ارائه روشی جدید به منظور جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده ترکیبی بادی و خورشیدی در شبکه مشکین شهر توسط الگوریتم (GSA)

فرشيد مستوفى

چکیده:	تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۶/۲۴
ترکیب بهینه واحدهای تولید پراکنده در سال های اخیر با هدف بهبود قابلیت اطمینان سیستمهای تولید پراکنده و نیز کاهش تلفات در سیستم های توزیع طراحی شده است. در این مقاله، یک الگوریتم بهینه ساز قدرتمند در بهینه سازی مقادیر متغیر مسأله با نام الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) معرفی می شود. تابع هدف	تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۱۰/۱۰
مورد مطالعه در این مقاله شامل تلفات توان واقعی، قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی، پروفیل ولتاژ شبکه، اندازه بهینه واحد تولید پراکنده و در نهایت بهبود هزینه احداث نیروگاه ترکیبی بادی و خورشیدی است. بنابراین، متغیرهای مسأله دارای قید تأمین مطمئن بار و کمترین هزینه ممکن در طی فرایند بهینهسازی است. به منظور دستیابی به این هدف در این مطالعه، شبکه ۲۰ باسه شهرستان مشکینشهر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیهسازی سیستم نشان دهنده کاهش تلفات کل سیستم بعد از نصب DG نسبت به حالت بدون DG و بهبود سایر مقادیر متغبر در این شکه بوده است.	کلمات کلیدی: جایابی بھینے، قابلیےت اطمینان، کاهش تلفات، سیستم ترکیبی، الگوریتم GSA

۱)دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اردبیل، ایران f.mostofi@srbiau.ac.ir

١

منابع تولیدات پراکنده برای تولید انرژی الکتریکی به طور پراکنده و در نزدیکی محل مصرف در سیستم های الکتریکی به کار گرفته میشوند. رویکرد کنونی شرکتهای توزیع نیز به سوی گسترش این طرح به طور گسترده در کشور است. اما بعضاً تولیدات پراکنده به فناوریهایی که از منابع تجدیدپذیر برای تولید برق استفاده میکنند، اطلاق میشود. واحدهای تولید پراکنده توسط مشتری یا تولید کنندگان برق احداث و مستقیماً به شبکه توزیع متصل میشوند. همه منابع تولیدی نصب شده در مکانهای خصوصی مانند خانهها و ادارات نیز جزو این منابع محسوب میشوند.

منابع تولیدات پراکنده در آینده نقش بسیار مهمی در تأمین تقاضای مشترکین در سیستم قدرت خواهند داشت. از ایس رو، جایابی بهینه این منابع از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. تعیین مناسب تعداد، مکان، انـدازه و نـوع منـابع تولیـدات پراکنده در سیستم قدرت، سبب کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ خطوط انتقال در شبکه توزیع میشود. این منابع تولید انرژی دارای مزایای زیادی میباشند که از جمله آن میتوان بـه افـزایش قابلیـت اطمینـان در تولیـد انـرژی، تـأمین نیـاز مشترکین با کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی رو به اتمام و نیز کاهش اثرات زیست محیطی و اُلـودگی اشـاره کـرد. یافتن منابع جدید انرژی از مهمترین دغدغههای بشر در قرن حاضر بوده است و با افزایش توجه در سالهای اخیر به منابع انرژیهای تجدیدپذیر، انرژیهای بادی و خورشیدی، مسائل مربوط به أن نیز اخیراً مورد توجه قـرار گرفتـه اسـت. طبـق پیشبینیها، استفاده از انرژی بادی و خورشیدی، بیشترین پیشرفت را در بین منابع دیگر انرژی داشته ولی با این حال، غیر قابل پیشبینی بودن پارامترهای وزش باد و تابش خورشید، بزرگترین ضعف آن به عنوان یـک منبـع انـرژی اسـت. تـوان تولیدی هر سیستم تبدیل انرژی خورشیدی، به شدت تابش خورشید بستگی دارد، لذا هرگونه تلاشی برای پیش بینی تـوان توليدي به وسيله أنها، نيازمند أگاهي از اين پارامتر است. بنابر اين، توانايي پيش بيني شدت تابش خورشـيد در طـول سـال الزامی است. از جمله سایر مزایای تخمین پارامترهای خورشید، توانایی کنترل و تنظیم پنل های خورشیدی برای استحصال حداکثر توان ممکن از شدت تابش خورشید است. به منظور رفع این مشکلات، در این مقاله انرژی حاصل از تـوربین هـای بادي با سيستم خورشيدي تركيب شده كه علاوه بر افزايش قابليت اطمينان DG، هزينه احـداث واحـد DG نيـز بـه دليـل ترکیب این دو واحد دارای مقدار کمتری نسبت به حالت فقط خورشیدی یا فقط بادی است. انـرژی حاصـل از خورشـید در اوقات روز قابل دسترس است و انرژی بادی نیز جز در مواقع وزش حداقل سرعت باد به منظور چرخش پرههای توربین امکان پذیر نیست. لذا سیستم پیشنهادی با هدف استحصال حداکثر توان ممکن از انرژیهای تجدیدپذیر تحت شاریط جوى مختلف طراحي شده است.

تاکنون مطالعات متعددی در زمینه مکان یابی انواع واحدهای تولیدات پراکنده در شبکههای توزیع انجام شده است که در آنها کاهش هزینههای مرتبط با تلفات، قابلیت اطمینان و هزینه احداث واحدهای تولیدی به عنوان هـدف طراحـی، مـورد نظـر بوده است [۱۶و۴و۴۵]. در [۸] ، مسأله جایابی واحدهای تولید پراکنده در فیدرهای شبکه توزیع با هدف کاهش تلفـات توسـط

مقدمه

الگوریتم META-PSO حل شده است. در [۱۰] ، ضمن بررسی تأثیر واحدهای DG روی تلفات اهمی و ظرفیت سیستم توزیع، الگوریتمی برای یافتن پاسخ تقریبی مکان واحدهای DG روی خطوط به منظور کاهش تلفات سیستم پیشنهاد شده است. مسأله جایابی واحدهای DG روی فیدرها در قالب بهینه سازی چند منظوره در [۱۳] مدلسازی و حل شده است. روش تحلیلی نیز جهت مکان یابی واحدهای DG با هدف کاهش تلفات در [۱۸] ارائه شده است. مکان یابی منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن خطای تجهیزات و عدم قطعیت در تولید توسط شبیه سازی مونت کارلو در [۹] انجام گرفته است.

در این مقاله، دادههای مربوط به شدت تابش خورشیدی و شدت وزش باد بر اساس توان قابل استحصال از پنلهای فتوولتائیک و توربینهای بادی در مسأله بهینهسازی اعمال شده است و سپس با توجه به شاخصهای احتمالی، نتایج حاصله توسط الگوریتم GSA و پخش بار رفت و برگشتی در شبکه توزیع مورد مطالعه، انجام و مکان و تعداد پنلهای فتوولتائیک و توربینهای بادی، با درنظر گرفتن اهداف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ و قابلیت اطمینان سیستم و اندازه و ظرفیت واحد تولید پراکنده و نهایتاً کاهش هزینه نصب و بهرهبرداری از سیستم ترکیبی تولید پراکنده بادی و خورشیدی در شبکه مورد مطالعه، انجام شده است. قیود در نظر گرفته شده در این مسأله، ولتاژ و جریان باسها و محدوده تولید منابع تولید پراکنده در هر باس می باشد.

تعريف مسأله

در این قسمت، فرمول بندی ریاضی جهت تعیین مکان و ظرفیت منابع تولید پراکنده ترکیبی بادی و خورشیدی، در مکانهای کاندید در شبکه توزیع ارائه شده است. هدف اصلی در این مقاله، تعیین محل و ظرفیت بهینـه واحـدهای تولیـد پراکنده با در نظر گرفتن پنج هدف کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان سیستم، اندازه بهینه واحد DG و هزینه احداث نیروگاه ترکیبی بادی و خورشیدی میباشد [۱۲]. هر یک از این اهداف تکی با استفاده از ضرایب وزنـی بـه یک تابع هدف منفرد تبدیل شده اند. این ضرایب با استفاده از روش AHP تعیین و در تابع هدف مسأله اعمـال شـده انـد. مدل AHP اولین بار توسط(Thomas L.saaty) در دهه ۱۹۷۰ به کار گرفته شد. AHP یک روش ساده محاسباتی بر پایه عملیات اصلی روی ماتریس میباشد که با ایجاد سلسله مراتب مناسب و پردازش گام به گام و ساخت ماتریسهای تطبیقی در سطوح مختلف، مقادیر ویژه آن را محاسبه کرده و در بردار ضرایب وزنی نهایی، اهمیت نسبی هر گزینه با توجه به هدف مرأس سلسله مراتب تعیین میشود. مرحله اول محاسبه ضرایب وزنی، ارزش دهی به معیارهـای مسأله ابـر حسب اولویـت

$$A = \begin{bmatrix} W_1 / W_1 & \dots & W_1 / W_5 \\ \dots & \dots & \dots \\ W_5 / W_1 & \dots & W_n / W_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ \dots \\ W_5 \end{bmatrix}$$
(1)

در مرحله دوم، ضریب سازگاری توسط رابطه زیر محاسبه می شود.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{(7)}$$

در رابطه فوق، RI شاخص تصادفی بوده و CI توسط رابطه زیر به دست می آید:

$$CI = \frac{L - N}{N - 1} \tag{7}$$

$$L = \frac{1}{N} \left(\sum_{i}^{N} = \left(\frac{WA_i}{W_i} \right) \right) \tag{f}$$

با توجه به روابط فوق، مقدار ضرایب وزنی در این مسأله بر حسب ارجحیت محاسبه و به ترتیب اهمیت برابر با ۲۱۸۶ سیت ارمده است. به طور کلی، تابع هدف سی⁻۰/۳۸۷ و ۲۰/۰۴۳ w_۵=۰/۳۸۷۷ به دست آمده است. به طور کلی، تابع هدف مسأله به صورت زیر تعریف می شود.

$$\min F = \sum_{m=1}^{5} w_m \cdot F_m \tag{(d)}$$

تلفات توان

تلفات توان همواره یکی از اهداف مهم در مطالعات مربوط به تولیدات پراکنده می باشد و در اینجا نیز به عنوان مهمترین هدف تکی در نظر گرفته شده و به صورت زیر بیان میشود:

$$P_{i} = \sum_{K=1}^{BR} P_{LK} + \sum_{K=1}^{BR} P_{loss,k}$$
(\$)

$$Q_{i} = \sum_{K=1}^{BR} Q_{LK} + \sum_{K=1}^{BR} Q_{loss,K}$$
(Y)

که در آن، BR مجموع تمام گره هایی است که بعد از شاخه i قرار دارند. P_{LK} و Q_{LK} توان اکتیو و راکتیو بار در گره k مجموع تمام گره هایی است که بعد از شاخه i قرار دارند. P_{ik} و P_{ik} مجموع تمام گره هایی است که بعد از شاخه k مام $P_{ioss,K}$ و $P_{ioss,K}$ و P_{i} تلفات توان اکتیو و راکتیو در شاخه k ام میباشند که توسط روابط زیر محاسبه می شوند:

$$P_{loss,K} = \frac{P_{K}^{2} + Q_{K}^{2}}{V_{K}^{2}}(r_{K})$$
(A)

$$Q_{loss,K} = \frac{P_{K}^{2} + Q_{K}^{2}}{V_{K}^{2}}(X_{K})$$
(9)

در روابط فوق، r و X به ترتیب مقاومت و راکتانس شاخه k ام می باشند. بنابراین، تابع مربوط به تلفات سیستم بـه صورت زیر تعریف می شود.

$$\mathbf{F}_{1} = (\mathbf{w}_{1}).\mathbf{S}_{ik} \tag{(1.1)}$$

قابليت اطمينان سيستم

برای نشان دادن نمایی ملموس تر از وضعیت کل شبکه، از شاخصهای قابلیت اطمینان مرتبط با سیستم که رفت ار کل فیـدر را نشان می دهد، استفاده شده است. تعدادی از این شاخصها که در این مقاله مورد استفاده قرار می گیرند، عبارتند از:

شاخص متوسط دفعات خاموشی سیستم (SAIFI):

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{\sum N}$$
(11)

در این رابطه، $\lambda_{
m i}$ نرخ وقوع خطا در شین i ام و N تعداد روزهای سال در این مقاله در نظر گرفته شده است.

شاخص متوسط مدت زمان خاموشی (SAIDI):

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_i \cdot N_i}{\sum_{i=1}^{n} N_i}$$
(17)

در رابطه بالا، U_i متوسط زمان خاموشی سالیانه برحسب (h/yr) میباشد.

شاخص متوسط انرژی تامین نشده (AENS):

$$AENS = \frac{ENS}{\sum N_i}$$
(17)

که در آن، ENS میزان انرژی تامین نشده سیستم برحسب (*KWh/yr*) میباشد. ضریب وزنی (W_2) که مربوط به قابلیت اطمینان سیستم میباشد، به سه زیر معیار (W_{2_1}) ، (W_{2_3}) و (W_{2_3}) برای محاسبه شاخصه ای قابلیت اطمینان شبکه تقسیم می شود. بنابراین، شاخص مربوط به قابلیت اطمینان سیستم توسط رابطه زیر مدل سازی می شود:

$$F_{2} = (w_{2}).(\text{Re liability Indices})$$

$$F_{2_{1}} = (w_{2_{1}}).(\frac{SAIFI_{i}}{SAIFI_{base}}), F_{2_{2}} = (w_{2_{2}}).(\frac{SAIDI_{i}}{SAIDI_{base}}), F_{2_{3}} = (w_{2_{3}}).(\frac{AENS_{i}}{AENS_{base}})$$
(14)

در رابطه بالا، SAIFI، میزان دفعات خاموشی پس از نصب DG و SAIFI_{base} میزان دفعات خاموشی برای شبکه اولیه بدون نصب DG است. سایر شاخصهای رابطه بالا نیز به همین صورت می باشند [۱۷]. این شاخص ها یکبار قبل از نصب DG و با انجام پخش بار در شبکه مورد مطالعه محاسبه و بار دیگر و پس از نصب DG در باس مورد نظر، توسط نتایج حاصله از پخش بار برگشتی محاسبه و نتایج بدست آمده در جدول (۲) نشان داده شده است.

اندازه DG

اندازه و ظرفیت بهینه واحد تولید پراکنده ترکیبی توسط شاخص زیر قابل محاسبه است:

$$F_{3} = (w_{3}) \cdot \frac{P_{DG_{i, j}}}{\sum_{j=1}^{N_{p}} P_{load_{j}}}$$
(1)

که در آن، $P_{DG_{i,j}}$ توان منصوبه در باس j برای i امین شاخه، $P_{load_{j,j}}$ توان اکتیو نقطه بار jام و N_P تعداد کل نقاط بار است [۷].

پروفيل ولتاژ شبكه

تابع ،F ، شاخص پروفیل ولتاژ بوده و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$F_4 = (w_4) \sum_{i=1}^{n} (1 - |V_i|)^2$$
(18)

در این رابطه،
$$V_i$$
 ولتاژ باس i ام است [۱۴].

هزينه بهره بردارى سيستم تركيبى

تابع F_{a} ، شاخص در نظر گرفته شده برای هزینه کل سیستم ترکیبی بادی و خورشیدی است و توسط رابطه زیر محاسبه می شود:

$$F_5 = (w_5).(\frac{C_{DG}}{C_{DG_T}}) \tag{1Y}$$

$$C_{DG} = \sum_{S} NPC(S) = N \times (CapitalCost + (\text{Re} placementCost \times k)) + (O \& M Cost \times \frac{1}{CRF(ir,\pi)})$$
(1A)

که در آن، بردار S جرابر C_{DG_T} ، $S = \{Photovoltaic, Wind Turbine, Inverter\}$ هزینه پایه بوده و برابر

بوده و
$$CRF$$
 فريب بازگشت سرمايه و توسط رابطه زير قابل محاسبه است: $C_{DG_T} = 10^6 (\$)$

$$CRF(ir, R) = \frac{ir(1+ir)^{R}}{(1+ir)^{R}-1}$$
(19)

که ir نرخ تنزیل و R طول عمر پروژه است[۱۲].

قيود مسأله

قیود مربوط در مسأله به صورت زیر در شبیه سازی سیستم اعمال شدهاند:

• قيد توازن توان

$$P_{Slack} + \sum_{i=1}^{N} P_{DG_i} = \sum P_{D_i} + P_L \tag{(7.)}$$

قیود مربوط به توانهای اکتیو و راکتیو

$$\begin{aligned} Q_{DGi}^{\min} &\leq Q_{DGi} \leq Q_{DGi}^{\max} \\ P_{DGi}^{\min} &\leq P_{DGi} \leq P_{DGi}^{\max} \end{aligned} \tag{(Y)}$$

 $\sum Loss_{k}(with DG) \leq \sum Loss_{k}(with out DG)$

قيد تلفات

(۳۳)

- (77)
- قيود مربوط به قابليت اطمينان سيستم
- $\sum_{k} SAIDI_{k}(withDG) \leq \sum_{k} SAIDI_{k}(withoutDG)$ $\sum_{k} SAIFI_{k}(withDG) \leq \sum_{k} SAIFI_{k}(withoutDG)$ $\sum_{k} AENS_{k}(withDG) \leq \sum_{k} AENS_{k}(withoutDG)$
 - قید محدودیت تعداد پنلهای فتوولتائیک (PV) و توربینهای بادی(WT)
- $$\begin{split} N_{PV}^{\min} &\leq N_{PV} \leq N_{PV}^{\max} \\ N_{WT}^{\min} &\leq N_{WT} \leq N_{WT}^{\max} \end{split} \tag{14}$$
 - قيد ولتاژ و جريان باس

$$\begin{aligned} \left|V_{i}\right|^{\min} &\leq \left|V_{i}\right| \leq \left|V_{i}\right|^{\max} \\ \left|I_{i}\right| &\leq \left|I_{i}\right|^{\max} \end{aligned} \tag{Ya}$$

مدل سازی نیروگاه ترکیبی بادی و خورشیدی

رفتار غیر متناوب شدت تابش خورشیدی سبب شده است نیروگاه های خورشیدی دارای مشخصهای پیوسته و کنترل پذیر نباشند. نیروگاه های بادی نیز به علت منقطع بودن شدت وزش باد دارای مشخصهای یکنواخت نمی باشـند. در ایـن مقاله، به منظور دستیابی به انرژی یکنواخت توسط منابع تجدیـد پـذیر از ترکیـب واحـدهای بـادی و خورشـیدی اسـتفاده می شود. از دیدگاه سیستم قدرت، نیروگاه خورشیدی که شامل چندین پنل فتوولتائیک با ظرفیتهای متنوع باشد، یکی از منابع عدم قطعیت در سیستم است [۲]. در مطالعات سیستم در حضور نیروگاههای بادی و خورشـیدی ابتدا می.باید خروجی آنها مشخص شود. توان خروجی نیروگاه ترکیبی بادی و خورشیدی به شدت تابش خورشـید و شـدت وزش بـاد در منطقه نصب وابسته است. بنابراین، ابتدا باید شدت تابش خورشید و وزش باد در منطقه مورد مطالعه محاسبه و مـدل پنـل خورشیدی و بادی مشخص شود [۱۲]. مطالعات این مقاله بر اساس دادههای شدت تابش خورشیدی و وزش باد در منطقه نصب وابسته است. بنابراین، ابتدا باید شدت تابش خورشید و وزش باد در منطقه مورد مطالعه محاسبه و مـدل پنـل مورشیدی و بادی مشخص شود [۱۲]. مطالعات این مقاله بر اساس دادههای شدت تابش خورشیدی و وزش باد به صـورت میانگین روزانه از سازمان انرژیهای نو ایران (سانا) برای منطقه مشکینشهر واقع در شمالغرب ایران اخذ و در شبیهسـازی سیستم اعمال شده است. نمودارهای مربوط به شدت تابش خورشیدی و شدت وزش باد در منطقه مورد مطالعه محاسبه و مـدل پنـل



سيستم فتوولتائيك

توان خروجی پنلهای فتوولتائیک را با استفاده از روابط (۲۶) الی (۲۸) می توان محاسبه کرد که این مدل شامل تأثیرات تابشی خورشید و دمای پنل بر روی توان خروجی آن است [۵]. این روابط در نقطه بیشینه توان خروجی به صورت زیر است:

$$P_{PV} = V_{MPP} I_{MPP} \tag{75}$$

$$V_{MPP} = V_{MPP,ref} + P_{v,oc}(T_C - T_{C,ref})$$
(YV)

$$I_{MPP} = I_{MPP,ref} + I_{SC,ref} \left(\frac{G_T}{G_{ref}}\right) + \dots + P_{I,SC} \left(T_C - T_{C,ref}\right)$$
(YA)

که P_{PV} توان پنل، V_{mpp} ولتاژ پتانسیل، $V_{mpp,ref}$ همان V_{mpp} در شرایط عملکرد استاندارد (V) ، I_{mpp} جریان پنل و P_{SC,ref جریان اتصال کوتاه در شرایط عملکرد استاندارد است، G_T میانگین روزانه تابش خورشید (m/m') و G_{ref} معادل (m/m') و $I_{SC,ref}$ معادل (m/m') معادل کوتاه در شرایط استاندارد در نظر گرفته شده است. $P_{V,oc}$ و $P_{V,oc}$ به ترتیب ضرایب دمایی برای ولتاژ مدار باز (m/m') و $P_{V,oc}$ معادل (m/m') معادل (m/m') و $P_{V,oc}$ معادل (m/m') معادل (m/m') معادار در نظر گرفته شده است. $T_{C,ref}$ و $P_{V,oc}$ به ترتیب ضرایب دمایی برای ولتاژ مدار باز (N/n') و $P_{V,oc}$ معادل (m/m') معادل (m/m') معادل (m/m') معادل (m/m') معادل (m/m') معادل (m/m') معادل مدار باز N_{V} و $P_{V,oc}$ به ترتیب ضرایب دمایی برای و ولتاژ مدار در از N_{V} و $N_$

$$T_C(t) = T_a(t) + \frac{NOCT - 20}{800} \cdot G_T$$
(Y9)

در اینجا، $T_a(t)$ دمای محیط (NOCT (r) (دمای سلول در عملکرد نرمال) که برای عملکرد پنا تحت تابش $T_a(t)$ در اینجا، $T_a(t)$ دمای $T_a(t)$ محیط (w/m^r) ۵۰۰ (w/m^r)

پنلهای فتوولتائیک که به صورت ردیفهای سری به هم وصل شده باشند، تعدادشان را با N_{PN,S} نشان داده و با استفاده از ولتاژ باس بار DC و ولتاژ نامی پنل تعریف می شود و توسط رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$N_{PN,S} = \frac{V_{Bus}}{N_{pv,nom}} \tag{(*)}$$

که $N_{pv,nom}$ ولتاژ نامی پنل فتوولتائیک است. باید توجه داشت که $N_{PN,S}$ هـدف مـورد بهینـهسازی نبـوده و تعـداد پنلهای اتصال یافته به صورت موازی هدف مورد بهینهسازی است.

توربين بادى

سرعت باد در ارتفاع مرجع h_r به صورت میانگین روزانه برای تعیین سرعت باد برخورد کرده با توربین باد در مدل ارائه شده در زیر به کار میرود. مدل توربین باد به صورت زیر بیان میشود:

$$V(t) = V_r(t) \cdot \left(\frac{h}{h_r}\right)^{\gamma}$$
(٣)

که V سرعت باد در ارتفاع h است، V_r سرعت باد که درارتفاع h ثبت گردیده و γ نمای قانونی توان نام دارد که مقدار آن بین ۱/۱۴ تا ۱/۲۵ است [۵].

این فرمول از محاسبه سرعت باد برای محاسبه توان خروجی توربین و $P_{WT}(t)$ به کار میرود که به صورت زیر است :

$$P_{WT}(t) = \begin{cases} av^{\tau}(t) - bP_{R} & V_{C_{i}} < V < V_{r} \\ P_{R} & V_{r} < V < V_{CO} \\ \cdot & other \ wise \end{cases}$$
(YY)

در رابطه فوق،
$$V_{co}$$
 , V_r , V_{Ci} توان مجاز P_r ، $b = \frac{V_{Ci}^{\pi}}{\left(V_r^{\pi} - V_{Ci}^{\pi}\right)}$, $a = \frac{P_r}{\left(V_r^{\pi} - V_{Ci}^{\pi}\right)}$ به ترتيب سرعت قطع پايين، سرعت نامى و سرعت قطع بالاى توربين بادى است.

مبدل DC/AC

$$P_{inv-load} = (P_{\text{Re}n-inv}) \times \eta_{inv} \tag{(YY)}$$

که η_{inv} بازده مبدل میباشد.

هزینههای مربوط به سرمایه گذاری، تعمیر و نگهداری، جایگزینی قطعات و هزینههای عملیـاتی سیسـتم، همگـی بـه صورت مقادیر واقعی در جدول (۱) نشان داده میشوند.

تجهيزات	هزینه سرمایه گذاری (unit))	هزینه جایگزینی (unit)()	هزینه سالیانه (تعمیر و نگهداری) (yunit-yr)	طول عمر (yr)	توان نامی (KW)	قابلیت دسترسی (٪)	بازده (٪)
پنل های PV	٨٠٠٠٠	۷۵۰۰۰	۵۰۰	۲.	١٠	१۶	
توربین های بادی WG	۶۵۰۰۰۰	54	۲۰۰	۲.	۶۶ <i>۰</i>	٩۶	
اینورتر DC/AC	19	۱۲۰۰	۳۵۰	۱۵	۱۵	૧ ૧/ ૧	٩٠

جدول ۱) مشخصات فنی تجهیزات [۵۹۲]

کمینهسازی تابع هدف با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)

الگوریتم جستجوی گرانشی، با الهام از قانون جاذبه و نیروی گرانش در طبیعت معرفی و پارامترهای آن به صورت شهودی تنظیم شدهاند. کارآمدی این الگوریتم در بهینه سازی توابع محک استاندارد، برای مسائل تک هدفه به اثبات رسیده است[۱۵]. برای توضیح بیشتر این الگوریتم، سیستمی را به صورت مجموعهای از m جرم در یک فضای n بعدی تصور کنید. موقعیت بعد b از جرم *i*، با ^d ، نشان داده می شود.

$$X_{i} = (X_{i}^{1}, ..., X_{i}^{d}, ..., X_{i}^{n})$$
(**Tf**)

موقعیت جرم، نقطهای در فضاست که جوابی از مسأله است. در ابتدای تشکیل سیستم، هر جرم به صورت تصادفی در یک نقطه از فضای جستجو قرار میگیرد. جرم هر عامل با توجه به تابع هدف تعیین میشود:

$$q_{i} = \frac{fit_{i}(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)}$$
(Y\Delta)

$$M_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^m q_i} a \tag{(3.7)}$$

که در این رابطه، *(t) fit_i (t)* میزان برازندگی جرم *i و (worst(t) و best(t) و best(t)* به ترتیب نشان دهنده بدترین و بهترین مقدار برازندگی در کل جمعیت، در زمان *t* هستند.

سرعت هر جرم برابر مجموع ضریبی از سرعت فعلی جرم و شتاب جرم است که طبـق رابطـه (۳۷) تعریـف مـیشـود. مکان جدید هر جرم از مجموع مکان فعلی جرم و سرعت جرم به دست میآید (رابطه ۳۸).

$$V_i^d(t+1) = rand_i \times V_i^d(t) + a_i^d(t)$$
(YY)

$$X_{i}^{d}(t+1) = X_{i}^{d}(t) + V_{i}^{d}(t+1)$$
(YA)

در این روابط، *i rand و rand ، اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۹۱] هستند ک*ه برای حفظ خاصیت تصادفی بودن جستجو استفاده شدهاند.

پس از تشکیل سیستم در هر تکرار، اجرام ارزیابی و سپس تغییر مکان هر جرم پس از محاسبه روابط (۳۴)و (۳۸) محاسبه می شود.

نتايج شبيه سازى

به منظور نشان دادن صحت و دقت الگوریتم GSA، شبکه ۲۰ شینه شعاعی شهرستان مشکین شهر مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته و در شکل (۳) نشان داده شده است. نمودار جریانی الگوریتم GSA به منظور حل مسأله بهینهسازی نیز در شکل (۴) ارائه شده است. با در نظر گرفتن میزان تلفات شبکه قبل از نصب DG و نیز افت ولتاژ ناشی از آن در سیستم قدرت، ظرفیت DG انتخابی برای شبکه فوق برابر(MW) ۳/۴۳ به دست آمده است.

با توجه به اینکه قیمت خرید برق توسط واحد های تجدید پذیر به شبکه در ایران برابر ۲۰۴۵ دلار بازای هر کیلووات می باشد، نرخ بازگشت سرمایه با توجه به رابطه (۱۹) محاسبه و برابر مقدار ۷/۶ سال در طول دوره بهره برداری از سیستم

حاصل شده است.



شکل۳) دیاگرام تک خطی شبکه مشکین شهر



شکل ٤) نمودار جریانی الگوریتم GSA برای حل مسأله جایابی بهینه



روند همگرایی الگوریتم پیشنهادی به منظور حل مسأله با اهداف مختلف و در قالب یک مسأله تک هدفه در نمودار شکل ۵ نشان داده شده است.

مقادیر بدست آمده برای تلفات سیستم، قبل و بعد نصب DG و نیز میزان بهبود پروفیل ولتاژ شبکه بعد از نصـب DG، به ترتیب در نمودار شکلهای ۶ ، ۷ و ۸ قابل مشاهده است.



شکل۸) نمودار پروفیل ولتاژ شبکه قبل و بعد از نصبDG

نتایج حاصل از شبیه سازی سیستم نیز به صورت عددی در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول (۲)، پروفیل

ولتاژ کل شبکه به میزان (.p.u) ۰/۲۰۷۸ بعد از نصب DG بهبود یافته است. کاهش مطلوب مقادیر مربوط به قابلیت اطمینان سیستم با توجه به مقادیر بدست آمده برای شاخصهای SAIDI و SAIFI و AENS و AENS در این جدول قابل مشاهده است. میزان ظرفیت مورد نیاز شبکه به منظور طراحی و نصب DG برابر مقدار (MW) ۳/۴۳ به دست آمده است که برای تأمین این مقدار انرژی، ۲۴ عدد پنل فتوولتائیک، ۵ عدد توربین بادی و ۱۱ عدد اینورتر با هزینه کل (MS) ۱/۵۵۲ بازای هر MM توان DG مورد نیاز است.

هزينه احداث نيروگاه تركيبى (DG) (MS/MW)	تعداد اينورتر	تعداد توربينهاى بادى	تعداد ينلهاى فتوولتائيك	AENS (KWh/yr)	SAIFI (h/yr.cent)	SAIDI (h/yr.cent)	کمترین ولتاژ (.u.q)	تلفات توان (KW)	مجموع ظرفيت DG (MW)	مكان DG (باس)	پارامترها بهینه سازی
-	-	-	-	۳۲۸/۷۹	۶/4۵	۱۹/۸	•/٧٣۴۶	177/84	-	-	قبل از نصب DG
١/۵۵٢	11	۵	74	175/47	۱/۰۴	4/38	•/9474	۲۲/۴۸	۳/۴۳	٨	بعد از نصب DG

جدول۲) نتایج شبیه سازی حاصل از الگوریتم GSA

با توجه به نتایج حاصله، میزان کل تلفات بعد از نصب DG به میزان (KW) ۷۲/۴۸ کاهش یافته است. هزینه احداث واحد نیروگاهی DG نیز در این حالت دارای مقدار بسیار پایینی در مقایسه با مطالعات پیشین بوده است که این به دلیل انتخاب ترکیبی بهینه از واحدهای بادی و خورشیدی به منظور تأمین مطمئن بار مورد نظر در شبکه مورد مطالعه بوده است.

نتيجەگىرى

در این مقاله، جایابی و تعیین ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده برای شبکه مشکین شهر توسط الگوریتم GSA انجام گرفته است. صحت و دقت بالای الگوریتم پیشنهادی به دلیل عدم نیاز به پارامترهای کنترلی زیاد، از دلایل انتخاب این الگوریتم بوده است. مدل سازی تابع هدف مسأله شامل تلفات توان، پروفیل ولتاژ، قابلیت اطمینان، اندازه DG و هزینه احداث واحد تولید پراکنده ترکیبی بادی و خورشیدی در این مطالعه بوده است. نتایج حاصل از بهینه سازی، نشانگر ۶۱/۲۳ درصد کاهش تلفات کل سیستم بعد از نصب DG و بهبود شاخصهای قابلیت اطمینان سیستم بخصوص شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی سیستم (SAIFI) از (h/yr.cent) ۴/۴۵ به (h/yr.cent) بعد از نصب DG بوده است. کاهش هزینه احداث واحد مولی میستم (SAIFI) از (h/yr.cent) می تابلیت اطمینان سیستم بخصوص شاخص متوسط تعداد دفعات خاموشی سیستم (SAIFI) از (b زاد (h/yr.cent) به را زیری ای توان، از مزایای انتخاب حالت ترکیبی بادی و خورشیدی در شبکه مورد مطالعه بوده است. نرخ بازگشت سرمایه نیز برای سیستم ترکیبی پیشنهادی در این مقاله محاسبه و دارای میزان ۶/۶ سال در طول دوره بهره برداری از سیستم به دست آمده است.

پيوست :

۲۰	۱۹	١٨	١٧	١٦	١٥	١٤	١٣	١٢	11	۱.	٩	^	٧	۲	٥	٤	٣	۲	١	شمارہ باس
١	•	٠	٨	٤	٠	٣	11	١	٢	٠	٣	٤	١	٢	٦	•	١	٠	٠	مشترکین هر باس
٥	•	•	٤٢	۲۱	٠	١٤	٥٦	٥	11	٠	١٥	۲۱	0	11	۳۱	·	٥	٠	٠	P(KW)
۲	•	•	77	11	٠	٨	۳۱	۲	٥	•	٨	۱.	۲	٥	١٦	•	۲	٠	•	Q(KVAR)

جدول ۱ - پیوست: مشخصات شین های شبکه مورد مطالعه

مورد مطالعه	ط شىكە	بات خطه	: مشخص	۲_ بیوست	يدەل
-------------	--------	---------	--------	----------	------

١٩	١٨	١٧	١٦	١٥	١٤	١٣	١٢	١١	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	۲	١	شماره خط
١٨	۱۷	١٦	١٥	١٤	17	17	٨	۱.	٩	٨	v	٦	٣	٤	٣	۲	١	۲۰	باس مبدا
١٩	١٨	١٧	١٦	١٥	١٤	۱۳	11	11	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	۲	١	باس مقصد
٠/٦١٧	•/1•V	•/VV	۰/۳۲۸	1/•71	•/7•7	١/٩٨	٤/•٢٤	١/١٥٤	۳/۸۹۱	٥/٢٣٦	۰/۱۱۸	٠/•٤	۳۳/۱۱	12/29	7/717	17/77	۰/٦٥	•/٩٧	$\Box/(f/yr)$

مراجع

- [1] Acharya, N., and Mahat, P., and Mithulananthan, N., (יייז) "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network" *Int. J. Electrical Power & Energy Systems*, Vol. ۲۸, No. ۱۰, pp. 174-174.
- [Y] Atwa, Y.M., and El-Saadany, E.F., and Salama, M.M.A., and Seethapathy, R., (Y.Y.) "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization" *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. Yo, No. 1, pp. YY-YY.
- [٣] Celli, G., and Ghaiani, E., and Mocci, S., and Pilo, F., (۲۰۱۰) "A multiobjective evolutionary algorithm for the sizing and siting of distributed generation" *IEEETransactions on Power Systems*, Vol. ۲۰, No. ۲.
- [۴] Das, D., (۱۹۹٤). "Novel method for solving radial distribution networks" IEEE Proc. Gene, Vol. ۳۲, No. ٦, pp. ۱۳۲-۱٤٦.
- [o] Diaf, S. (Υ··Λ). "Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions", *Applied Energy*, Vol. 1, pp. 47Λ–4ΛΥ.
- [8] Eusuff, M.M., and Lansey, K., and Pasha, F., (۲۰۰٦) "Shuffled frog leaping algorithm: a

memetic meta heuristic for discrete optimization" *Engineering Optimization*, Vol. ۳۸, No. ۲, pp. ۱۲۹–۱٥٤.

- [Y] Gandomkar, M., and Vakilian, M., and Ehsan, M., (۲۰۰۰) "A combination of genetic algorithm and simulated annealing for optimal distributed DG allocation in distributed networks", Proc of IEEE Electrical and Computer Eng Canadian Conference, pp. ٦٤٥–٦٤٨.
- [Λ] Hamouda, A., and Zehar, Kh., (۲···) "Efficient Load Flow Method for Radial Distribution Feeders" Journal of Applied Sciences, Vol. ٦, No. ١٣, pp. ٢٧٤١-٢٧٤٨.
- [9] Haque, M.H., (1997) "Efficient load flow method for distribution systems with radial or mesh configuration" *IEEE Proc. Gene. Trans. Distribution*, Vol. 16, No. ", pp. ""-"".
- [1+] Keane, M., and Malley, O., (דייז) "Optimal distributed generation plant mix with novel loss adjustment factors", *IEEE Power Eng Society General Meeting*, pp. ۳٤٥-٣٦٢.
- [11] Singh, D., and Verma, K.S., (¹··⁹) "Multi objective optimization for DG planning with load models", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. ¹[¢], No. ¹, pp.[¢]¹V⁻[¢]¹.
- [17] Mostofi, F., and Javadi, M., and Ghezeli, G., and Shayeghi, H., and Javidan, J., (۲۰۱۲) "modelling and design of hybrid renewable energy sources for electrification iran rurals", *1v th Electric Power Distribution Conference (EPDC)*, Tehran, iran, may 17-17, pp. 172-177.
- [\\"] Phonrattanasak, P., (\., 4) "Optimal placement of DG using multi objective particle swarm optimization" *International Conf*, pp. 4VA-49Y.
- [14] Ranjan, R., and Venkatesh, B. and Das, D., (۲۰۰۳) "Voltage stability analysis of radial distribution networks" *Elect. Power Components Sys*, Vol. ۳1, pp. 0.1-011.
- [1°]Rashedi, E. and Nezamabadi, H. and Saryazdi, S., (^{*}··⁹) "A Gravitational Search Algorithm", Information Sciences, Vol. 119, No. 17, pp. YYTY-YYEA.
- [18] Silvestri, S.B. and Buonanno S., (1999) "Distributed generation planning using genetic algorithms" *IEEE PowerTech*, Budapest, Vol. 99, No. 79, pp. AT-97.
- [1V] Thong, V.V., and Driesen, J., and Belmans, R., (Y···V) "Transmission system operation concerns with high penetration level of distributed generation" *Proc. of Inter. Universities Power Engineering Conference*, Brighton, pp. ATV-AV1.

[1A] Wang, and Nehrir M.H., (1.1.) "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems" *IEEE conference*, may, pp. 11-11.