اشتراکگذاری بهینه انرژی منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر در شبکه توزیع با درنظرگرفتن عدمقطعیت

احسان هوشمند ، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ رضا نوروزیان ، دانشیار؛ عباس ربیعی ، استادیار

۹- گروه برق، دانشکده مهندسی- دانشگاه زنجان- زنجان- ایران- noroozian@znu.ac.ir
 ۲- گروه برق، دانشکده مهندسی- دانشگاه زنجان- زنجان- ایران- rabiee@znu.ac.ir

چکیده: در این مقاله یک رهیافت تصادفی کارآمد به منظور درنظر گرفتن اثرات عدمقطعیت بر نحوه اشتراکگذاری بهینه انرژی و جایابی مکان نصب منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر در شبکهی توزیع ارائه شده است. تابع هدف اصلی مدل پیشنهادی، کاهش تلفات انرژی در شبکهی توزیع است. به دلیل بزرگی تلفات سالیانه شبکه توزیع، کاهش تلفات مزایای چشمگیری دارد. حذف بخشی از تلفات، صرفهجویی قابل توجهی را در مصرف انرژی به دنبال دارد و سرمایه گذاری برای افزایش کارایی شبکه را توجیه می کند. از جمله این سرمایه گذاریها قراردادن منابع توزیع شده (DG) مانند منابع تولید پاک و تجدیدپذیر ('RES) در شبکه است. عدمقطعیت موجود در تولید RES و تقاضای انرژی، بهرهبردار شبکه توزیع شده ('DG) مانند منابع از منابع مختلف را با چالش مواجه کرده است. در نتیجه، مشارکت انرژی منابع تجدیدپذیر عموماً بر این اساس مشخص می شود که فقط بخش مام وضعیتهای غیر قطعی بهرهبرداری را تضمین میکند. مدیریت عدمقطعیت در این مقاله براساس روش سناریو بنیان مدلسازی شده است. شبکه توزیع منابع در تأمین انرژی شبکه نقش دارد. روش پیشنهادی اشتراکگذاری بهینه انرژی و جایابی منابع تجدیدپذیر را در برابر مما وضعیتهای غیر قطعی بهرهبرداری را تضمین میکند. مدیریت عدمقطعیت در این مقاله براساس روش سناریو بنیان مدل سازی شده است. شبکه توزیع شعای عیر قطعی بهرهبرداری را تضمین میکند. مدیریت عدمقطعیت در این مقاله براساس روش سناریو بنیان مدل سازی شده است. شبکه توزیع منامی از معای می منبرداری را تضمین میکند. مدیریت عدمقطعیت در این مقاله براساس روش سناریو بنیان مدل سازی شده است. مام وضعیتهای غیر قطعی بهرهبرداری را تضمین میکند. مدیریت عدمقطعیت در این مقاله براساس روش سناریو بنیان مدل سازی شده است. منابع موجود و کاهش تلفات انرژی شبکه را براساس جایابی و اشتراکگذاری انرژی منابع توزیع مناسب انرژی بر روی منابع موجود و کاهش تلفات انرژی شبکه را براس جایابی و اشتراکاری انرژی منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر نشان می دهد. ارزیابی نتایج برنامهریزی تصادفی نسبت به برنامهریزی در حالت قطعی، دستای واقعی برای کاهش تلفات در حدود ۲۵٪ را تضمین میکند.

Optimal Sharing of Renewable Energy Sources in Distribution Networks Considering the Uncertainties

Ehsan Hooshmand¹, MSc student; Reza Noroozian², Associate Professor; Abbas Rabiee³, Assistant Professor

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: ehsanhooshmand@znu.ac.ir
2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: noroozian@znu.ac.ir
3- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: rabiee@znu.ac.ir

Abstract: This paper proposes a framework to demonstrate the impact of renewable energy sources' (RESs) uncertainties on the optimal sharing of energy and optimal allocation of different types of RESs in the distribution system to minimize energy losses. Because of the huge annual losses in distribution networks, loss reduction in these networks will be desired from the distribution system operator's perspective. Loss reduction can have significant savings in energy consumption and justify investments to improve network efficiency. One of these investments is optimal location and sizing of distributed generations (DGs) such as clean and renewable generation sources in the network. Uncertainty in RES- based DGs power generatiom and energy demand, makes the planning and operation of distribution networks a challanging problem. As a result, it is assumed that RESs can share a small percentage of their nominal capacity. The proposed method, guarantees the optimal energy sharing and placement of RESs for all possible operating conditions. The inherent uncertainties of RESs are modeled via scenario base method. Penetration limit and number of DGs determined by sensitivity analysis. The proposed model is implemented on the IEEE standard 33-bus radial test systems, and solved by General Algebraic Modeling System (GAMS) optimization software. The simulation results show that appropriate dispatch of energy on the existing resources and minimization of energy loss could be obtained with respect to optimal energy sharing and placement of RES. Analysis results of probabilistic and deterministic cases, substanciate the loss reduction about 35%.

Keywords: Renewable energy sources, wind power generation, uncertainty, photovoltaic cell, scenario based modeling, optimal power sharing.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۴ و ۱۳۹۵ تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۷ و ۱۳۹۵/۱۲/۱۷ تام نویسنده مسئول: رضا نوروزیان نشانی نویسنده مسئول: ایران – زنجان – بلوار دانشگاه زنجان – دانشگاه زنجان – دانشکده مهندسی، گروه برق

۱- مقدمه

با توجه به افزایش تقاضای انرژی و گازهای گلخانهای یکی از راهکارهای تأمین انرژی مورد نیاز، منابع تجدیدپذیر میباشند. به دلیل تغییرات زیادی که در الگوهای مصرف در طی ۲۴ ساعت شبانهروز وجود دارد و نیز عدم قطعیت که در تولید منابع تجدیدپذیر مثل نیروگاه بادی و سیستم فتوولتایک وجود دارد؛ ارائه راهکارهای که بتوان در مواجهه با این اختلافهای موجود در تولید و مصرف از شبکه بهینهترین استفاده ممکن را برد لازم و ضروری است. از جمله این راهکارهایی جایابی بهینه منابع تجدیدپذیر براساس تغییرات و اختلافات فراوانی است که در تولید سیستمهای فتوولتایک و نیروگاههای بادی در الگوهای ۲۴ ساعت وجود دارد، همچنین برداشت بهینه انرژی از این منابع به منظور کاهش تلفات است.

بزرگی هزینه سالیانه تلفات یک شبکه توزیع حاکی از آن است که کاهش تلفات مزایای چشم گیری در پی خواهد داشت. اگر چه حذف تمام تلفات غیرممکن است، حذف بخشی از هزینه سالیانه تلفات می تواند صرفهجویی قابل توجهی را به دنبال داشته باشد تا سرمایه گذاری برای بهبود بازدهی شبکهها را توجیه کند. استفاده از منابع تولید پراکنده مى تواند به صورت بالقوهاى نياز براى گسترش شبكه هاى الكتريكى سنتى را كاهش دهد. با توجه به این كه هزینه اولیه منابع تجدیدیذیر بالاست و افزایش تعداد این منابع باعث به وجود آمدن مشکلات در زمینه مسائل حفاظتی و به وجود آمدن چالشی جدید در کنترل و عملکرد یک شبکهی مطمئن و اقتصادی میشود. بنابراین مدیریت تعداد DGها در شبکه مهم و ضروری می باشد. تصمیم گیری در خصوص تعیین مکان نصب DGها وابسته به موقعیت جغرافیایی و یا وضعیت جوی، عوامل دیگری هستند که توسط مالکان و سهامدارن در این زمینه اتخاذ می شود. باید توجه داشت جایابی نامناسب مکان و اندازه DG علاوه بر این که وضعیت شبکه را بهبود نمی بخشد که حتی ممکن است موجب افزایش تلفات و هزینه بهرهبردای شبکه شود [۱]. استراتژیهای بهینهسازی مختلفی امروزه در مراجع با تعريف توابع هدفي از قبيل؛ ١) كاهش تلفات توان اكتيو شبكه، ۲) کاهش تلفات انرژی، ۳) بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش گازهای گلخانهای ارائه شده است. قیود دیگری که در جایابی مطرح می شود تعداد DGهای مورد استفاده است که جایابی به صورت تکی یا با استفاده از چند DG انجام میشود.

نویسندگان در [۲] با توجه به طبیعت تصادفی بار مصرفی و تولید منابع تجدیدپذیر، مکان و اندازه منابع تجدیدپذیر با شرط بهبود حاشیه پایدار ولتاژ انتخاب میشوند. اندازه و مکان بهینه منابع تجدیدپذیر از نوع ۲۳۲ در شبکه برق شهری براساس برنامهریزی غیرخطی در [۳] پیشنهاد شده است. در [۴] یک تکنیک برنامهریزی احتمالاتی برای مشخص کردن ظرفیت و مکان نیروگاههای بادی براساس برنامهریزی غیرخطی (۳/MINLP) به منظور کاهش تلفات انرژی سالیانه ارائه شده است. نویسندگان در [۵] براساس الگوریتم کلونی زنبور عسل (۵/ABC) مقدار بهینه ظرفیت، مکان و ضریب قدرت GD را محاسبه کرده است.

روش پیشنهادی در [۶] مکان و اندازه بهینه DG را به منظور کاهش تلفات حقيقى شبكه ارائه مىكند. با توجه به هزينه نصب منابع تجدیدپذیر یکی از اهدافی که در مراجع به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می شود حداقل کردن تعداد DGها می باشد. با توجه به ماهیت MINLP بودن مسئله جایابی DG، در [۷] با ارائه روشی مسئله به صورت DNLP حل شده و علاوه بر كاهش تلفات توان اكتيو، تعداد DGها و بهبود پایداری ولتاژ مد نظر قرار گرفته است. مرجع [۸] الگوریتم تکرار شوندهای را برای جایابی و اندازه واحدهای DG و خازن تکفاز پیشنهاد كرده است، سطح نفوذ DGها به منظور نشان دادن اثرات آنها روى پروفیل ولتاژ، تلفات حقیقی شبکه و حاشیه پایداری ولتاژ در حالی که قيود مربوط به حدود ولتاژ در تمام باسها حفظ شود ارائه داده است. روش تحليلی پيشنهاد شده [۹] مکان بهينه DG با تابع هدف کاهش تلفات حقیقی سیستم مشخص می کند. در [۱۰] مکان بهینه برای انواع مختلف واحدهای تجدیدپذیر DG براساس برنامهریزی MINLP با درنظر گرفتن تابع هدف کاهش تلفات انرژی سالیانه سیستم انجام شده است. استفاده از منابع تجدیدپذیر مزایای زیادی همچون کم کردن هزینه تأمین انرژی و عدم آلودگی زیستمحیطی دارد. از طرفی عدم قطعیت ذاتی موجود در تولید انرژی از این منابع، عملکرد سیستمهای که از این انرژی برای پاسخ به تقاضای بار استفاده میکنند را تحت تأثیر قرار داده است [۱۱]. در مطالعات گذشته مدلسازی عدم قطعیت تولید توان از منابع تجدیدپذیری همچون تولید توان بادی و خورشیدی با استفاده از روشهای مختلفی در نظر گرفته شده است، که از جمله آنها تکنیکهای تصادفی مانند؛ ۱) مدلسازی مونت کارلو (۱۲] ۲) روشهای تخمین نقطه٬ [۱۳]) مدلسازی براساس سناریو٬ [۱۴] و یا تکنیکهای فازی و یا مقاوم مورد استفاده قرار گرفته است. مدلسازی عدمقطعیت انرژی باد با استفاده از روش سناریو بنیان در [۱۵] مورد مطالعه قرار گرفته است، که به وسیله یک پخش بار بهینه، مقدار توان اکتیو و راکتیو تولیدی توسط واحدهای بخاری و بادی موجود در سیستم تعیین شده است. نویسندگان در [۱۶] با استفاده از روش فقدان اطلاعات سعی در مدیریت عدم قطعیت موجود در تولید منابع تجدیدپذیر به منظور افزایش پایداری شبکه و جلوگیری از هزینههای ناخواسته را دارند. در [۱۷] یک مدل مدیریت انرژی سیستم (EMS^۹) به منظور به دست آوردن بهترین قیمت خرید در بازار روز بعد و به حداکثر رساندن استفاده از منابع انرژی توزیع موجود توسعه پیدا کرده است. در مرجع [۱۸]، بهمنظور کاهش اثر عدم قطعیت در تولید توان از مزرعه بادی و تأثیر آن بر روی بازار، مدل جدیدی برای بهرهبرداری هماهنگ مزارع بادی و واحدهای تلمبهی ذخیرهی، ارائه شده است.

با توجه به مطالعات گذشته بیش تر مطالعات انجام شده توان خروجی DGها کنترل پذیر درنظر گرفته شده است، این روش ها قادر به مدل سازی طبیعت تصادفی توان خروجی نیستند [۹–۵]. در [۱۴، ۱۵] برخی متغیرهای فنی مانند حداکثر درصد نفوذ و جایابی مکان نصب DG در مدیریت انرژی برداشت شده از DGها نادیده گرفته شده است.

در برخی مطالعات [۸] به تحلیل اثرات درصد نفوذ DG از نوع غیرتجدیدپذیر پرداخته شده است و با توجه به عدمقطعیت موجود در تولید DG از نوع تجدیدپذیر که در تحلیل اثرات نفوذ و تعداد این منابع نقش مهمی ایفا می کند در زمینه اثرات درصد نفوذ منابع تجدیدپذیر که توان تولیدی آنها دارای عدمقطعیت است، تحلیلی صورت نگرفته است. در [۱۷] به دلیل عدم استفاده از برنامهریزیهای بهینهسازی، مدیریت بهینهی برروی برداشت انرژی منابع موجود در ریزشبکه صورت نگرفته است.

در این مقاله، مسئله اشتراک گذاری بهینهی انرژی منابع تجدیدپذیر (OSRES^{۱۰}) از نوع نیروگاه بادی و PV با در نظر گرفتن الگوی تولید ۲۴ ساعته با هدف کاهش تلفات انرژی و مدیریت تعداد DGها در حالتهای قطعی و تصادفی در نظر گرفته شده است. اثرات عدمقطعیت متغیرهای غیرقطعی بر نحوه OSRES نسبت به برنامهریزی OSRES در حالت قطعی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در این مقاله برروی توان تولیدی نیروگاه بادی، سیستم فتوولتاییک و تقاضای انرژی عدمقطعیت در نظر گرفته شده است. مدلسازی عدمقطعیت متغیرهای غیرقطعی براساس روش سناریو بنیان با آگاهی از توابع چگالی احتمالی حاکم بر هر یک از متغیرهای غیر قطعی انجام شده است. تعیین مکان نصب، تعداد و ترکیب DGها با در نظر گرفتن یک مدل برنامهریزی غیرخطی تركيبي عدد-صحيح (MINLP)، مشخص مي شود. خروجي اين مسئله، ترکیب بهینه و مکان نصب DGها و مقدار بهینه توان برداشتی از مقدار پیشبینی شده توان منابع تجدیدپذیر و شبکه بالادست را به منظور كاهش تلفات حقيقى شبكه مشخص مىكند. مطالعات گذشته نشان میدهد که نفوذ DGها تا یک حد خاصی میتواند بروی کاهش تلفات تاثیر گذار باشد، که در صورت افزایش نفوذ DG بیشتر از حد مد نظر ممکن است موجب بدتر شدن تابع کاهش تلفات انرژی شود [۸]. این مطالعه به جهت تعیین حد نفوذ DG برای بهبود کاهش تلفات انرژی سالیانه دارای اهمیت زیادی است. با انجام تحلیلهای حساسیت اثرات درصد نفوذ و تعداد DGها را بر کاهش تلفات شبکه به منظور دستیابی به یک مقدار بهینه برای درصد نفوذ و تعداد DG انجام شده است. از مزیتهای ساختار ارائه شده میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

- ✓ روش پیشنهادی با توجه به OSRES در حالت غیرقطعی عدم
 نقض هر یک از قیود سیستم را تحت هر وضعیت بهرهبرداری
 در طی روز بعد تضمین میکند.
- ✓ روش پیشنهادی جایابی مکان DG از نوع تجدیدپذیر را برای تمام وضعیتهای بهرهبرداری ممکن تضمین میکند.
- روش پیشنهادی با انجام تحلیل حساسیت اثرات تغییرات
 تعداد و نفوذ منابع تجدیدپذیر بروی تلفات حقیقی شبکه را
 ارائه می کند.

ادامه این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است:

در بخش دوم اصول روش مدلسازی تصادفی براساس سناریو مطرح خواهد شد. ساختار مدل پیشنهادی در بخش سوم نشان داده شده است.

تابع هدف و فرمولاسیون مسئله در بخش چهارم ارائه میشود. نتایج شبیهسازی و تحلیل آنها در بخش پنجم نشان داده میشود. در پایان، بخش ششم به جمعبندی و نتیجهگیری از مقاله میپردازد.

۲- مدلسازی تصادفی براساس سناریو

با توجه به تقاضای انرژی الکتریکی با کیفیت و قابلیت اطمینان بالا، یکی از عوامل مهم آمادگی لازم به جهت تأمین انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان در بهرهبرداری از شبکه است. به همین منظور پیشبینی شرایط شبکه برای برنامهریزی و بهرهبرداری از منابع موجود با توجه به امکان خطا در مقادیر اندازه گیری و نمونهبرداری شده در گذشته، پاسخهای حاصله دارای مقداری عدم قطعیت هستند. این در حالی است که مهمترین خطایی که در این مقادیر پیشبینی شده وجود دارد در نظر نگرفتن عدم قطعیتی است که در پیشبینی آینده شبکه وجود دارد. بنابراین بهرهبردار شبکه توزیع ('DNO) با در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در این متغیرها، بهرهبرداری بهینهتری از شبکه میتواند داشته باشد. چنانچه y=f(Z) یک تابع چند هدفه، که Z یک بردار غیرقطعی با تابع چگالی احتمالی مربوط به خود توصيف شده است. چندين روش برای مواجهه با این عدم قطعیت وجود دارد که از جمله آن؛ ۱) مدل سازی مونت کارلو [۱۲] ۲) روش های تخمین نقطه [۱۳]) مدل سازی براساس سناریو [۱۴] و یا تکنیکهای فازی است. در این مقاله، به منظور مدلسازی عدم قطعیت مرتبط با تابع هدف از روش سناریو بنیان استفاده شده است. در این روش سناریوهای مختلف با توجه به تابع چگالی احتمال (PDF¹⁷) مرتبط با هر متغییر غیرقطعی تولید Z_s و مقدار y به صورت زیر محاسبه می شود:

$$y = \sum_{s \in \Omega_s} \pi_s \times f(Z_s) \tag{1}$$

که π_s احتمال مربوط به حالت S، Ω_s مجموعه تمام حالتهای در نظر گرفته شده برای پارامتر غیرقطعی Z است. چنانچه چندین متغیر با سناریوهای مختلف وجود داشته باشد، π_s احتمال مربوط به حالت S به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\pi_s = \prod_{x \in \mathcal{X}} \pi_x \qquad \forall s \in \Omega_s \tag{(7)}$$

که π_x احتمال مربوط به پارامتر غیرقطعی x، γ مجموعه پارامترهای غیرقطعی است.

۲-۱- مدلسازی عدمقطعیت در تولید توان باد

تولید توان توسط توربین بادی وابسته به سرعت باد در مکان نصب آن میباشد. تابع توزیع ویبال با توجه به دقت بالایی که در توصیف احتمالی سرعت باد دارد، به منظور مدلسازی سرعت باد در نظر گرفته شده است [۱۹]. توصیف تابع توزیع ویبال^{۱۲} به صورت زیر است:

$$f(x|\lambda,k) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{\lambda}{x}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$$
(٣)

که
$$k$$
 پارامتر شکل ^{۱۰} و λ پارامتر مقیاس دا نام گذاری شده است.

برای بهدست آوردن توزیع توان باد از معادله تخمینی خطی زیر استفاده شده است [10]:

$$\Omega = \begin{cases} 0 & \text{if } X \leq V_{ci} \text{ or } X > V_{co} \\ \alpha + \beta X & \text{if } V_{ci} \leq X \leq V_r \\ M & \text{if } V_n \leq X \leq V_m \end{cases}$$
(*)

که Ω نشان دهنده توان تزریق شده توسط توان باد است. X سرعت واقعی باد، M حداکثر توان خروجی توربین بادی، β , α , β ضرایب خطی معادله، V_{ca}, V_{ca}, V_{r} که سرعت نرمال باد و حداکثر و حداقل سرعت باد که به ازای آن توان تولید نمی شود را نشان می دهد. با استفاده از تکنیک استفاده شده در [۲۰]، PDF سرعت باد نشان داده شده در شکل ۱ به چندین حالت تقسیم شده است، و احتمال رخداد هر حالت براساس این تکنیک محاسبه شده است. پارامترهای مربوط به توزیع باد در جدول ۱ نشان داده شده است. مدل نموداری معادله (۴) که منحنی ایده آل تولید توان توربین بادی است، در شکل ۲ نشان داده شده است.



۲-۲- مدلسازی عدمقطعیت در تقاضای بار و تولید سیستم فتوولتاییک

به منظور نشان دادن تولید تصادفی PV و تقاضای انرژی، تابع توزیع نرمال با آگاهی از مقدار میانگین و واریانس نشان داده شده در شکل ۳ در نظر گرفته شده است. توصیف تابع توزیع نرمال به صورت زیر است:

$$f(x \mid m, \theta^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \theta} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\theta^2}\right) \quad -\infty < x < \infty \quad (\Delta)$$
m align of the probability of the

$$\pi_{\rho} = \oint f(x \mid m, \mathcal{G}^2) \, dx \tag{(6)}$$

$$p\rho_{s} = \oint_{S_{s}} x f(x \mid m, \theta^{2}) dx$$
 (Y)

 $p\rho_s$ ،PV احتمال رخداد مربوط به سناریو Sام مربوط به تولید PV، π_{ρ} میانگین در هر یک از سناریوهای PV است. با توجه به شکل ۳ تعداد سناریو تولید PV در طی ساعات تولید، ۵ سناریو در هر ساعت است. تعداد ۳ سناریو در هر ساعت نیز به منظور خطای پیش بینی در تقاضای بار براساس توزیع نرمال در نظر گرفته شده است [11].

سناریوهایی برای ساخت مجموعه نهایی سناریوها بر طبق رابطه (۲) به صورت زیر ترکیب میشوند [۲۲]:

(λ)

$$\pi_s = \pi_w \times \pi_\rho \times \pi_l$$

که π_{ρ} , π_{w} و π_{l} به ترتیب احتمال سناریوهای نیروگاه بادی wام، نیروگاه خورشیدی ρ ام و بار *l* ام را نشان میدهد. که مجموع تعداد سناریوها از رابطه $N_{n}, \rho_{n} \times I_{n}$ به سناریوها از رابطه $w_{n}, \rho_{n} \times I_{n}$ به دست میآید، که V_{n}, ρ_{n}, I_{n} به ترتیب تعداد حالتهای در نظر گرفته شده برای بار، PV و باد میباشد.



۳- ساختار مدل پیشنهادی

ساختار پیشنهادی راهحلی برای اشتراک گذاری انرژی منابع تجدیدپذیر در کاهش تلفات اکتیو شبکه است، که به صورت بالقوهای نیاز برای گسترش شبکههای الکتریکی سنتی را کاهش میدهد. چهارچوب پیشنهادی این امکان را برای DNO فراهم میکند که به نحو شایستهای منابع تأمین انرژی خود را با توجه به گزینههای مختلفی از قبیل انتخاب محدوده وسيعى از منابع تجديدپذير و عدمقطعيت حاكم بر آنها بر پايه کاهش تلفات اکتیو انتخاب کند. ساختار پیشنهادی در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به این که در برنامهریزی DNO برای یک بازه ۲۴ ساعته از اطلاعات ثبت شده در گذشته استفاده می شود، بر این اساس مطابق با شکل ۴ ورودی مسئله پیشبینی توان تولیدی منابع شبکه و تقاضای بار است. با توجه به عدمقطعیت در تولید RES و تقاضای انرژی، براساس بخش ۲ در واحد تولید سناریو به تولید سناریوهای عدمقطعیت با توجه به دادههای پیشبینی به همراه احتمال وقوع و برنامهریزی قطعی مشارکت واحدهای سناریو می پردازد. انتخاب امید ریاضی توانهای تصادفی تولید و مصرف برای شرکت در OSRES براساس مقادیر سناریوهای مختلف و احتمال وقوع در هر سناریو به جهت اجرای اشتراک گذاری بهینه انرژی منابع تولیدی از طریق برنامهریزی غيرخطى-عدد صحيح است. خروجي چهارچوب پيشنهادي، جايابي و ترکیب بهینه منابع متفاوت تجدیدپذیر و برداشت بهینهی انرژی از این منابع با هدف کاهش تلفات شبکه است.



شکل ۴: بلوک دیاگرام ورودی و خروجی مدل پیشنهادی

۴- مدلسازی ریاضی مساله

سیاست گذاری کشورها بر این اساس است که بخشی از انرژی مورد تقاضا توسط خود مصرف کنندگان و با استفاده از منابع تجدیدپذیر مانند باد و نورخوشید تأمین شود [۲۳]. روش پیشنهادی به بررسی اثرات انواع مختلف منابع تجدیدپذیر و نحوه مشارکت این منابع در کاهش تلفات انرژی شبکه در ساختار قطعی و تصادفی می پردازد. جزئیات توابع هدف و قیود مربوطه روش پیشنهادی در زیر آمده است.

۴–۱– توابع هدف

هدف DNO، جایابی بهینه مکان DGها و برداشت بهینه از منابع موجود با هدف حداقل کردن تلفات انرژی سالیانه و مدیریت تعداد GGهای نصب شده ضمن بر آورده نمودن قیود تساوی و نامساوی بهرهبرداری شبکه است. در استراتژی حداقل سازی تلفات انرژی در حالت عمومی، فرمولاسیون مسئله به صورت زیر تعریف می شود:

$$\min_{DV} z = \sum_{t \in \Omega_T} \psi_t \qquad t = 1, 2, ..., T$$
(9)

$$F(DV,\Theta) \le 0 \tag{(1.1)}$$

$$G(DV,\Theta) = 0 \tag{11}$$

 \mathcal{W}_i در (۹) تلفات توان اکتیو در هر ساعت، DV و Θ به ترتیب متغیرهای تصمیم گیری و پارامترهای ورودی است. T نشان دهندهی افق بهرهبرداری، F و G به ترتیب قیود نامساوی و مساوی در چارچوب بهینهسازی توصیف شده در معادلات (۹) تا (۲۹) را نشان می دهند. تابع هدف تعریف شده برمبنای حداقل سازی تلفات اکتیو شبکه با توجه به جایابی بهینه DGها و بهینه کردن تعداد آنها می باشد. با توجه به در نظر گرفتن عدمقطعیت موجود در تولید پیش بینی شده منابع تجدیدپذیر و همچنین تقاضای انرژی، تابع هدف بهینه سازی به صورت زیر بیان می شود:

$$\min z (nw, n\rho, nDG)$$

$$\min_{DV} z = \sum_{t \in \Omega_T} \sum_{s \in \Omega_s} \pi_s \times \psi_{t,s}$$

$$F(DV, \Theta) \le 0$$

$$G(DV, \Theta) = 0$$
(17)

که π_s در (۱۲) تلفات اکتیو در هر ساعت و در هر سناریو، π_s با توجه به رابطهی (۵) محاسبه که احتمال مربوط به حالت s است. روش پیشنهادی که براساس برنامهریزی MINLP است، مکان و ترکیب بهینه تعداد DG ما را براساس مدل زیر محاسبه می کند:

$$\sum_{i \in \Omega_n} (\upsilon_i + \tau_i) \le n \text{DG} \qquad \forall i \in \Omega_n \qquad (1\texttt{Y})$$

$$\sum_{i \in \Omega_n} \upsilon_i \le n \text{W} \qquad \forall i \in \Omega_n \qquad (1\texttt{Y})$$

$$\sum_{i \in \Omega_n} \tau_i \le n \rho \qquad \forall i \in \Omega_n \qquad (1\texttt{A})$$

$$\tau_i + \upsilon_i \le 1 \qquad \forall i \in \Omega_n \tag{19}$$

براساس (۱۳) DNO این امکان را دارد که از میان منابع DG در دسترس (حداکثر تعداد DG قابل نصب (DGn))، با توجه به حداکثر منابع بادی در دسترس (mW) در (۱۴) و حداکثر منابع VP در دسترس (np) در (n()، ترکیب بهینه را جایابی کند. متغیرهای باینری v_i v_i v_i به ترتیب بیان گر وضعیت قرار داشتن یا نداشتن نیروگاه بادی و فتوولتاییک برروی هر کدام از شینهای شبکه میباشد که چنانچه هر کدام از این متغیرها بروی هر یک از شینهای شبکه میباشد که چنانچه هر کنند به معنی جای گذاری منبع تجدیدپذیر بروی آن شین میباشد و توجه داشت که قیود (۱۴) و (۱۶) این آزادی عمل را در اختیار دارد. باید قرار میدهد که با توجه به منابع تجدیدپذیری که در اختیار دارد ترکیب قرار میدهد که با توجه به منابع تجدیدپذیری که در اختیار دارد ترکیب نهینه ممکن را از میان آنها براساس قید (۱۳) انتخاب کند. به دلیل اغتشاشات ولتاژی که در اثر جاگذاری دو منبع تولید پراکنده از انواع متفاوت خورشیدی و بادی بر روی یک باس وجود دارد قید (۱۶) مانع

۲-۴ قیود تساوی و نامساوی مساله

قیود برابری شامل معادلات پخش بار AC و قیود نامساوی شامل حدود متغیرهای سیستم (یعنی ولتاژ و توانهای اکتیو و راکتیو) است. برقراری تابع هدف مشروط به برقراری معادلات و محدودیتهای زیر میباشد [۱۴، ۲۴].

 $\forall i \in \Omega_n ; \forall t \in \Omega_T , \forall l \in \Omega_L , \forall s \in \Omega_S$

$$\psi_{t,s} = \sum_{i \in \Omega_n} P_{i,t,s}^{net}$$
(1V)

$$P_{i,t,s}^{net} = P_{i,t,s}^{G} + P_{i,t,s}^{w} + P_{i,t,s}^{\rho} - P_{i,t,s}^{D}$$
(1)

$$Q_{i,t,s}^{net} = Q_{i,t,s}^{G} + Q_{i,t,s}^{w} - Q_{i,t,s}^{D}$$
(19)

$$P_{i, j, s}^{net} = V_{i, j, s} \sum_{i \in \Omega_n} V_{j, j, s} \left(g_{ij} \cos(\theta_{ij, j, s}) + b_{ij, j, s} \sin(\theta_{ij, j, s}) \right)$$
(7.)

$$Q_{i,t,s}^{net} = V_{i,t,s} \sum_{i \in \Omega_n} V_{j,t,s} \left(g_{ij} \cos(\theta_{ij,t,s}) - b_{ij,t,s} \sin(\theta_{ij,t,s}) \right)$$
(Y1)

$$Y_{ij} = g_{ij} + j \times b_{ij} \tag{(YY)}$$

$$\theta_{ij,t,s} = \delta_{i,t,s} - \delta_{j,t,s} \tag{(TT)}$$

$$V_{\min} \leq V_{i,j,s} \leq V_{\max} \tag{(14)}$$

$$I_{l,t,s} = Y_{l=ij} \left(\left| V_{i,t,s} \prec \delta_{i,t,s} - V_{j,t,s} \prec \delta_{j,t,s} \right| \right) \le \overline{I_l}$$
 (Y Δ)

به منظور جایابی DGها تغییرات زیر بروی قیود شبکه اعمال شده است: DGها تغییرات زیر برو $v_i \in \Omega_n \; ; \forall t \in \Omega_T \; , \forall s \in \Omega_s$

$$0 \le P_{i,t,s}^{w} \le w p_s \times \Lambda_t \times \upsilon_i \tag{79}$$

$$\chi_i^{up} \times P_{i,t,s}^w \le Q_{i,t,s}^w \le \chi_i^{dn} \times P_{i,t,s}^w \tag{(YY)}$$

$$0 \leq P_{i,t,s}^{\rho} \leq \rho p_s \times \Gamma_t \times \tau_i \tag{YA}$$

$$\sum_{i \in \Omega_n} \left(P_{i,t,s}^w + P_{i,t,s}^\rho \right) \le \Upsilon \times \sum_{i \in \Omega_n} P_i^D \tag{(Y9)}$$

و $Q_{i,t,s}^{net}$ و $Q_{i,t,s}^{net}$ در (۱۸) و (۱۹) توان اکتیو و راکتیو تزریق شده به باس $Q_{i,t,s}^{net}$ ن در ساعت t ام و سناریو s ام است. Y_{ii} و Y_{ij} در (۲۲) و (۲۳) به iترتيب اندازه و زاويه j = i - iام عنصر ماتريس ادميتانس است. $P^G_{i,t,s}$ و در (۱۴) و (۱۵) توان اکتیو و راکتیو تزریق شده به شبکه توسط $Q^{G}_{i,t,s}$ شبکه بالادست را نشان میدهد. V_{i,t,s} ، V_{i,t,s} در (۲۴) اندازه ولتاژ، حدود تغییرات ولتاژ در هر باس، I, در (۲۵) حداکثر جریان مجاز هر فيدر مىباشد. Ω_n , Ω_T , Ω_L , Ω_S سيستم شامل مجموعه سناریوها، فیدرها، ساعات بهرهبرداری و مجموعه گرهها را نشان مىدهند. $P_{i,t,s}^{w}$ و $Q_{i,t,s}^{w}$ در معادلات پخش توان، توان تزريقى اكتيو و راکتیو توسط نیروگاه بادی، ۸٫ در معادله (۲۶) حداکثر توان مجاز تولید شده توسط نیروگاه بادی براساس الگوی پیشبینی تولید نیروگاه بادی است. χ_{i}^{up} و χ_{i}^{up} در (۲۷) حدود عملکرد زیرتحریک تا فوق تحریک نیروگاه بادی را مشخص می کند. $P_{i,t,s}^{\rho}$ و Γ_{t} در (۲۸) به ترتیب توان تزريقي توسط سيستم فتوولتاييك و همچنين حداكثر توان مجاز توليدي توسط سیستم فتوولتاییک براساس الگوی پیش بینی تولید را نشان میدهد. معادله (۲۹) حداکثر نفوذ واحدهای DG را در سیستم مشخص مى كند. حداكثر نفوذ براساس متوسط نفوذ واحدهاى DG مشخص

میشود. در (۲۹) ۲ حد حداکثر نفوذ، که درصدی از حداکثر بار شبکه است. با توجه به مشارکت بهینه انرژی DGها در تأمین توان شبکه به طور نمونه در (۲۶) توان تولیدی نیروگاه بادی در سناریو تام در زمان ام و در شین آم ($P_{i,s}^{W}$) حداقل برداشت انرژی از آن صفر و حداکثر انرژی، به صورت حاصل ضرب: (نرخ تولید نیروگاه بادی در سناریو تام (wp_s) × مقدار تولید پیش بینی شده در زمان ام (Λ) × متغیر باینری به جهت تعیین نصب یا عدم نصب نیروگاه بادی (v_i) در این شین) که متناسب با هدف بهینه سازی مقدار بهینه انرژی برداشت می شود.

۴-۳- متغیرهای تصمیم گیری مساله

OSRES متغیرهای تصمیم گیری (یا متغیرهای کنترلی) در مدل OSRES پیشنهادی، همان توانهای حقیقی تزریقی توسط شبکه بالادست و نیروگاههای بادی و سیستمهای فتوولتاییک و ولتاژ مربوط به شین متصل به شبکه بالادست و همچنین تعداد منابع تجدیدپذیر هستند. لازم به ذکر است که متغیرهایی نظیر اندازه و زاویه ولتاژ شینهای بار، زاویه ولتاژ شین اسلک، توان راکتیو تزریقی شبکه بالادست و نیروگاههای بادی و همچنین توان عبوری از خطوط، متغیرهای وابسته هستند که با بادی و همچنین توان عبوری از خطوط، متغیرهای وابسته هستند که با حل مسئله OSRES و همزمان با تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم گیری شبکه، مقدار این متغیرهای وابسته نیز تعیین خواهد شد. متغیرهای تصمیم گیری DV ، پارامترهای ورودی Θ و مجموعهها به صورت زیر هستند:

$$DV = X = \begin{cases} P_{i,t,s}^{G}, P_{i,t,s}^{W}, P_{i,t,s}^{\rho} \\ V_{slack}, v_{i}, \tau_{i} \end{cases}$$
(\vec{c}\cdots)

$$\Theta = \begin{cases} Q_{i,t,s}^{D}, P_{i,t,s}^{D}, V_{\min/\max}, I_{l} \\ nw, n\rho, nDG, \Gamma_{l}, \Lambda_{l} \\ Y_{ij}, \phi_{ij}, P_{l}^{D}, \chi_{i}^{up}, \chi_{l}^{dn} \end{cases}$$
(⁽¹⁾)

$$Sets = \left\{ \Omega_n, \Omega_T, \Omega_L, \Omega_S \right\}$$
(77)

۵- شبیهسازی و نتایج عددی

در این بخش شبیه سازی ها و نتایج عددی بر روی شبکه استاندارد ۳۳ شینه IEEE ارائه شده است. دیاگرام تکخطی شبکه ۳۳ شینه IEEE در شکل ۵ نشان داده شده است. ابتدا به بررسی نتایج عددی بهدست آمده در حالت قطعی و با فرض حداکثر تولید منابع DG برابر با الگوی پیش بینی و تقاضای انرژی برابر الگوی پیش بینی شده، پرداخته می شود. در ادامه براساس بهره برداری احتمالی، به SRES در اثر عدم قطعیت متغیرهای غیر قطعی به منظور دستیابی به جایابی و ترکیب بهینه نصب انواع متفاوت DG و همچنین مشارکت بهینه DGها در تأمین انرژی در اثر تمام وضعیت های بهره برداری پرداخته می شود. در نهایت تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مختلف و ارزیابی نتایج به دست آمده در حالت قطعی و با عدم قطعیت ارائه خواهد شد.

مدل OSRES پیشنهادی در دو حالت بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت و با وجود عدم قطعیت تولید توان از نیروگاه بادی و سیستم

فتوولتاییک در محیط نرمافزار بهینهسازیGAMS [۲۱]، پیادهسازی شده است. برای تحلیل این مسئله از حلکننده SBB در یک کامپیوتر شخصی با مشخصات Intel®Core™i5-3210MCPU@2.50GHz,8GB استفاده شده است.



شکل ۵: دیاگرام تکخطی شبکه ۳۳ شینه IEEE و مکان نصب منابع تجدیدپذیر در حالت قطعی

این شبکه توسط شین ۱ به شبکه بالادست متصل است و همچنین دارای ۳۲ خط است. اطلاعات مربوط به پخش بار این شبکه در مرجع [۲۵]، موجود است.

در شبیه سازی ها نیز ضرایب $m_{i} \chi$ و $m_{i} \chi$ در (۲۷) به ترتیب برابر +۰/۸ و ۸/۸ - در نظر گرفته شده اند، تا محدوده عملکرد زیر تحریک تا فوق تحریک نیروگاه بادی پوشش داده شود. سیستم فتوولتاییک در ضریب قدرت واحد کار می کند. درصد نفوذ واحدهای DG (۲) در (۲۹) مریب قدرت واحد کار می کند. درصد نفوذ واحدهای DG (۲) در (۲۹) براساس تحلیل های انجام شده در بخش ۵-۳، ۳۰٪ انتخاب شده است. همچنین با این فرض که امکان انتخاب جایابی و ترکیب منابع قابل نصب براساس روش بهینه سازی انجام شود در (۱۳) تا (۱۵) DG – nW=np انتخاب شده است که براساس تحلیل حساسیت بخش ۳–۵ تعداد ۶ عدد DG انتخاب شده است.

منابع تأمین انرژی شبکه، نیروگاه بادی، سیستم فتوولتاییک و شبکه بالادست براساس الگوهای نشان داده شده در جدول ۲ هستند. فرض بر این است که نیروگاههای بادی و فتوولتاییک هر کدام دارای ظرفیت نامی ۸۰۰kW باشند.

[77]	ژی (%) ا	نقاضای انر	DGها و `	خروجى	توان	بينى	۱: پیش	جدول ا
------	----------	------------	----------	-------	------	------	--------	--------

Time	load	wind	PV
١	۰/۵۳	•/١١٩	•
۲	٠/۴٩	•/119	•
٣	•/۴٩	•/119	•
۴	۰/۵۲	•/119	•
۵	۰/۵۶	•/119	•
۶	•/87	•/•۶١	•
٧	• /Y	•/119	•
٨	• /Y۵	•/•AY	•/••٨
٩	۰/V۶	•/119	۰/۱۵
١٠	• /٨	•/٢•۶	۰/۳۰۱
١.	• /٨	۰/۲۰۶	۰/۳۰۱

11	• /YA	۰/۵۸۵	۰/۴۱۸
١٢	۰/۷۳	•/۶٩۴	٠/۴٧٨
١٣	۰/۷۲	•/781	۰/۹۵۶
14	• /VY	•/\&A	۰/۸۴۲
۱۵	۰/۷۵	•/119	٠/٣١۵
18	•/٨	•/• A Y	٠/١۶٩
١٧	٠/٨۴	•/119	•/• ٣٢
١٨	• /٨٨	•/119	•
١٩	٠/٩	•/• \ ۶	•
۲۰	۰/۸۶	•/119	•
۲۱	• /YA	•/• \ ۶	•
۲۲	• /Y)	•/• \ ۶	•
۲۳	•/84	•/•۶١	•
74	•/۵۶	•/•۴١	•

مدلسازی OSRES در چند مرحله انجام شده است:

مرحله اول: مدلسازی OSRES با توجه به مطالعات یک روز نمونه با در نظر گرفتن الگویهای تولید و تقاضا برای یک سال تعمیم داده میشود. مسئله OSRES براساس معادلات (۲۵)-(۹) بدون در نظر گرفتن عدمقطعیت تحلیل میشود.

مرحله دوم: با در نظر گرفتن خطای موجود در مقدار پیش بینی شده با استفاده از روش سناریو بنیان و توابع توزیع حاکم بر هر یک از پارامترها به جهت تعیین خطای آن پارامتر نسبت به مقدار پیش بینی شده که در بخش ۲ مطرح گردید، اشتراک گذاری بهینه انرژی منابع موجود براساس مدل OSRES در حالت غیرقطعی تحلیل می شود.

مرحله سوم: با انجام تحلیل حساسیت تأثیر تغییرات درصد نفوذ و تعداد DGها بر روی تلفات انرژی سالیانه بررسی خواهد شد.

مرحله چهارم: در این قسمت نیز به بررسی نتایج بهدست آمده در حالت قطعی و غیرقطعی پرداخته خواهد شد.

۵-۱-۵ حل مسئله OSRES در حالت قطعی

در این حالت ابتدا با فرض این که حداکثر میزان توان تولیدی نیروگاه بادی، سیستم فتوولتاییک و تقاضا بار برابر با الگوی پیش بینی شده است، مسئله OSRES در حالت قطعی تحلیل می شود. با انتخاب حداکثر تعداد DG از انواع متفاوت در (۱۳) 6=D*G* در نظر گرفته شده است. ترکیب بهینه ۵ عدد DG از نوع بادی و ۱ عدد DG از نوع فتوولتاییک توسط مدل بهینه سازی انتخاب شده و مقدار به دست آمده برای تابع هدف (تلفات انرژی) براساس (۹) تا (۲۹) در حالت پایه برابر ۴۱۷/۴۵۰

مکان بهینهی که برای DGها بهدست آمده، قرار گرفتن نیروگاه بادی بروی شینهای ۱۴، ۲۰، ۳۱، ۳۱، ۳۲ و همچنین مکان بهینه برای سیستم فتوولتاییک شین ۱۰ انتخاب شده است. با توجه به مقدار تلفات در حالت بدون نصب DG و با در نظر گرفتن منحنی بار مورد تقاضا که ۹۰۵/۲MWyear است میزان کاهش تلفات با جای گذاری DG نسبت به وضعیت شبکه بدون نصب DG، ۸۸،DC درصد کاهش یافته است. میزان 3500

تولید هر کدام از منابع موجود در شبکه در طی یک سال در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده مجموع انرژی برداشت شده از نیروگاه بادی ۴۴۷۱/۰۶۷ MWyear، سیستم فتوولتاییک شده از نیروگاه بادی ۲۱/۶۹۵ و میزان انرژی گرفته شده از شبکه بالادست و ۱۷۸۷۵/۲۰۸MWyear که ۷۸/۰۴٪ از انرژی توسط شبکه بالادست و ۲۱/۹۵٪ توسط GDها تأمین می شود.



شکل ۶: اشتراکگذاری بهینه انرژی به همراه تلفات شبکه ۳۳ شینه در طی یک سال

براساس نتایج ملاحظه می شود که با توجه به قید درصد نفوذ در معادلات (۲۹) که حداکثر ۳۰٪ $X \leq \Upsilon$ در نظر گرفته شده ولی باتوجه به هدف بهینه کردن انرژی برداشته شده از منابع، میزان انرژی که از DGها تأمين شده ٢١/٩۵٪ است به عبارتي كل ظرفيت توليد منابع تجديدپذير استفاده نشده است. به طور نمونه در یک روز در طی ۲۴ ساعت مقدار انرژی به اشتراک گذاری شده شبکه در شکل ۷ نشان داده شده است. انرژی تزریق شده توسط نیروگاههای بادی و سیستمهای فتوولتاییک نسبت به حالت پیش بینی شده در شکلهای ۸ و ۹ نشان داده شده است. براساس نتایج نشان داده شده در شکلهای ۸ و ۹ ملاحظه می شود که DNO با توجه به حداکثر توان در دسترس پیشبینی شده به اشتراک گذاری انرژی هر کدام از DGهای نصب شده به گونهای می پردازد که تلفات اکتیو شبکه به صورت بهینه کاهش یابد. براساس قیود (۲۶) تا (۲۹) بدون در نظر گرفتن عدمقطعیت که حدود تولید RESها را تعیین می کنند OSRES به گونهای انجام شده است که مقدار بهینه انرژی RESها نسبت به مقدار پیش بینی شده، اخذ شده است. به دلیل این که در بازه زمانی ساعت ۱۱ تا ۱۳ ظرفیت انرژی در دسترس افزایش یافته است به بررسی نتایج در این بازه زمانی می پردازیم. در شکل ۹ در ساعت ۱۱ میزان تولید PV صفر شده است که از جمله موارد آن می توان به افزایش انرژی اخذ شده از نیروگاههای بادی در این بازه زمانی اشاره کرد به گونهای که با کاهش توان خروجی نیروگاههای بادی از ساعت ۱۳ به بعد انرژی اخذ شده از PV افزایش پیدا کرده است. در مجموع در بازه زمانی ۱۰ تا ۱۳ به دلیل امکان تزریق توان راکتیو توسط نیروگاه بادی در شکلهای ۸ و ۹ افزایش انرژی اخذ شده از نیروگاههای بادی نسبت به PV قابل ملاحظهتر است.



شکل ۸: مقایسه انرژی تزریق شده نیروگاههای بادی شبکه نسبت به مقدار پیش بینی شده



مقدار پیش بینی شده

۵-۲- حل مسئله OSRES در حالت غیرقطعی

در این حالت با توجه به این که الگوهای پیش بینی براساس اطلاعات برداشت شده توسط دستگاههای اندازه گیری از گذشته می باشد. بنابراین برنامه ریزی DNO بر این اساس ممکن است موجب خاموشی در شبکه و کاهش قابلیت اطمینان شبکه به دلیل کم بود انرژی و یا تلفات بیش از صد در شبکه شود. بنابراین راه کار مناسب بررسی جایابی و مدیریت انرژی شبکه براساس معادلات پخش بار احتمالاتی است. در این مقاله برروی مهم ترین پارامترهای غیرقطعی شبکه براساس روش سناریو بنیان عدمقطعیت در نظر گرفته شده است. مدل سازی عدمقطعیت تولید است. عدمقطعیت سیستمهای فتوولتاییک و تقاضای انرژی در هر ساعت براساس توزیع نرمال با مقدار میانگین پیش بینی شده براساس جدول ۲ در هر ساعت با ضریب انحراف استاندارد ۲۰۱۵ و ۲۰۱۰ در نظر گرفته شده است [۲۱]. سناریوها برای هر متغیر غیرقطعی در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: حالتهای متغیرهای غیرقطعی شبکه[۲۰, ۲۱]

				-			
0	Wi	ind	P	V	Load		
Ω_s	wp_s	π_{w}	$ ho p_s$	$\pi_{ ho}$	Lp_s	π_l	
s_1	•	•/•۶٨	۰/۸۸ ۱	•/• ٢٢	۰/۹۵۵	۰/۱۵۸	
s_2	•/١٢٨	•/7•۴	•/٩٣•	۰/۱۳۵	١	•/۶۸۲	
<i>s</i> ₃	٠/۴٩٣	•/۴•۴	١	•/۶٨٢	۱/•۴۵	۰/۱۵۸	
s_4	•/እ۶٨	•/١٩٩	۱/•۶٩	۰/۱۳۵			
s_5	١	•/١٢٢	1/114	•/• ٢٢			

با توجه به الگوی تولید توان در هر ساعت، از بازه زمانی ۱ تا ۶ و ۱۸ تا ۲۴ تعداد سناریوها در روش ادغام سناریو در هر ساعت از این بازه زمانی ۱۵ سناریو در هر ساعت ناشی از ۵ سناریو باد و ۳ سناریو بار است. مجموع تعداد سناریوهای تعریف شده در این ۱۳ ساعت ۱۹۵ سناریو است. از ساعت ۸ تا ۱۷ با اضافه شدن تولید توان V۷ و اضافه شدن ۵ سناریو آن تعداد سناریوها در هر ساعت از این بازه زمانی ۷۵ سناریو که تعداد سناریوهای این ۱۱ ساعت نیز ۸۲۵ سناریو است. کل بازه ۲۴ ساعت ۱۰۲۰ سناریو در نظر گرفته شده است.

در این حالت انرژی تلف شده در طی یکسال با توجه به معادله (۱۲) ۲۵/۴۳ DG دنسبت به حالت بدون نصب ۵۸۴/۴۷۴ MWyear کاهش تلفات داشته که به اندازه MWyear ۶ ۲۲۰/۷۲۶ در مصرف انرژی صرفهجویی شده است. در معادله (۱۳) حداکثر تعداد GC جهت SRES شده است. در معادله (۱۳) حداکثر تعداد رو OSRES جایگذاری ۶=*nDG* عدد انتخاب شده است. براساس حل مساله OSRES در حالت غیرقطعی ترکیب بهینه جهت نصب، ۵ عدد نیروگاه بادی در شینهای ۱۶، ۱۸، ۳۰، ۳۱ و ۳۳، ۱ عدد VP جهت نصب در شین ۱۴ نتخاب شده است. میانگین مقدار بهینه انرژی به اشتراکگذاری شده در برنامهریزی روز بعد در شکل ۱۰ نشان داده شدهاست. با در نظر گرفتن عدمقطعیت متغیرهای غیرقطعی، تولید توان بادی مطابق با جدول ۴ در برخی از سناریوها صفر میباشد و از طرفی توصیف تولید VP براساس توزیع نرمال از مقایسه شکلهای ۷ و ۱۰ ملاحظه میشود متوسط انرژی



شکلهای ۱۱ و ۱۲ بهترتیب متوسط انرژی اخذ شده از نیروگاههای بادی و PV در OSRES در حالت غیرقطعی را نشان میدهد، که از مقایسه این شکلها با شکلهای ۸ و ۹ در حالت قطعی مدل OSRES

در حالت غیرقطعی به منظور دستیابی به یک شبکه پایدارتر متوسط انرژی اخذ شده از نیروگاههای بادی را کاهش و از طرفی متوسط انرژی اخذ شده از PV افزایش یافته است. از مقایسهی نتایج مرحله اول و دوم میتوان ملاحظه کرد که در حالت با در نظر گرفتن عدم قطعیت با توجه به توابع توزیع حاکم بر متغیرهای غیرقطعی الگوی برداشت انرژی از منابع در ۲۴ ساعت آینده توزیع انرژی یکنواخت تری بروی منابع موجود نشان می دهد.





عدمقطعيت

همچنین از مقایسه پروفیل ولتاژ در طی ۲۴ ساعت در شین ۱۸ که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، مشاهده میشود که پروفیل ولتاژ در این شین در تمام ساعات تقریباً برابر با حالت قطعی و در محدود تعریفشده حفظ شده است. با توجه به شکل ۱۳ با اضافه شدن تولید PV، اندازه ولتاژ به ۱۹۵ نزدیکتر می شود.



شکل ۱۴ تلفات انرژی در طی روز بعد را براساس OSRES در حالت قطعی و غیرقطعی نشان میدهد. با توجه به شکل ۱۴ تلفات انرژی با در نظر گرقتن عدمقطعیت نسبت به OSRES در حالت قطعی افزایش یافته است، که برنامهریزی DNO بدون در نظر گرفتن این تلفات موجب ناپایداری شبکه و یا حتی بلاک اوت شبکه می شود.



۵–۳– تحلیل حساسیت

در این قسمت حساسیت پارامتر کاهش تلفات انرژی، افزایش درصد نفوذ و تعداد DGها نسبت به یکدیگر بررسی می شود. استفاده روز افزون از منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر به دلیل انرژی پاک و اثرات آنها بروی تلفات شبکه ضرورت این گونه تحلیلها را اثبات می کند. براساس توضیحات بخش ۳ استفاده نامناسب در سطح نفوذ و تعداد DG نه تنها وضعیت شبکه را بهبود نمی دهد بلکه موجب تحمیل هزینه های اضافی و ناپایداری شبکه می شود.

حساسیت تلفات شبکه نسبت به تغییرات ۲ از ۰٪ تا ۵۰٪ با توجه به نصب حداکثر ۶ عدد DG (یعنی $S \ge nDG$)در شکل ۱۵ نشان داده شده است. از شکل ۱۵ ملاحظه میشود که با افزایش ضریب نفوذ DGها در معادله (۲۹) میزان تلفات شبکه به شکل چشم گیری کاهش یافته است. از نتایج به دست آمده مشاهده میشود که حداکثر نفوذ شبکه به ازای ۴۰٪ = ۲ که میزان کاهش تلفات در این حالت میانگین تلفات انرژی اکتیو در طی یکسال ۵۸۰/۸۲۴MWyear به دست میآید و افزایش ضریب نفوذ بیش از این مقدار تأثیر چندانی در کاهش محسوس تلفات نخواهد داشت. نکته قابل توجه در نتایج شکل ۱۵ کاهش محسوس تلفات انرژی اکتیو تا ۲۰٪ = ۲ است.







مکان و ترکیب بهینه نصب DG از نوع بادی و فتوولتاییک به همراه مقدار تلفات انرژی اکتیو و کاهش تلفات در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: مکان بهینه منابع تجدیدپذیر و میزان تلفات انرژی به ازای

تغییرات Υ در حالت غیر قطعی

	Instaled	DG		Enongy
Ύ(%)	WT counected to bus	PV counected to bus	Active energy loss	loss reduction

•	-	-	۹ • ۵/۲	-
١٠	۱۶،۱۸،۳۰،۳۱،۳۲	١٧	۶۴۷/۹۴۸	22/619
۲۰	18.11.3.00.001.000	14	۵٩۶/۶۶۵	341.44
۳۰	۱۶،۱۸،۳۰،۳۱،۳۲	14	574/414	30/431
۴.	10.11.3.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.	۱۰	۵۸۰/۸۲۴	327/22
۵۰	10.11.00.000	١٠	۵8 • / ۲۲۴	30/226

به ازای nDG نمودار تغییرات تلفات انرژی اکتیو نسبت به تغییرات nDG به ازای ۲۰٪ = ۲ در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



DGها در شبکه

از شکل ۱۶ مشاهده می شود که با افزایش nDG در معادلات (۱۶)-(۱۳) از ۰ تا ۸ تلفات انرژی اکتیو سالیانه کاهش پیدا می کند. با توجه به ۳۰٪ $\Upsilon = \Upsilon$ نتایج با افزایش تعداد DGها میزان تلفات در nDG تا $\Lambda \ge nDG$ ، تلفات انرژی اکتیو سیر نزولی خود را ادامه می دهد و از nDG می کند. با توجه به مکل ۲۰۶ MWyear کاهش یافته است و همچنین با توجه به شکل ۱۶ با افزایش DG نصب شده از ۶ به بالاتر به نسبت کاهش تلفات کم تری مشاهده می شود. مکان و میزان کاهش نسبت کاهش تلفات انرژی اکتیو ایش افزایش DG نصب شده از ۶ به بالاتر به تلفات انرژی اکتیو نسبت DG نصب شده از ۶ به بالاتر به نسبت کاهش تلفات کم تری مشاهده می شود. مکان و میزان کاهش تلفات انرژی اکتیو نسبت به تغییرات nDG در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶: مکان بهینه منابع تجدیدپذیر و میزان تلفات انرژی به

ر حالت غير قط	<i>n</i> DG د	تغييرات	زای
---------------	---------------	---------	-----

	Instaled D	G	Activo	Enongy
nDG	WT counected to bus	PV counected to bus	energy loss	loss reduction
•	-	-	۹ • ۵/۲ • •	-
٢	٣٢	۱۵	४ ४१/४ . ९	10/185
٣	۱۸.۳۲	14	٧•٧/١۵١	۲١/٨٧٩
۴	۱۸،۳۱،۳۲	14	809/8TN	TV/179
۵	۱۸،۳۰،۳۱،۳۲	14	820/292	31/419
۶	۱۶،۱۸،۳۰،۳۱،۳۲	14	574/414	30/431
٧	18.11.3.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.4.	14.41	51.16.1	36/926
٨	۱۰،۱۶،۱۸،۳۰،۳۱،۳۲	14.78	588/226	۳۷/۳۸۱

4-4- مقایسه نتایج بهدست آمده از محاسبات در حالت قطعی و با در نظر گرفتن عدم قطعیت

با مقایسه نتایج به دست آمده از محاسبات در حالت قطعی و غیرقطعی، در حالت قطعی هر چند در حدود ۱۸٪ کاهش تلفات بیشتر نسبت به مالت غیرقطعی حاصل شده است اما این شبکه در برابر هرگونه تغییر در متغیرهای غیرقطعی بسیار ناپایدار و با خطر خاموشی شبکه روبرو پاراه است. جایابی و یافتن ترکیب بهینه منابع تجدیدپذیر براساس برنامهریزی قطعی دستیابی به اهداف مورد نظر بهرهبرداران و سرمایه گذاران در این زمینه را با چالش مواجهه میکند. این در حالی است که براساس ' OSRES در حالت غیرقطعی برنامهریزی انرژی شبکه در روز بعد و

زمینه را با چالش مواجهه میکند. این در حالی است که براساس OSRES در حالت غیرقطعی برنامهریزی انرژی شبکه در روز بعد و همچنین جایابی و انتخاب ترکیب بهینه برای بهرهبرداری در تمام وضعیتها تضمین شده است. همچنین با توجه به نتایج بخش ۵-۱ و ۵-۲ مشاهده میشود که در OSRES غیرقطعی توزیع انرژی استخراج شده از منابع موجود یکنواخت ر می باشد.

۶- نتیجهگیری

در این مقاله روش پیشنهادی براساس تکنیکهای برنامهریزی احتمالاتی استفاده بهینه از منابع DG براساس باد و خورشید با توجه به عدمقطعیت موجود در این منابع را در شبکه توزیع ارائه میکند. تولید منابع تجدیدپذیر و همچنین تقاضا انرژی به صورت الگوی ۲۴ ساعته در نظر گرفته شده که در هر ساعت رفتار تصادفی تولید بادی براساس توزیع ويبال و عدم قطعيت در توليد فتوولتاييک و تقاضای انرژی براساس توزيع نرمال مدل شده است. روش پیشنهادی با جایابی مکان و ترکیب بهینه DGها و مشارکت بهینه انرژی این منابع براساس عدمقطعیت حاکم بر متغیرهای شبکه، بهرهبرداری بهینه از شبکه را در برابر تمام وضعیتهای بهرهبرداری به منظور کاهش تلفات تضمین می کند. مدلسازی عدمقطعیت متغیرهای غیرقطعی براساس روش سناریو بنیان انجام شده است. مسئله بهینه سازی براساس مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح (MINLP) در محیط نرمافزار GAMS با در نظر گرفتن قیودی همچون محدوده ولتاژ خطوط، ظرفیت توان عبوری از خطوط، محدودیت تعداد DGها و حدود ضریبنفوذ DGها پیادهسازی شده است. در مدل پیشنهادی با انجام تحلیل حساسیت بهینهترین ضریب نفوذ ممکن و همچنین بهینهترین تعداد DG برای نصب در شبکه توزیع را مشخص مي کند.

فهرست علائم و اختصارات

مجموعهها و شاخصها^{۱۶}

$\Omega_{_L}$	مجموعه خطوط شبكه توزيع
Ω_n	مجموعه همهي گرههاي شبكه
Ω_{T}	مجموعه دوره زماني
Ω_s	مجموعه تمام سناريوها
i	شاخص شینهای شبکه
l	شاخص خطوط انتقال
t	شاخص دورههای بهرهبرداری
S	شاخص سناريو
W	شاخص نيروگاه بادي

درصد نفوذ منابع تجديدپذير

Υ

Transmission & Distribution, vol. 8, no. 3, pp. 389-400, March 2014.

- [14] A. Rabiee, A. Soroudi, B. Mohammadi-Ivatloo and M. Parniani, "Corrective voltage control scheme considering demand response and stochastic wind power," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 29, no. 6, pp. 2965-2973, November 2014.
- [15] A. Rabiee and A. Soroudi, "Stochastic multiperiod OPF model of power systems with HVDC-connected intermittent wind power generation," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol. 29, no. 1, pp. 336-344, February 2014.

[18] عباس ربيعی، احسان هوشمند و سامان نیک خواه, "استفاده از تئوری

تصمیم گیری مبتنی بر شکاف اطلاعاتی برای حل مسئله پخش بهینه

توان مقید به پایداری ولتاژ در حضور نیروگاههای بادی"، مجله مهندسی

برق دانشگاه تبریز، ۱۳۹۵، شماره ۴ جلد(۴۶). ص-ص۱۰۹–۱۲۲

[17] M. Marzband, A. Sumper, A. Ruiz-Álvarez, J. L. Domínguez-García, and B. Tomoiagă, "Experimental evaluation of a real time energy management system for stand-alone microgrids in day-ahead markets," Applied Energy, vol. 106, pp. 365-376, January 2013.

[۱۸] امیرحسین زارع نیستانک، رحمت الله هوشمند و معین پرستگاری،

"بهرهبرداری بهینه از نیروگاههای بادی با استفاده از نیروگاههای

تلمبهای- ذخیرهای بهمنظور کاهش عدم قطعیت در عملکرد آنان در

بازار برق"، مجلـه مهندسـی بـرق دانشـگاه تبریـز، ۱۳۹۱، شماره ۲جلد (۴۱). ص-ص ۵۲–۵۹.

- [19] T.-H. Yeh and L. Wang, "A study on generator capacity for wind turbines under various tower heights and rated wind speeds using Weibull distribution," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 23, no. 2, pp. 592-602, January 2008.
- [20] S. Wen, H. Lan, Q. Fu, C. Y. David and L. Zhang, "Economic allocation for energy storage system considering wind power distribution," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 30, no. 2, pp. 644-652, March 2015.
- [21] V. S. Tabar, M. A. Jirdehi and R. Hemmati, "Energy management in microgrid based on the multi objective stochastic programming incorporating portable renewable energy resource as demand response option," Energy, November 2016.
- [22] T. Amraee, A. Soroudi and A. Ranjbar, "Probabilistic determination of pilot points for zonal voltage control," IET generation transmission & distribution, vol. 6, no. 1, pp. 1-10, January 2012.
- [23] [Online]. Available: http://www.powerauthority.on.ca/powerplanning
- [24] A. Soroudi, P. Siano and A. Keane, "Optimal DR and ESS scheduling for distribution losses payments minimization under electricity price uncertainty," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no. 1, pp. 261-272, January 2016.
- [25] M. Kashem, V. Ganapathy, G. Jasmon and M. Buhari, "A novel method for loss minimization in distribution networks," in Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2000. Proceedings. DRPT 2000. International Conference on, 2000, pp. 251-256.

- P. S. Georgilakis and N. D. Hatziargyriou, "Optimal distributed generation placement in power distribution networks: models, methods, and future research," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 3, pp. 3420-3428, August 2013.
- [2] R. Al Abri, E. F. El-Saadany and Y. M. Atwa, "Optimal placement and sizing method to improve the voltage stability margin in a distribution system using distributed generation," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 1, pp. 326-334, February 2013.
- [3] X. Zhang, G. G. Karady and S. T. Ariaratnam, "Optimal allocation of CHP-based distributed generation on urban energy distribution networks," Sustainable Energy, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 5, no. 1, pp. 246-253, January 2014.
- [4] Y. M. Atwa and E. F. El-Saadany, "Probabilistic approach for optimal allocation of wind-based distributed generation in distribution systems," IET Renewable Power Generation, vol. 5, no. 1, pp. 79-88, January 2011.
- [5] F. S. Abu-Mouti and M. El-Hawary, "Optimal distributed generation allocation and sizing in distribution systems via artificial bee colony algorithm," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, pp. 2090-2101, 2011.
- [6] M. Othman, W. El-Khattam, Y. G. Hegazy and A. Y. Abdelaziz, "Optimal placement and sizing of distributed generators in unbalanced distribution systems using supervised Big Bang-Big Crunch method," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 30, no. 2, pp. 911-919, March 2015.
- [7] M. Esmaili, "Placement of minimum distributed generation units observing power losses and voltage stability with network constraints," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 7, no. 8, pp. 813-821, August 2013.
- [8] P. Juanuwattanakul and M. A. Masoum, "Increasing distributed generation penetration in multiphase distribution networks considering grid losses, maximum loading factor and bus voltage limits," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 6, no. 12, pp. 1262-1271, December 2012.
- [9] C. Wang and M. H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19, no. 4, pp. 2068-2076, November 2004.
- [10] Y. Atwa, E. El-Saadany, M. Salama and R. Seethapathy, "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 25, no. 1, pp. 360-370, February 2010.
- [11] A. Soroudi, B. Mohammadi-Ivatloo and A. Rabiee, "Energy hub management with intermittent wind power," in Large Scale Renewable Power Generation, ed: Springer, pp. 413-438, January 2014.
- [12] P. Chen, P. Siano, Z. Chen and B. Bak-Jensen, "Optimal allocation of power-electronic interfaced wind turbines using a genetic algorithm–Monte Carlo hybrid optimization method," in Wind Power Systems, ed: Springer, pp. 1-23, January 2010.
- [13] V. A. Evangelopoulos and P. S. Georgilakis, "Optimal distributed generation placement under uncertainties based on point estimate method embedded genetic algorithm," IET Generation

زيرنويسها

- ' Energy management system
- ¹ Optimal Share of Renewable Energy Sources
- "Distribution Network Operator (DNO)
- ¹¹ Probability Density Function
- " Weibull distribution
- " Shape parameter
- ^{\o} Scale parameter
- " Indice

- ' Distributed generation
- ^{*} Renewable Energy Sources
- ^r Combined heat and power (CHP)
- * Mixed integer non-linear programming (MINLP)
- ° Artificial bee colony algorithm (ABC)
- ' Monte Carlo
- ^v Point Estimate
- ^ Scenario based modeling
- Tabriz Journal of Electrical Engineering, vol. 48, no. 2, summer 2018