجدیدپذیر انرژی انجام می شود. انجام این کار ضمن کمک به پایداری توان، به منظور استفاده از منابع پاک و کم هزینه که به کمتر آلوده شدن محیط زیست و هزینه ها کمک می کند، ضرورت دارد. در اینجا تصمیم به مدار آوردن نیروگاه ها، با کمینه کردن تابع لاگرانژ در توان بهینه تعیین می شود و جهت استخراج پاسخ ها، یک تحلیل دوگانه انجام می شود. در این تحقیق ریز شبکه ی مورد مطالعه، دارای پنج واحد تولید توان است، که شامل نیروگاه خورشیدی با سلول های فتوولتاییک و توربین بادی و دو میکروتوربین و پیل سوختی است. در حالت مستقل از شبکه، مسئله UC با توجه به تقاضای بار ریز شبکه و میزان تولید توان نیروگاه خورشیدی و توربین بادی در ساعات مختلف، دو میکروتوربین و یک پیل سوختی جهت پاسخ به تقاضا، برنامه ریزی می شوند. در این برنامه ریزی ها، که توسط نرم افزار MATLAB انجام شده است، برای جبران عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر، استفاده از یک سیستم ذخیره ساز انرژی پیشنهاد شده است.

واژه های کلیدی: به مدار آوردن نیروگاه، میکروتوربین، پیل سوختی، تابع انتشار، تابع هزینه

۱- مقدمه

امروزه با توجه به رو به پایان بودن سوخت های فسیلی و تلاش برای کاهش استفاده از این منابع، توجه کشورها به سمت استفاده از منابع تجدیدپذیر معطوف شده است. ریز شبکه ها از جمله شبکه هایی هستند که در آنها از منابع تجدیدپذیر استفاده چشمگیری شده است. ریز شبکه ها، از اتصال مجموعه ای از تولیدات کوچک و مدولار در سیستم های ولتاژ پایین و متوسط تشکیل شده اند که می تواند شامل مجموعه ای از منابع انرژی همچون تولیدات پراکنده، منابع تجدیدپذیر انرژی مثل باد و فتوولتاییک و سیستم های ذخیره ساز انرژی باشند [۱]. ریز شبکه ها برای تامین انرژی انواع مصرف کننده ها همچون خانگی، صنعتی و کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرند و برآورد هزینه آنها بر اساس سیاست های قیمت گذاری در بازار برق صورت می گیرد. استفاده از ریز شبکه ها موجب ارائه توان با کیفیت بالاتر، افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه ها، تلفات و آلودگی در شبکه توزیع می شود [۲]. با توجه به استفاده از فن آوری های جدید مانند توربین های بادی و فتوولتاییک ها در ریز شبکه ها، و نیز ماهیت تصادفی منابع تجدیدپذیری مانند باد و خورشید، مدیریت و بهره برداری بهینه و ایمن از این شبکه ها به یکی از اولویت های تحقیقاتی پژوهشگران در این زمینه تبدیل شده است [۳]. پیش بینی رفتار این منابع و استفاده بهینه از آنها باعث افزایش بازدهی سیستم خواهد شد در بهره برداری از ریز شبکه ها اهداف گوناگونی همچون مسائل اقتصادی، زیست محیطی و کاهش میزان تلفات مدنظر قرار می گیرد [۴].

امروزه با توجه به رو به پایان بودن سوخت های فسیلی و تلاش برای کاهش استفاده از این منابع، توجه کشورها به سمت استفاده از منابع تجدیدپذیر معطوف شده است. ریز شبکه ها از جمله شبکه هایی هستند که در آنها از منابع تجدیدپذیر استفاده چشمگیری شده است. ریز شبکه ها، از اتصال مجموعه ای از تولیدات کوچک و مدولار در سیستم های ولتاژ پایین و متوسط تشکیل شده اند که می تواند شامل مجموعه ای از منابع انرژی همچون تولیدات پراکنده، منابع تجدیدپذیر انرژی مثل باد و فتوولتاییک و سیستم های ذخیره ساز انرژی باشند [۱]. ریز شبکه ها برای تامین انرژی انواع مصرف کننده ها همچون خانگی، صنعتی و کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرند و برآورد هزینه آنها بر اساس سیاست های قیمت گذاری در بازار برق صورت می گیرد. استفاده از ریز شبکه ها موجب ارائه توان با کیفیت بالاتر، افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه ها، تلفات و آلودگی در شبکه توزیع می شود [۲]. با توجه به استفاده از فن آوری های جدید مانند توربین های بادی و فتوولتاییک ها در ریز شبکه ها، و نیز ماهیت تصادفی منابع تجدیدپذیری مانند باد و خورشید، مدیریت و بهره برداری بهینه و ایمن از این شبکه ها به یکی از اولویت های تحقیقاتی پژوهشگران در این زمینه تبدیل شده است [۳]. پیش بینی رفتار این منابع و استفاده بهینه از آنها باعث افزایش بازدهی سیستم خواهد شد در بهره برداری از ریز شبکه ها اهداف گوناگونی همچون مسائل اقتصادی، زیست محیطی و کاهش میزان تلفات مدنظر قرار می گیرد [۴].

بدست می‌آید، تا در پایین آوردن تابع انتشار آلودگی و تابع هزینه، نقش اصلی را ایفا نماید.

۲- فرمول‌بندی

۲-۱- توابع هدف

مسئله بهینه‌سازی هزینه در بهره‌برداری از ریزشبكة به صورت رابطه (۱) فرمول‌بندی می‌شود [۹]:

$$TC = \sum_{i=1}^N u_{i,t}(FC_{i,t} + MC_{i,t} + STC_{i,t}) \quad (1)$$

که در آن TC هزینه کل، و $u_{i,t}$ بیانگر برنامه به مدار آمدن نیروگاه‌ها یا UC است و $FC_{i,t}$ بیانگر هزینه سوخت واحد ها و $MC_{i,t}$ بیانگر هزینه نگهداری واحدها و $STC_{i,t}$ بیانگر هزینه راه‌اندازی واحدها می‌باشد.

مسئله بهینه‌سازی تابع انتشار آلودگی در بهره‌برداری از ریزشبكة به صورت رابطه (۲) فرمول‌بندی می‌شود [۱۰]:

$$E_{i,t}(P_{i,t}) = \alpha_i P_{i,t}^2 + \beta_i P_{i,t} + \gamma_i \quad (2)$$

که در آن α_i و β_i و γ_i ضرایب انتشار آلودگی و $E_{i,t}$ تابع انتشار آلودگی و $P_{i,t}$ توان تولیدی هر واحد هستند.

هزینه سوخت از رابطه (۳) محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$FC_{i,t}(P_{i,t}) = a_i P_{i,t}^2 + b_i P_{i,t} + c_i \quad (3)$$

که a_i و b_i و c_i ضرایب هزینه سوخت هستند.

هزینه نگهداری از رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۱۲]:

$$MC_{i,t}(P_{i,t}) = d_i P_{i,t} \quad (4)$$

که در آن d_i ضریب هزینه نگهداری می‌باشد.

۲-۲- قیود بهره‌برداری

قیود بهره‌برداری به صورت روابط (۵) و (۶) می‌باشند [۱۰]:

$$P_i^{min} \leq P_{i,t} \leq P_i^{max} \quad (5)$$

که رابطه (۵) بیانگر قید حدود بیشینه و کمینه توان واحدها است که P_i^{min} کمترین میزان تولید توان توسط DG ها و P_i^{max}

حداکثر توان تولیدی است که DG ها می‌توانند تولید کنند.

$$\sum_{i=1}^N (u_{i,t} E_{i,t}(P_{i,t})) \leq \zeta \quad (6)$$

رابطه (۶) بیانگر قید محدودیت انتشار آلاینده‌هاست، که در آن ζ حد انتشار آلاینده‌هاست.

۳- بیان مسئله

مسئله TC^4 یک برنامه‌ریزی آمیخته با اعداد صحیح بوده که فضای پاسخ غیرخطی دارد. به منظور تبدیل آن به یک مسئله بهینه‌سازی محدب (همگرا) متغیرهای کمکی توان $P_{i,t}$ ، $u_{i,t}$ و $q_{i,t}$ به

در زمینه بهره‌برداری از ریزشبكة‌ها تحقیقات زیادی انجام شده است که چند نمونه از آن را بررسی می‌کنیم:

در [۵] یک مطالع روی ریزشبكة‌ای انجام شده که در آن با هدف پایین آمدن آلاینده‌های زیست محیطی، از سلول‌های فتوولتائیک و توربین بادی به عنوان منابع اصلی تأمین انرژی استفاده شده است و در کنار آن DG^1 ها به عنوان ژنراتورهای پشتیبان برنامه‌ریزی شده اند.

در [۶] نیز جهت مدل‌سازی مسئله UC^2 و پخش بار اقتصادی برای ۲۴ ساعت آینده و فواصل زمانی ۵ دقیقه‌ای از قیمت‌های حاشیه‌ای محلی استفاده شده و مدل حاصل از آن، روی سیستمی با اندازه متوسط بررسی شده است.

در [۷] ریزشبكة‌ای با وجود RES^3 و حضور میکروتوربین/سلول سوختی/باطری، به کمک الگوریتم چند هدفه‌ای به نام AMPSO (بهینه‌سازی اجتماع ذرات تطابقی اصلاح شده) مورد بهره‌برداری قرار گرفته و در فرمول سازی آن از مدل غیرخطی استفاده شده و هدف، کمینه‌سازی هزینه و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به طور همزمان بوده است.

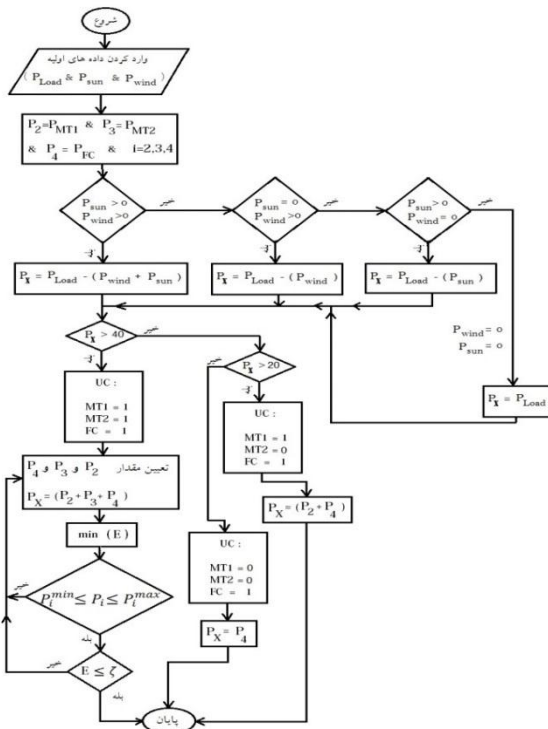
در [۸] حل مسئله UC در ریزشبكة معرفی شده، که شامل بارهای کنترل‌پذیر می‌باشد، توسط الگوریتم ژنتیک بهبود یافته با اتخاذ روش تبرید شبیه‌سازی شده جهت تسریع همگرایی حاصل شده است. توابع هدف که در سطح شبیه‌سازی تعریف شده و به نتیجه مطلوب رسیده، عبارت‌اند از: کاهش هزینه بهره‌برداری از ریزشبكة در حالت مستقل از شبکه و بیشینه‌سازی درآمد و عواید حاصل در زمانی که به شبکه قدرت متصل باشد.

در این تحقیق برنامه به مدار آوردن نیروگاه‌ها که به طور معمول برای ژنراتورهای بزرگ و مرکزی به کار می‌رود، برای ریزشبكة‌ای با حضور منابع انرژی تجدیدپذیر پیاده‌سازی خواهد شد. اجرای این برنامه به صورت بهینه و اقتصادی با توجه به ویژگی‌های فنی و عملکردی ریزشبكة، چالش‌های خاص خود را داراست، که جنبه‌های مختلف آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه امروزه مسئله محیط زیست و حفظ آن در جهان دارای اهمیت زیادی است لذا قیود زیست محیطی نیز باید اعمال شود تا آلودگی‌های زیست محیطی به حداقل برسند. از طرفی برای جبران عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر، استفاده از یک سیستم ذخیره‌ساز انرژی پیشنهاد شده و راجع به اندازه آن نیز بحث شده است.

در این مقاله تلاش بر کاهش تابع انتشار آلودگی و کاهش میزان هزینه‌های تولید در ریزشبكة پیشنهادی با در نظر گرفتن قیود مربوطه می‌باشد.

ابتدا با تبدیل تابع هزینه کل به یک مسئله بهینه‌سازی محدب (همگرا)، با تغییر متغیرهایی این امر محقق می‌شود. سپس با نوشتن تابع لاگرانژ با توجه به جدید شدن روابط، تابع بیان UC استخراج می‌شود و به تبع آن نقاط بهینه‌ای از توان‌های بهینه

فلوچارت برنامه‌ریزی مسئله و مراحل شبیه‌سازی به صورت شکل (۱) می‌باشد:

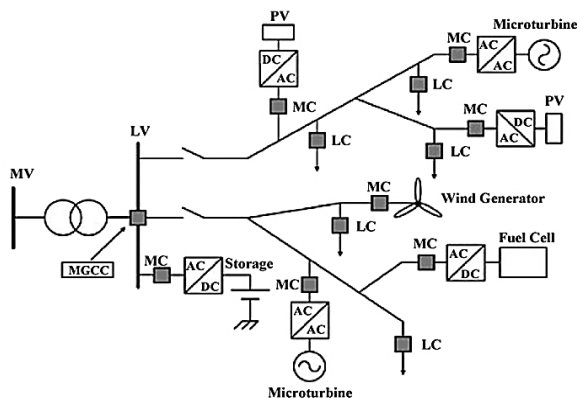


شکل (۱) فلوچارت برنامه‌ریزی مسئله شبیه‌سازی

در این فلوچارت، P_x همان توانی است که قرار است برای تولید آن در هر ساعت، واحدهای DG برنامه‌ریزی شوند.

۴- نتایج شبیه سازی

ریزشبکه مورد مطالعه به صورت شماتیک در شکل (۲) نشان داده شده است. این ریزشبکه شامل انواع منابع همچون میکروتوربین، پیل سوختی، فتوولتائیک، توربین بادی و باتری را پوشش می‌دهد:



شکل (۲) ریزشبکه مورد مطالعه [1]

در این تحقیق توان نامی میکروتوربین ۱ برابر ۳۰ کیلووات و توان نامی میکروتوربین ۲ برابر ۷۵ کیلووات و توان نامی پیل سوختی ۱۰۰ کیلووات می‌باشد، با وجود اینکه واحدهای تولید پراکنده بخصوص واحدهای مورد استفاده در این تحقیق، دارای راندمان

عنوان یک متغیر پیوسته در $[0, 1]$ معرفی شده‌اند. بنابراین مسئله تبدیل شده به شکل رابطه (۷) نوشته خواهد شد [۱۳]:

$$TC = \sum_{i=1}^N \left(\frac{a_i q_{i,t}^2}{u_{i,t}} + b'_i q_{i,t} + c'_{i,t} u_{i,t} \right) \quad (7)$$

که ضرایب هزینه مجموع $c'_{i,t} = c_i + STC_{i,t}$ و $b'_i = b_i + d_i$ می‌باشند.

همین روند برای روابط (۵) و (۶) نیز برقرار است.

تابع لاگرانژ به صورت رابطه (۸) نوشته می‌شود:

$$\mathcal{L}(\lambda_t, \mu_t, \nu_t, P, u) = \sum_{i=1}^N u_{i,t} \varphi_{i,t}(P_{i,t}) + \lambda_t A_t - \mu_t \zeta + \nu_t R_t - \nu_t \sum_{i=1}^N P_i^{\max} \quad (8)$$

که در آن λ_t و μ_t و ν_t ضرایب لاگرانژ و A_t و R_t به ترتیب ذخیره بهره‌برداری و تقاضای اصلاح شده مربوط به پیش‌بینی بار می‌باشند. در رابطه (۹)، $\varphi_{i,t}(P_{i,t})$ می‌تواند به صورت تابع بیان UC بررسی شود:

$$\varphi_{i,t}(P_{i,t}) = (a_i + \mu_t \alpha_i) P_{i,t}^2 + (b'_i + \mu_t \beta_i - \lambda_t + \nu_t) P_{i,t} + (c'_{i,t} + \mu_t \gamma_i) \quad (9)$$

مطابق رابطه (۱۰) با جایگذاری $u_{i,t} = 1$ برای همه $\varphi_{i,t}(P_{i,t}^*) < 0$ و در غیر این صورت $u_{i,t} = 0$ ، مقدار کمینه (مینیمم) بدست می‌آید.

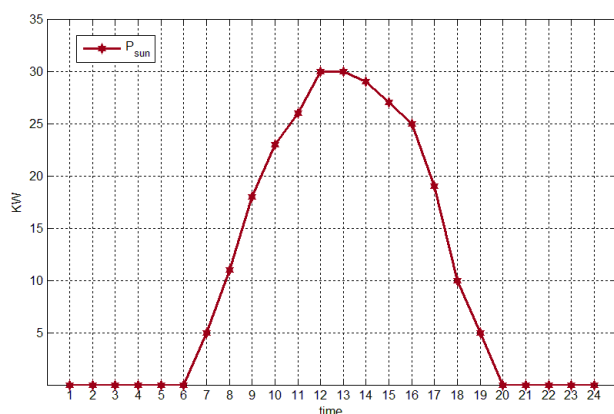
$$u_{i,t}^* = \begin{cases} 1, & \varphi_{i,t}(P_{i,t}^*) < 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

ضرایب هزینه سوخت، ضرایب انتشار آلاینده‌ها و محدودیت‌های توان DG ها در جدول (۱) خلاصه شده که $P_{(0)}^{\min}$ برای همه DG ها برابر صفر کیلووات است [۱۴].

جدول (۱): پارامترهای تولید ژنراتورها

$P_0^{\max}$	$\gamma(0)$	$\beta(0)$	$\alpha(0)$	$c(0)$	$b(0)$	$a(0)$	Unit
۳۰	۲/۵۴	-۶/۰۵	۵/۶۴	۱۰۰	۵۰	۲۰	MT1
۷۵	۴/۰۹	-۵/۵۵	۶/۴۹	۱۴۰	۴۰	۱۰۰	MT2
۱۰۰	۵/۳۳	-۳/۵۵	۳/۳۸	۲۰	۲۰	۱۰	FC
	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$				

که $a(0)$ و $b(0)$ و $c(0)$ همان ضرایب هزینه سوخت میکروتوربین ۱ و ۲ و پیل سوختی هستند و همچنین $\alpha(0)$ و $\beta(0)$ و $\gamma(0)$ همان ضرایب تابع انتشار آلودگی مربوط به میکروتوربین ۱ و ۲ و پیل سوختی هستند.



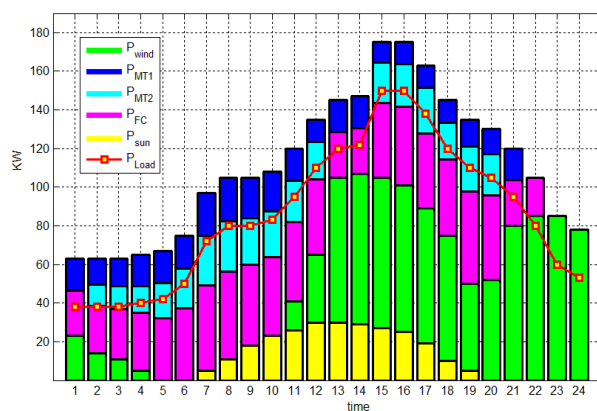
شکل (۵) نمودار پیش‌بینی توان نیروگاه خورشیدی

در این حالت برنامه به مدار آمدن واحدها به صورت جدول (۲) است:

جدول (۲) برنامه به مدار آمدن واحدها

[illegible]

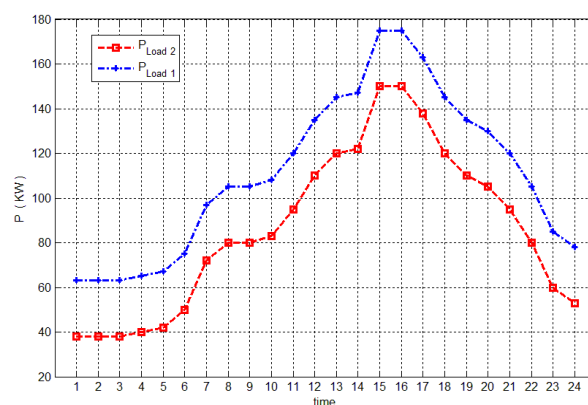
طبق جدول (۲) بیشترین همکاری برای تولید توان را پیل سوختی انجام داده است. این امر به این دلیل است که پیل سوختی تابع انتشار آلودگی و همچنین تابع هزینه‌ی کمتری نسبت به سایر واحدها دارد. بعد از پیل سوختی بیشترین همکاری برای تولید توان را میکروتوربین ۱ داشته است، که تابع انتشار آلودگی و هزینه آن از پیل سوختی بالاتر و از میکروتوربین ۲ پایین‌تر می‌باشد. بعد از آن کمترین همکاری به منظور تولید توان را میکروتوربین ۲ دارد، که تابع انتشار آلودگی و تابع هزینه آن از سایر واحدها بیشتر است. سهم تولید هر واحد به صورت شکل (۶) می‌باشد:



شکل (۶) توان تولیدی، به تفکیک هر واحد

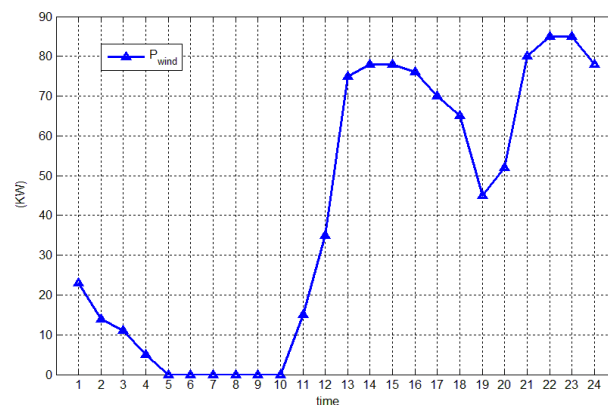
بالایی هستند، اما معمولاً رسیدن به توان نامی محقق نمی‌شود، لذا حداکثر توان تولیدی ممکن، به ترتیب ۲۴ و ۶۵ و ۸۷ کیلووات می‌تواند باشد.

نمودار پیش‌بینی تقاضای بار ریزش‌بکه و همچنین توان تولیدی پیش‌بینی شده‌ی توربین بادی و توان تولیدی پیش‌بینی شده نیروگاه خورشیدی به ترتیب به صورت شکل‌های (۳) و (۴) و (۵) می‌باشند [۳]:



شکل (۳) نمودار پیش‌بینی تقاضای بار ریز شبکه

در شکل (۳) نمودار $P_{Load\ 1}$ بیانگر حالتی است که ۲۵ کیلووات تولید مازاد بر تقاضای پیش‌بینی شده، تولید توان داشته باشیم، و $P_{Load\ 2}$ بیانگر نمودار پیش‌بینی بار ریز شبکه می‌باشد. در این تحقیق ۲۵ کیلووات به منظور تأمین بارهای بحرانی در زمان قطع برق ریز شبکه، به صورت مازاد توسط واحدها تأمین می‌شود.



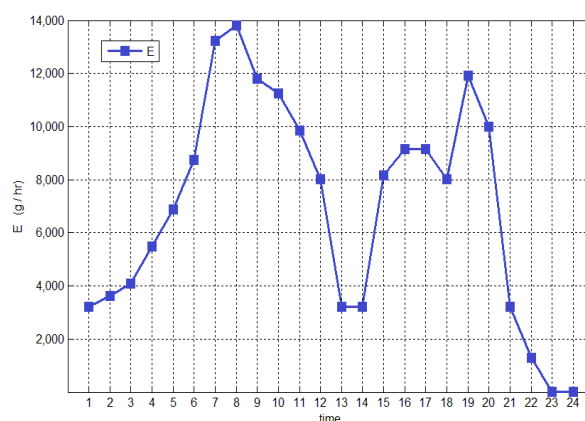
شکل (۴) نمودار پیش‌بینی تولید توریپن یادی

همچنین سهم تولید توان هر واحد بر حسب کیلووات به صورت جدول شماره (۳) می باشد:

جدول (۳) توان تولیدی هر واحد

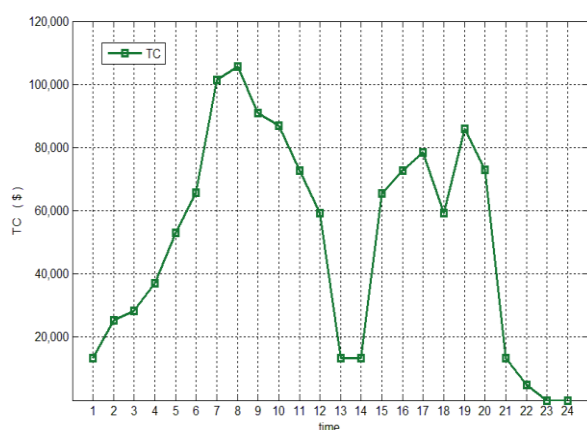
P _{sun}	P _{wind}	FC	MT 2	MT 1	Hours
۰	۲۳	۲۳/۶۰	۰	۱۶/۴۰	۱
۰	۱۴	۲۴/۵۰	۱۱/۲۷	۱۳/۲۳	۲
۰	۱۱	۲۶/۰۰	۱۱/۹۶	۱۴/۰۴	۳
۰	۵	۳۰/۰۰	۱۳/۸۰	۱۶/۲۰	۴
۰	۰	۳۲/۱۶	۱۸/۰۹	۱۶/۷۵	۵
۰	۰	۳۷/۵۰	۲۰/۲۵	۱۷/۲۵	۶
۵	۰	۴۴/۱۶	۲۵/۷۶	۲۲/۰۸	۷
۱۱	۰	۴۵/۱۲	۲۶/۳۲	۲۲/۵۶	۸
۱۸	۰	۴۱/۷۶	۲۴/۳۶	۲۰/۸۸	۹
۲۳	۰	۴۰/۸۰	۲۳/۸۰	۲۰/۴۰	۱۰
۲۶	۱۵	۴۱/۰۸	۲۱/۳۳	۱۶/۵۹	۱۱
۳۰	۳۵	۳۹/۲۰	۱۹/۱۸	۱۱/۶۲	۱۲
۳۰	۷۵	۲۳/۶۰	۰	۱۶/۴۰	۱۳
۲۹	۷۸	۲۳/۶۰	۰	۱۶/۴۰	۱۴
۲۷	۷۸	۳۸/۵۰	۲۱/۰۰	۱۰/۵۰	۱۵
۲۵	۷۶	۴۰/۷۰	۲۲/۲۰	۱۱/۱۰	۱۶
۱۹	۷۰	۳۸/۸۵	۲۳/۶۸	۱۱/۴۷	۱۷
۱۰	۶۵	۳۹/۲۰	۱۹/۱۸	۱۱/۶۲	۱۸
۵	۴۵	۴۷/۶۰	۲۳/۲۹	۱۴/۱۱	۱۹
۰	۵۲	۴۳/۶۸	۲۱/۳۷۲	۱۲/۹۴۸	۲۰
۰	۸۰	۲۳/۶۰	۰	۱۶/۴۰	۲۱
۰	۸۵	۲۰/۰۰	۰	۰	۲۲
۰	۸۵	۰	۰	۰	۲۳
۰	۷۸	۰	۰	۰	۲۴

تابع انتشار آلودگی به صورت شکل (۷) می باشد:



شکل (۷) تابع انتشار واحدها

همچنین تابع هزینه کل به صورت شکل (۸) می باشد:



شکل (۸) تابع هزینه کل واحدها

مطابق شکل (۶)، از ساعت ۱ تا ۶ تولید نیروگاه خورشیدی به دلیل عدم وجود خورشید صفر است، پس هیچ اثر مثبتی روی تغذیه ی میکروشبکه ندارد.

به منظور سهولت در کار، توربین بادی با نام واحد ۱ و میکروتوربین ۱ و ۲ به ترتیب با نام واحد ۲ و ۳ و پیل سوختی با نام واحد ۴ و نیروگاه خورشیدی را با نام واحد ۵ معرفی می نماییم.

در ساعت ۱ بامداد که بار ۳۸ کیلووات است و در حالت کم باری می باشد همزمان توربین بادی ۲۳ کیلووات توان تولید می کند که کمک خوبی به تولید سایر واحدها می کند و تقریباً ۳۶٪ توان مورد نیاز در ساعت ۱ را تولید می کند، لذا تولید توان مورد نیاز باقی مانده بین واحد ۲ و واحد ۴ تقسیم می شود که در این ساعت، واحد ۳ خاموش می باشد.

در ساعت ۲ و ۳ نیز تقاضا همانند ساعت ۱ می باشد، اما با این تفاوت که انرژی حاصل از باد در حال کاهش می باشد که در ساعت ۲ توان بادی ۱۴ و در ساعت ۳ توان بادی ۱۱ کیلووات می باشد که باعث می شود واحد ۳ نیز وارد سرویس شود و این اختلاف توان بادی را که با ساعت ۱ وجود دارد را جبران نماید.

در ساعت ۴ مقدار تقاضا کمی بالاتر می رود و همزمان توان بادی کم می شود و به کمتر از نصف ساعت قبل می رسد، که در این ساعت نیاز است واحدها تولیدشان را بیشتر کنند. در این ساعت توان بادی ۵ کیلووات است و هر سه واحد تولیدی روشن می باشند.

در ساعت ۵ و ۶ انرژی حاصل از باد به صفر می رسد و تقاضای بار به ترتیب به ۴۲ و ۵۰ کیلووات می رسد، که باعث افزایش تولید سایر واحدها می شود و تمامی واحدها در حال تولید توان می باشند.

در ساعت ۷ همزمان که باد وجود ندارد و توربین بادی تولیدش صفر است، با افزایش تقاضا به ۸۰ کیلووات، نیروگاه خورشیدی ۵ کیلووات تولید توان دارد، که این مقدار هر چند که کم است ولی در عین حال می تواند اندکی به پاسخ به تقاضا و کاهش هزینه ها و

کاهش تلفات زیست محیطی کمک کند. در این ساعت هر سه واحد روشن هستند.

در ساعت ۸ انرژی تولیدی حاصل از خورشید بیشتر می شود و به ۱۱ کیلووات می رسد و همزمان تقاضای بار به ۸۰ کیلووات می رسد. با توجه به افزایش ۷ کیلوواتی تقاضا و همچنین افزایش ۶ کیلوواتی تولید نیروگاه خورشیدی، لذا تفاوت تولید بین ساعت قبل با این ساعت فقط ۱ کیلووات می باشد، که نشان می دهد که نیروگاه خورشیدی کمک خوبی کرده است. در این ساعت هر سه واحد روشن می باشند.

در ساعت ۹ تقاضای بار تغییری نسبت به ساعت قبل نداشته است و روی ۸۰ کیلووات ثابت می ماند، ولی اتفاق خوبی که در این ساعت رخ می دهد افزایش توان تولیدی نیروگاه خورشیدی است که توان آن برابر ۱۸ کیلووات است که باعث می شود کمی تولید سایر واحدها پایین بیاید. در این ساعت هر سه واحد روشن هستند.

در ساعت ۱۰ تقاضا به ۸۳ کیلووات می رسد، که افزایش ۳ کیلوواتی دارد اما تولید نیروگاه خورشیدی افزایش ۵ کیلوواتی دارد که باز هم باعث می شود که تولید سایر واحدها در این ساعت کاهش یابد. در این ساعت هر سه واحد روشن می باشند.

در ساعت ۱۱ انرژی حاصل از باد بعد از ۵ ساعت صفر بودن به ۱۵ کیلووات می رسد که با توجه به افزایش ۳ کیلوواتی نیروگاه خورشیدی که اینک ۲۶ کیلووات تولید می کند، کمک بسیار خوبی برای کاهش تولید سایر واحدها می باشد. در این ساعت تقاضا افزایش یافته و به ۹۵ کیلووات می رسد و هر سه واحد روشن هستند.

در ساعت ۱۲ تقاضا بیشتر می شود و به ۱۱۰ کیلووات می رسد، همزمان نیروگاه خورشیدی در حال تولید ماکزیمم خود، یعنی ۳۰ کیلووات است و نیروگاه بادی نیز تولید توانش افزایش می یابد و به ۳۵ کیلووات می رسد، که باز هم سهم تولید سایر واحدها کمتر می شود. در این ساعت هر سه واحد روشن می باشند.

در ساعت ۱۳ و ۱۴ که در آن تقاضا به ترتیب به ۱۲۰ و ۱۲۲ کیلووات می رسد و نیروگاه خورشیدی به ترتیب ۳۰ و ۲۹ کیلووات تولید دارد، همزمان میزان وزش باد افزایش می یابد که به سبب آن توان تولیدی توربین بادی افزایش می یابد، این امر باعث می شود که میزان توان موجود در این ساعات آن قدر خوب باشد که واحد ۳ در این ساعات خاموش بماند و درصد زیادی به کاهش هزینه ها و کاهش تلفات زیست محیطی کمک کند.

در ساعت ۱۵ و ۱۶ که حداکثر تقاضا را داریم (۱۵۰ کیلووات)، توان خورشیدی به ترتیب به ۲۷ و ۲۵ کیلووات تنزل پیدا می کند ولی انرژی حاصل از باد تغییرات چندانی ندارد و به ترتیب ۷۸ و ۷۶ کیلووات می باشد. اما افزایش ۲۸ کیلوواتی تقاضا، سیستم را

وادار می کند که واحد ۳ را وارد مدار کند که در افزایش هزینه ها و تلفات زیست محیطی کم تأثیر نیست.

در ساعت ۱۷ و ۱۸ که شاهد کاهش تقاضا به ترتیب به ۱۳۸ و ۱۲۰ کیلووات می باشیم، همزمان شاهد کاهش انرژی حاصل از خورشید (به ترتیب ۱۹ و ۱۰ کیلووات) و انرژی حاصل از باد (به ترتیب ۷۰ و ۶۵ کیلووات) می باشیم. در این ساعات هر سه واحد روشن می باشند.

در ساعت ۱۹ توان حاصل از آن ۵ کیلووات است و همزمان تقاضا کمی کاهش می یابد و به ۱۱۰ کیلووات می رسد اما انرژی حاصل از باد، ناگهان ۲۰ کیلووات کاهش می یابد و به ۴۵ کیلووات می رسد، که همه واحدها مجبور به افزایش تولید می شوند. این افزایش تولید افزایش هزینه و آلودگی را به دنبال دارد.

در ساعت ۲۰ علی رغم اینکه دیگر انرژی خورشید را نداریم اما انرژی توربین بادی در اثر افزایش باد، اندکی افزایش یافته و به ۵۲ کیلووات می رسد و تقاضای بار ریزشکه نیز پایین می آید و به ۱۰۵ کیلووات می رسد و به مقدار جزئی کاهش تولید در سایر واحدها را به دنبال دارد. در این ساعت هر سه واحد روشن هستند.

در ساعت ۲۱ انرژی باد به یکباره افزایش پیدا کرده و به ۸۰ کیلووات می رسد و تقاضای بار نیز کاهش یافته و به ۹۵ کیلووات می رسد، که سیستم در اینجا واحد ۳ را از مدار خارج کرده و به کمک واحد ۲ و ۴ توان تقاضا شده را تامین می کند.

در ساعت ۲۲ انرژی حاصل از باد کمی افزایش یافته و به ۸۵ کیلووات می رسد و همزمان تقاضای بار به حدی کاهش می یابد که واحد ۲ نیز خاموش می شود و سیستم با توربین بادی و واحد ۴ به تقاضای بار پاسخ می دهد. واحد ۳ همچنان خاموش می باشد.

در ساعت ۲۳ و ۲۴ ریزشکه به دلیل وزش باد مناسب و کاهش توان تقاضا شده به ترتیب به ۶۰ و ۵۳ کیلووات، فقط با توربین بادی تغذیه می شود و سایر واحدها خاموش می باشند.

طبق شکل های (۷) و (۸)، برای توابع انتشار آلودگی و هزینه، می توان چنین گفت:

در ساعت ۲۳ و ۲۴ مشاهده می شود که تابع انتشار آلودگی و تابع هزینه صفر است و هیچ گونه آلودگی وجود ندارد که دلیل آن تغذیه ی بار از طریق توربین بادی و خاموش بودن سایر واحدها می باشد.

در ساعت ۲۲ که ریزشکه فقط از طریق توربین بادی و پیل سوختی تغذیه می شود و میزان توان تقاضا پایین است، در رتبه ی بعدی کمترین آلودگی و کمترین هزینه می باشد.

در ساعات ۱ و ۲۱ که تقاضا پایین است و وزش باد مناسب است، فقط پیل سوختی و میکروتوربین ۱ به کمک توربین بادی ریزشکه را تغذیه می کنند و میکروتوربین ۲، در این ساعات خاموش است، به همین خاطر توابع انتشار آلودگی و هزینه در این ساعات کم است.

انرژی ریزشکه بود و همچنین تولید نیروگاه خورشیدی تغییر می کرد.

همچنین مشاهده می شد که تولید میکروتوربین ۱ و میکروتوربین ۲ و پیل سوختی، وابسته به میزان تقاضا و میزان تولید توربین بادی و نیروگاه خورشیدی تغییر می کرد. در برخی از ساعات این دو انرژی رایگان و تمیز را در اختیار نداشتیم و در برخی از ساعات کم یا متوسط و در برخی از ساعات آنقدر خوب بود که یک یا دو واحد و گاهی هر سه واحد خاموش می شدند و نیازی به تولید آن واحد یا واحدها نبود. پس در این شرایط، میزان تولید متغیری داشتیم و به دنبال آن تابع انتشار آلودگی و تابع هزینه تغییر می کرد.

نیروگاه خورشیدی و توربین بادی، سوختی مصرف نمی کنند پس تلفات زیست محیطی و همچنین هزینه سوخت ندارند لذا در هر ساعتی که از این دو انرژی یا یکی از این دو انرژی پاک بهره مند بودیم، تأثیر آن را در تابع هزینه و تابع انتشار آلودگی حاصله، حتی اگر کم هم باشد، به وضوح مشاهده کرده ایم.

کمک بزرگی که نیروگاه خورشیدی می تواند داشته باشد، در زمان ماکزیمم بودن تولیدش است که با پیک بار مقارن می شود، پس در کاهش هزینه ها و تابع انتشار آلودگی در همان ساعاتی که نیاز به تولید زیاد داریم کمک بسیار خوبی می شود. همچنین توربین بادی در شرایطی که باد بخوبی شروع به وزیدن کند می تواند به مانند نیروگاه خورشیدی کمک خوبی برای پایین آمدن هزینه ها و آلاینده ها در ساعات پیک بار داشته باشد.

با بررسی دقیق تر به وضوح می توانیم دریابیم که در هر ساعتی که از وجود نیروگاه خورشیدی و همچنین توربین بادی بهره می بردیم، کمترین میزان آلاینده گی و هزینه را در طول یک روز داشتیم. همچنین تعداد ساعاتی که می توانست واحدها خاموش باشند (چرا که خاموشی یک واحد به معنای هزینه ی کمتر و مصرف سوخت کمتر و آلاینده گی کمتر است) نیز در شرایطی رخ می داد که این دو انرژی پاک را در اختیار داشتیم.

مراجع:

- [1] Alireza Rezvani, Majid Gandomkar, Maziar Izadbakhsh, Abdollah Ahmadi, "Environmental /economic scheduling of a micro-grid with renewable energy resources", ELSEVIER. Cleaner Production, vol.87, No.15, pp 216-226, January 2015.
- [2] Walied Alharbi, Kaamran Raahemifar, "Probabilistic coordination of microgrid energy resources operation considering uncertainties", ELSEVIER. Electric Power Systems Research, Vol.128, No.10, pp 1-10, June 2015.
- [3] Binyan Zhao, Yi Shi, Xiaodai Dong, Wenpeng Luan, Jens Bornemann, "Short-Term Operation Scheduling in Renewable-Powered Microgrids", Vol. 5, No. 1, pp.209-217, January 2014
- [4] M. Pipattanasomporn, H. Feroze, and S. Rahman, "Securing critical loads in a PV-based microgrid with a

در ساعات ۱۳ و ۱۴ نیز پیل سوختی و میکروتوربین ۱ به کمک توربین بادی و همچنین نیروگاه خورشیدی ریزشکه را تغذیه می کنند و علی رغم بالا بودن میزان تقاضا، میکروتوربین ۲ خاموش است، که این امر دلیل کم بودن میزان آلاینده گی و تابع هزینه در این ساعات است.

در ساعات ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ دلیل بالا بودن میزان تابع انتشار آلودگی و تابع هزینه، عدم همکاری توربین بادی، آن هم در شرایطی است که بار رفته به رفته بیشتر می شود. تولید توان توسط توربین بادی در این ساعات صفر است.

در ساعت ۱۹ دلیل افزایش میزان تابع انتشار آلودگی، افزایش ناگهانی بار بعد از یک کاهش است و همچنین دلیل دیگر آن کاهش ناگهانی انرژی باد و کاهش میزان تابش خورشید است.

در ساعت ۲۰ دلیل بالا بودن آلاینده گی زیست محیطی و تابع هزینه، کم بودن میزان تولید توربین بادی و صفر بودن تولید حاصل از خورشید است، که سبب روشن شدن تمام واحدها می شود.

در سایر ساعات، تولید توان، روند عادی خود را دارد و با توجه به میزان تولید واحد ۱ و ۵، تولید سایر واحدها تغییر می کند و به همان نسبت آلاینده گی ها و هزینه ها تغییر می کنند.

جدول تعداد ساعات خاموش و یا روشن بودن واحدها در یک روز و ماکزیمم توان تولید شده، به صورت جدول (۴) می باشد:

جدول (۴) تعداد ساعات خاموش و روشن بودن واحدها

P _{max} (KW)	OFF (hr)	ON (hr)	Unit
۲۲/۵۶	۳	۲۱	MT 1
۲۶/۳۲	۷	۱۷	MT 2
۴۷/۶۰	۲	۲۲	FC
	۱۲	۶۰	

همچنین هزینه ی کل و میزان آلاینده گی کل ریزشکه در یک روز به صورت جدول (۵) می باشد:

جدول (۵) میزان آلاینده گی و هزینه ی کل

واحد	آلاینده گی کل	هزینه ی کل
MT 1	۲۸۵۴۶	۱۳۶۷۵۰
MT 2	۴۶۰۹۱	۷۶۸۳۲۰
FC	۹۲۶۷۳	۳۱۴۸۸۰
	۱۶۷۳۱۰ g	۱۲۲۰۰۰ \$

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق مشاهده شد که با توجه به ساعات مختلف، تقاضا برای بارهای مختلف متفاوت بوده است. این تفاوت، زمانی آشکارتر می شد که میزان تولید توربین بادی که به عنوان منبع اولیه تولید

رزومه



حسین فرح بخش متولد سال

۱۳۶۴ در شهرستان بهبهان می باشد.
تحصیلات مقطع کاردانی خود را در
استان فارس و دانشگاه آزاد اسلامی
واحد صفاشهر (سال ۱۳۸۵) رشته

الکتروتکنیک و مقطع کارشناسی خود را در دانشگاه آزاد اسلامی
واحد ایزه (سال ۱۳۸۹) رشته مهندسی برق - قدرت و مقطع
کارشناسی ارشد را در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (سال
۱۳۹۴) رشته مهندسی برق - قدرت، گذرانده است.



افشین لشکرآرا در سال (۱۳۵۲) در

تهران متولد شد. مدارک
کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای خود
را در سالهای (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹)
بترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول،

دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی
برق - قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو ارشد انجمن
مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE Senior Member) و
از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد
دزفول می باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و
دینامیکی سیستم های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS
می باشد.

multi-agent system", ELSEVIER.Energy, Vol. 39, No.1, pp. 166-174, March 2012.

[5] R.A. Gupta, Nand Kishor Gupta, "A robust optimization based approach for microgrid operation in deregulated environment", ELSEVIER.Energy Conversion and Management, Vol.93, No.15, pp 121-131, March 2015.

[6] Emmanouil A. Bakirtzis, Pandelis N. Biskas, Dimitris P. Labridis, Anastasios G. Bakirtzis, "Multiple Time Resolution Unit Commitment for Short-Term Operations Scheduling Under High Renewable Penetration", IEEE Transactions on power systems, Vol.29, No.1, January 2014.

[7] Amjad Anvari Moghaddam, Alireza Seifi, Taher Niknam, Mohammad Reza Alizadeh Pahlavani, "Multi-objective operation management of a renewable MG (micro-grid) with back-up micro-turbine/fuel cell/battery hybrid power source", ELSEVIER.Energy, Vol.36, No.1, pp 6490-6507, November 2011.

[8] C. A. Hernandez, T. C. Green, N. Mugniot, "Fuel consumption minization of a microgrid", IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol.41, No.3, pp.673-681, November 2005.

[9] F. Mohamed, "Microgrid modelling and online management", Ph.D. dissertation, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland, 2008.

[10] F. Mohamed, H. Koivo, "Multiobjective optimization using modified game theory for online management of microgrid", IEEE, Vol. 21, No. 1, pp.839-854, Apr 2011.

[11] S. Chen, H. Gooi, and M. Wang, "Sizing of energy storage for microgrids", IEEE Trans. Smart Grid, Vol. 3, No. 1, pp. 142-151, March 2012.

[12] A. Azmy, I. Erlich, "Online optimal management of PEMfuel cells using neural networks", IEEE Trans. Power Del, Vol. 20, No. 2, pp. 1051-1058, Apr. 2005.

[13] S. Boyd, L. Vandenberghe, Convex Optimization, Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2004.

[14] C. Chen, S. Duan, T. Cai, B. Liu, G. Hu, "Smart energy management system for optimal microgrid economic operation", IET Renew. Power Gen., Vol. 5, No. 3, pp. 258-267, May 2011.

زیرنویس ها

¹ Distributed Generation

² Unit Commitment

³ Renewable Energy Sources

¹ Total Cost