

## بهینه‌یابی چندگانه نیروگاه‌های بادی در ریزشبه‌ها به کمک الگوریتم NSGA-II

نوید جاویدتاش<sup>۱\*</sup>، جمشید آقایی<sup>۲</sup>، محسن گیتی‌زاده<sup>۳</sup>

\*۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، navid\_pwr@yahoo.com

۲- استادیار گروه برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، aghaei@iust.ac.ir

۳- استادیار گروه برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، gitizadeh@sutech.ac.ir

**چکیده:** بهینه‌سازی چندهدفه به صورت هم‌زمان همواره یکی از بحث‌های مهم در علوم مهندسی بوده است، به همین منظور تاکنون روش‌های زیادی معرفی و به کار گرفته شده است. در گذشته برای بهینه‌سازی از روش‌هایی استفاده می‌شد که ذاتاً تک هدفه بودند و توابع هدف می‌بایست به کمک ترفندهایی به الگوریتم تک‌هدفه تزریق می‌شدند که پاسخی چندهدفه داشته باشند. اما امروزه روش‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ذاتاً چندهدفه می‌باشند که الگوریتم ژنتیک با دسته‌بندی نامغلوب موسوم به NSGA-II از جمله قدرتمندترین این روش‌ها به شمار می‌رود. همچنین در این مقاله به معرفی ساختار و ویژگی‌های ریزشبه‌ها پرداخته شده است. ریزشبه‌ها، شبکه‌هایی با ساختار هوشمند هستند که ممکن است به صورت متصل به شبکه و یا جزیره‌ای مورد استفاده قرار گیرند. به همین منظور در این مقاله ضمن معرفی مبانی الگوریتم مورد نظر، ویژگی‌های الگوریتم NSGA-II مورد بحث قرار می‌گیرد و سپس با معرفی یک ریزشبه ۱۴ شینه به عنوان شبکه تست، الگوریتم مورد نظر برای دو تابع هدف هزینه و آلودگی آزمایش قرار می‌گیرد و ضمن مقایسه الگوریتم NSGA-II با روش کلاسیک، منحنی پارتوی مورد نظر به دست می‌آید تا قدرت الگوریتم مورد نظر مشخص شود.

**واژه‌های کلیدی:** بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم NSGA-II، ریزشبه، دسته‌بندی نامغلوب، فاصله ازدحامی

### ۱- مقدمه

توقف الگوریتم ژنتیک ارضاء گردد، که این شرایط ممکن است رسیدن به نتیجه‌ای خاص یا اتمام مراحل تکرار یا هر چیز دیگری باشد [۲،۱]. الگوریتم ژنتیک بیان شده برای بهینه‌سازی تابعی تک‌هدفه مورد استفاده است اما سوال اساسی اینجاست که اگر نیازمند بهینه‌سازی چند هدف به طور هم‌زمان باشیم چه باید کرد؟ برای بهینه‌سازی چندهدفه روش‌های مختلفی وجود دارد. در ساختار سنتی بهینه‌سازی چند هدفه با استفاده از روش تک‌هدفه توابع موجود به صورت مجازی به عنوان تابعی تک هدفه برای الگوریتم تعریف می‌شوند و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. به این روش‌ها اصطلاحاً روش‌های Decomposition گویند. یکی از روش‌های مرسوم Decomposition اختصاص وزن به توابع هدف مورد نظر برای استفاده از روش کلاسیک الگوریتم ژنتیک می‌باشد که به این روش اصطلاحاً روش مجموع ضرایب وزنی گویند. در این روش یک با یک تقریب خطی می‌خواهیم نقاط تقریبی منحنی پارتوی خروجی را کشف نمائیم. بنابراین در راستای این روند ممکن است برخی نقاط کشف نشوند و به برخی نقاط دسترسی نداشته باشیم که این یک ضعف مهم به‌شمار می‌رود. فرمول روش ضرایب وزن‌دار در حالت کلی به صورت زیر قابل نمایش است:

اهمیت بحث بهینه‌سازی<sup>۱</sup> در علوم مهندسی بر هیچکس پوشیده نیست، به همین جهت تاکنون روش‌های گوناگونی برای این منظور به کار گرفته شده است. یکی از مرسوم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌هایی که تاکنون برای بحث بهینه‌سازی استفاده شده است الگوریتم ژنتیک می‌باشد. این الگوریتم نخستین بار در دهه هفتاد مطرح گشت و بنیان آن از نظریه داروین مبنی بر حق بقای موجودات براننده تر شکل گرفته است. موضوع علم ژنتیک یا وارث مطالعه پدیده‌هایی است که توسط آنها صفات یا خصوصیات جانداران از نسلی به نسل دیگر به ارث می‌رسد. همچنین این علم اساس شباهت‌ها و تفاوت‌ها را توضیح می‌دهد. این علم نام خود را از لغت ژن به عنوان یک واحد وارثی دریافت کرده است و ایده الگوریتم ژنتیک یا GA از طبیعت گرفته شده است. در این روش ابتدا با انتخاب جمعیتی اولیه میزان برانندگی اعضای جمعیت را بررسی می‌نمائیم و سپس با انتخاب ترکیبی از والدین و به کمک دو فرآیند برش و جهش جمعیتی از فرزندان ایجاد می‌نمائیم و با تحلیل جمعیت فرزندان در نهایت از بین همه جمعیت‌های موجود بهترین عناصر جمعیتی جدید ایجاد می‌نمایند. فرآیند مذکور آنقدر ادامه می‌یابد تا شرایط از پیش تعریف شده برای

$$F(x) = W_1 F_1(x) + W_2 F_2(x) + W_3 F_3(x) + \dots \quad (1)$$

توجه کنید که ضرایب W ممکن است مجموعی معادل یک داشته باشند یا نداشته باشند. تعیین مناسب وزن‌ها خود یکی از مشکلات این روش به شمار می‌رود.

از آنجا که روش‌های Decomposition با مشکلاتی که اشاره شد مواجه هستند، محققان دست به ایجاد روش‌هایی زدند که ذاتاً چندهدفه باشند که الگوریتم ژنتیک با دسته بندی نامغلوب<sup>۲</sup> یکی از قدرتمندترین این روش‌ها به شمار می‌رود. نسخه اولیه این الگوریتم از روشی به نام اشتراک برآزندگی برای یافتن بهترین اعضا از بین اعضای یک فرانت خاص استفاده می‌کرد اما به دلیل مشکلات این روش در نسخه دوم از روش فاصله ازدحامی استفاده شد [۳].

همچنین در این مقاله برای آزمایش الگوریتم مورد نظر از یک ریزشبهکه استفاده شده است. برای آشنایی با ریزشبهکه‌ها باید گفت که ریزشبهکه‌ها مجموعه‌ای از بارها، منابع تولید پراکنده و تجهیزات ذخیره می‌باشند که به صورت یک بار قابل کنترل یا ژنراتور عمل می‌کنند و می‌توانند توان لازم را برای یک ناحیه محلی مشخص تامین نمایند. ریزشبهکه‌ها به واسطه سامانه کنترلی انعطاف پذیری که دارند قابلیت پذیرش مطلوب منابع تولید پراکنده را دارا می‌باشند. امروزه این شبکه‌ها در کشورهای مختلفی از جمله آمریکا، کانادا، ژاپن و انگلستان مورد بهره‌برداری و استفاده قرار گرفته‌اند چرا که نیاز روز افزون به تولید انرژی الکتريکی از یک سو و توسعه استفاده از نیروگاه‌های کوچک و گسترش تحقیقات مربوط به تجدید ساختار شبکه‌های قدرت از سوی دیگر همگان را به سمت توسعه استفاده از ریزشبهکه‌ها و توسعه آن‌ها سوق می‌دهد. همچنین با توجه به گسترش زمینه‌های پژوهشی پیرامون شبکه‌های هوشمند و با توجه به اینکه ریزشبهکه‌ها بخش مهم و اثرگذاری در ایجاد و گسترش شبکه‌های هوشمند دارند، بررسی نقش سیستماتیک آنها در شبکه‌های قدرت و تحلیل مهندسی عناصر آن چه از دید کلی و چه از دید جزئی، مهم و حائض اهمیت است.

ریزشبهکه‌ها می‌توانند به منظور دست‌یابی به توان پایه، توان اوج، توان پشتیبان، توان نواحی دوردست، کیفیت توان و نیز نیاز به توان‌های گرمایشی و سرمایشی مورد استفاده واقع شوند. ویژگی قابل توجه ریزشبهکه‌ها در استفاده از آن‌هاست که می‌توانند در دو حالت مستقل یا جزیره ای و متصل به شبکه مورد بهره‌برداری قرار گیرند. از دیگر ویژگی‌های مهم ریز شبکه می‌توان به نزدیکی بار با محل مصرف اشاره کرد که این امر هزینه‌های مربوط به تلفات و سیستم‌های انتقال را کاهش می‌دهد. همچنین ریزشبهکه‌ها زمینه مناسب برای حضور

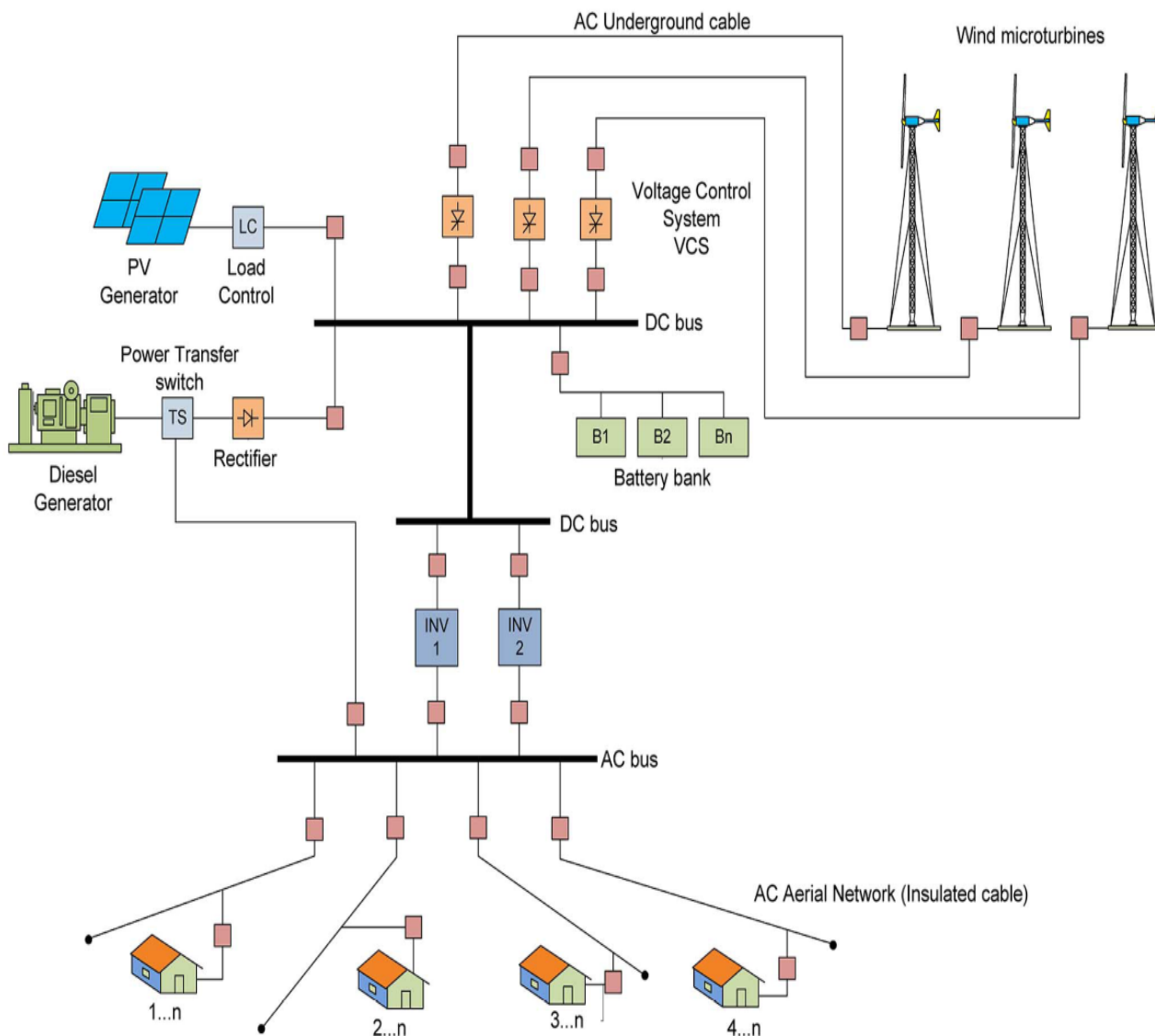
بخش خصوصی در صنعت برق را فراهم می‌نمایند. مولفه‌های یک روز شبکه را می‌توان شامل بارها، تجهیزات ذخیره انرژی، منابع تولید

پراکنده (DG)، کنترلر (مرکزی و محلی) و نقطه اتصال مشترک (PCC) می‌باشد. هر واحد تولید محلی شامل یک کنترلر محلی است و به عنوان مثال برای درک بهتر همچون یک گاورنر یا AVR عمل می‌کند که این کنترلر به همراه سایر کنترلر ها با سامانه کنترل کننده مرکزی (MGCC) جهت تبادل اطلاعات لازم در ارتباط است و باید به این نکته توجه کرد که در بحث شبکه‌های هوشمند و ریزشبهکه‌ها بحث فن‌آوری اطلاعات و تبادل داده در هر لحظه بسیار مهم و حیاتی است و این امر کیفیت کار شبکه را تا حد چشمگیری افزایش می‌دهد. وظیفه کنترلر مرکزی ایجاد ارتباط مطلوب بین ریز شبکه‌ها و شبکه‌های بالا دستی می‌باشد که نقش کنترلر پخش بار و بهینه سازی بهره برداری ریز شبکه را بر عهده دارد [۴،۵]. شکل ظاهری یک ریز شبکه را می‌توان به صورت شکل (۱) نمایش داد [۶].

یک ریزشبهکه می‌تواند ترکیبی متنوع و موثر از منابع تولید پراکنده را بر اساس مصلحت کنترل کننده سیستم به کار گیرد تا علاوه بر کاهش هزینه‌ها تامین بار مصرف کننده تضمین گردد و هزینه‌های ناشی از قطع برق به گردن شرکت‌های تولید کننده نیفتد. بنابراین نقش تصمیم گیرنده سیستم درون یک ریزشبهکه بر روی کارایی آن بسیار مهم و اثر گذار است و از همین روست که با توجه به ویژگی‌های یاد شده در صنعت برق، ریزشبهکه‌ها را نوعی شبکه‌های انعطاف پذیر و هوشمند می‌نامند و به همین سبب است که استفاده از ریزشبهکه‌ها و مطالعات مرتبط با آنها به طور چشمگیری توسط پژوهشگران و متولیان صنعت برق در سراسر دنیا، بالاخص در کشورهای پیشرفته رشد داشته است.

برای استفاده از ریزشبهکه‌ها تاکنون پژوهش‌های گوناگونی صورت گرفته است تا بتوان با ترکیب مناسب منابع تولید پراکنده به صورت ترکیبی با سیستم سنتی و یا مستقل نیاز بار را در حد مطلوب تامین نمود و این روند پژوهشی روز به روز در حال گسترش است. البته گسترش ریزشبهکه‌ها از نظر مسائل فنی دارای پیچیدگی‌ها و محدودیت‌های خاصی نیز هست که در جای خود می‌تواند مورد بحث قرار گیرد.

برای معرفی و استفاده از الگوریتم مورد نظر نیاز به تحلیل در حالتی است که با بیش از یک تابع هدف مواجه باشیم تا بر اساس آن بتوانیم یک تحلیل چندهدفه انجام دهیم. به همین منظور در ابتدا دو تابع هدف را معرفی می‌نمائیم که برای بحث بهینه‌سازی بتوانیم از آن‌ها استفاده کنیم. دو تابع پرکاربرد و مهمی که در بحث بهینه‌سازی در صنعت برق و پژوهش‌های مرتبط با آن همواره مورد توجه هستند، توابع مربوط به هزینه و آلودگی می‌باشند که امروزه کاهش هریک بسیار ارزشمند و مهم است [۷].



شکل (۱): ساختار یک ریز شبکه

$$F_1(x) = \text{Min}[CF(x)] \quad (3)$$

### ۲-۱-۲- تابع آلودگی

برای محاسبه میزان آلودگی، در نظر گرفتن آلاینده‌های اتمسفر از قبیل اکسیدهای گوگرد ( $SO_x$ )، اکسیدهای کربن ( $CO_x$ ) و اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) قابل ارزیابی است که غالباً اثر  $CO_2$  در مورد نیروگاه‌ها در نظر گرفته می‌شود و در این پایان‌نامه نیز میزان آلودگی این آلاینده بر اساس فرمول زیر مورد تحلیل قرار می‌گیرد و واحد آن بر حسب  $kg/h$  است.

$$E(P_i) = \sum_{i=1}^m 10^{-2} (\alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i + \zeta_i \exp(9 \lambda_i P_i)) \quad (4)$$

که در این رابطه  $\lambda_i$  ضریب آلودگی ژنراتور  $i$  ام می‌باشند و  $m$  بیانگر تعداد ژنراتورهاست و هدف کمینه سازی تابع

## ۲- توابع هدف و الگوریتم مورد نظر

### ۲-۱-۱- توابع هدف

#### ۲-۱-۱-۲- تابع هزینه

این تابع شامل مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر است که برای نیروگاه‌های مختلف ضرایب گوناگونی به خود می‌گیرد و فرم کلی آن به صورت زیر قابل تعریف است:

$$CF(P) = \sum_{i=1}^N (C_i \cdot F_i(P_i) + OM_i(P_i)) \quad (2)$$

که در این رابطه  $C_i$  مربوط به قیمت حامل‌های انرژی است و  $OM_i(P_i)$  تابع هزینه مصرف سوخت نیروگاه  $i$  ام است و نیز  $F_i(P_i)$  مربوط به هزینه‌های ثابت هر نیروگاه است و هدف کمینه‌سازی تابع مورد بررسی است:

میزان ولتاژ هر باس بار باید تحت کنترل باشد تا از محدوده مجاز آن خارج نشود. به همین منظور لحاظ کردن قید ولتاژ به فرم زیر ضروری است:

$$V_{min} \leq |V_k| \leq V_{max} \quad (۸)$$

که در این رابطه  $V_{min}$  حد اقل مجاز ولتاژ و  $V_{max}$  حداکثر مجاز ولتاژ و  $V_k$  ولتاژ باس بار  $k$  ام است.

### ۲-۳- آشنایی با الگوریتم مورد نظر

در محاسبات چند هدفه با شرایطی مواجه می‌شویم که در قیاس دو نقطه با یکدیگر ممکن است هر یک از یک نظر از دیگری بهتر و از نظر دیگر از دیگری بدتر باشد. بنابراین نمی‌توان به صورت مطلق نتیجه گیری کرد که کدام نقطه برتر از دیگری است. به این حالت اصطلاحاً یک فضای برداری ترتیب ناپذیر گویند. به همین جهت از مفهوم غلبگی استفاده می‌نمائیم تا به مجموعه‌ای از جواب‌های ممکن برسیم که اصطلاحاً به آن‌ها مجموعه جواب‌های پارتو یا غالب گویند. بیان مفهوم غلبگی از نظر ریاضی به صورت زیر قابل بیان است [۸]:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\} : f_i(X_1) \leq f_i(X_2) \quad (۹)$$

$$\exists j \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\} : f_j(X_1) < f_j(X_2) \quad (۱۰)$$

این فرمول‌ها یک تعریف پایه از مفهوم غلبگی هستند و اساس کار غلبگی به شمار می‌روند و برای به کار بردن آن‌ها در هر برنامه بهینه‌ساز بایستی این فرمول‌ها به کدهای کامپیوتری تبدیل گردند. توجه کنید که  $X_1$  و  $X_2$  اعضای هستند که درون توابع ارزیابی می‌شوند.

بالا می‌باشد که این ضرایب به ترتیب برابرند با  $۴/۲۸۵ \text{ kg/hMW}^2$ ،  $۴/۵۸۶ \text{ kg/h}$ ،  $-۵/۲۹۴ \text{ kg/hMW}$  و  $۱۰^{-۶} \text{ kg/h}$  و  $۸ \text{ MW}^{-1}$ . برای این روابط نیز خواهیم داشت:

$$F_2(x) = \text{Min}[Emission] \quad (۵)$$

### ۲-۲- قیود مورد بررسی

در محاسبات مهندسی که خواستگاه بیرونی دارند همواره با قید و بندهایی مواجهیم که باید به آن‌ها توجه نمائیم و در محاسبات آن‌ها را لحاظ کنیم. به همین جهت در اینجا قیود زیر همواره در نظر گرفته می‌شوند [۷]:

### ۲-۲-۱- قیود توان تولیدی

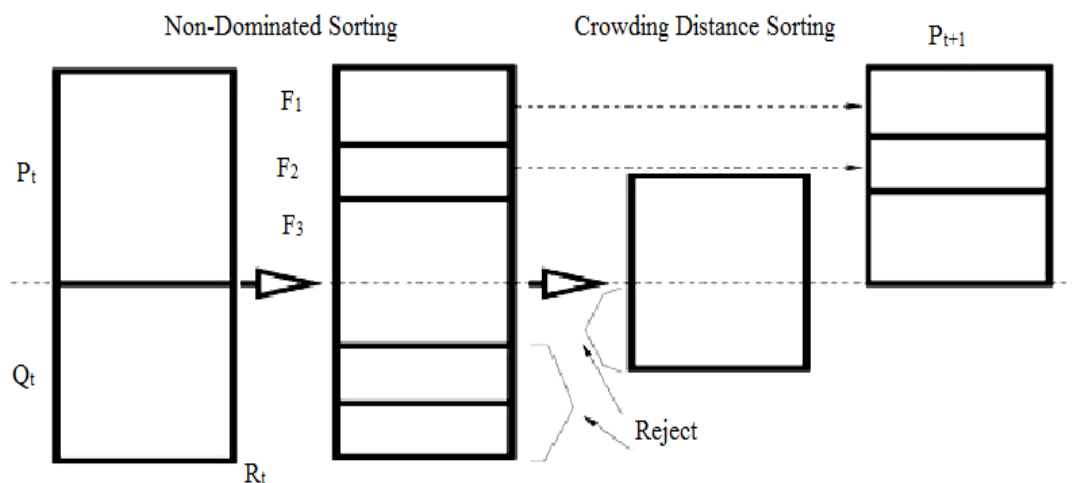
$$\sum PG = \sum (Pload + Ploss) \quad (۶)$$

که بر این اساس توان تولیدی باید همواره با مجموع توان‌های مصرفی و تلفات برابری کند. همچنین باید توجه داشت که توان هر نیروگاه نیز محدود است و نمی‌تواند هر مقدار دخواهی داشته باشد:

$$P_{max} \leq p_i \leq P_{min} \quad (۷)$$

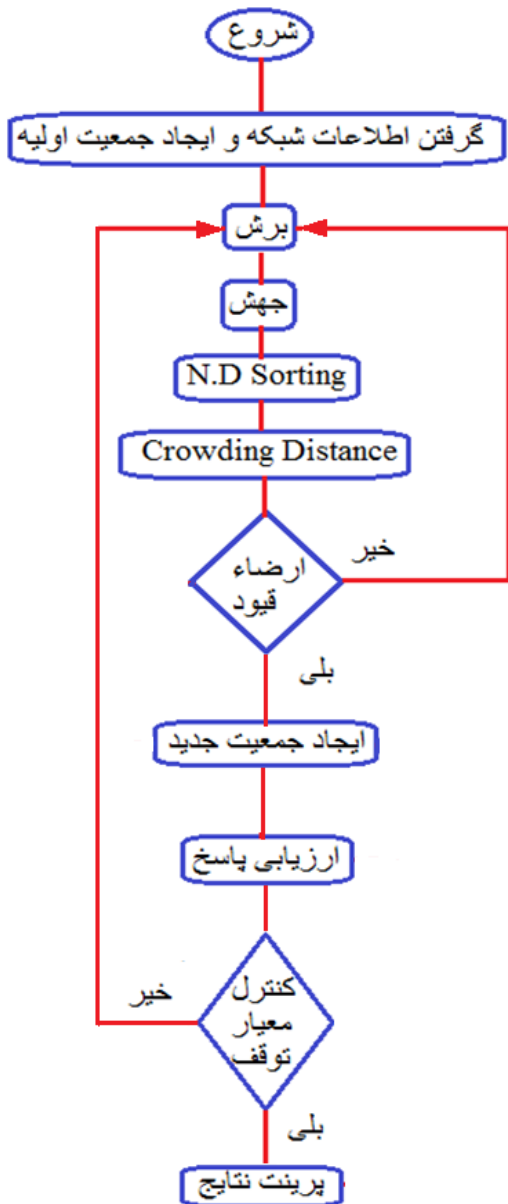
که این رابطه بیان می‌نماید توان تولیدی هر ژنراتور  $P_i$  بایستی بین حداقل و حداکثر توان تولیدی مجاز توسط هر نیروگاه باشد چرا که تولید محدود است.

### ۲-۲-۲- قید ولتاژ



شکل (۲): مکانیزم عملکرد الگوریتم NSGA-II

استاندارد شعاعی ۱۴ شینه به عنوان شبکه تست استفاده می‌نمائیم. اطلاعات مربوط به شبکه مورد استفاده در ضمیمه است و شکل ظاهری شبکه در شکل (۴) ترسیم شده است.



شکل (۳): روندنمای الگوریتم NSGA-II

برای آزمایش الگوریتم فرض کنید که سه نیروگاه با حداکثر توان ۱۰۰ کیلووات داریم. حالت‌های مختلف را برای جایگاه نیروگاه‌ها در نظر می‌گیریم و در نهایت نیروگاه‌ها را در باس‌بارهای ۹، ۱۱ و ۴ قرار می‌دهیم. حال عمل تعیین اندازه را توسط الگوریتم مورد نظر برای توابع هزینه و آلودگی اجرا می‌کنیم. در ابتدا با اجرای تک‌هدفه الگوریتم روی توابع روند همگرایی الگوریتم را به ازای ۱۰۰ تکرار نشان می‌دهیم که نتایج آن در شکل‌های (۵) و (۶) آمده است.

این رابطه بیانگر آن است که در قیاس دو نقطه  $X_1$  و  $X_2$  نقطه  $X_1$  از هیچ وجه از نقطه  $X_2$  مورد قیاس بدتر نباشد و حداقل از یک وجه مطلقاً بهتر از آن باشد. بنابراین با این منطق اعضا در قیاس با یکدیگر در طول مراحل مختلف دسته‌بندی شده و در فرانت‌های مختلف جای می‌گیرند.

الگوریتم ژنتیک چندهدفه با دسته‌بندی نامغلوب که با نام NSGA-II نیز شناخته می‌شود از همین مفهوم استفاده کرده است تا اعضای غلب را از اعضای مغلوب جدا کند. مکانیزم کلی عملکرد این الگوریتم در شکل (۲) آمده است [۳].

همانطور که مشخص است تعداد اعضای جمعیت جدید تولید بایستی با تعداد اعضای جمعیت اولیه برابری کند. به همین جهت معیار گزینش ما در ابتدا شماره فرانت یا میزان Rank تابع است. اما گاهی با شرایطی مواجه می‌شویم که ممکن است مجبور باشیم از بین اعضای یک فرانت مشخص با Rank برابر، تعدادی از اعضا را برگزیده و تعدادی را مرجوع کنیم. به همین جهت به معیاری ثانویه نیازمندیم. در نسخه اولیه الگوریتم ژنتیک معیار ثانویه استفاده از روشی به نام اشتراک برزندگی یا Fitness Sharing بود که این روش با مشکلات بسیاری از جمله تعیین میزان  $\sigma$  اشتراک بود که تعیین مناسب این میزان در کیفیت نتایج اثر بسیاری داشت. به همین جهت برای رفع این مشکل در نسخه دوم الگوریتم ژنتیک چند هدفه با دسته‌بندی نامغلوب از روش فاصله ازدحامی یا Crowding Distance استفاده شده است که مشکلات نسخه اولیه را تا حد زیادی مرتفع می‌نماید. فرمول‌های محاسباتی مربوط به روش فاصله ازدحامی به شرح فرمول‌های (۱۱) تا (۱۳) است.

$$d_i^1 = \frac{f_1(x_{i+1}) - f_1(x_{i-1})}{f_1^{max} - f_1^{min}} \quad (11)$$

$$d_i^2 = \frac{f_2(x_{i-1}) - f_2(x_{i+1})}{f_2^{max} - f_2^{min}} \quad (12)$$

$$d_i = d_i^1 + d_i^2 \quad (13)$$

که براساس این روابط فاصله ازدحامی بیشتر برای یک نقطه به معنای برزنده‌تر بودن آن نقطه است.

برای آشنایی با روال کامل عملکرد الگوریتم NSGA-II به فلوجارت آن در شکل (۴) توجه کنید [۹، ۱۰].

## ۲-۴- آزمایش الگوریتم مورد بحث

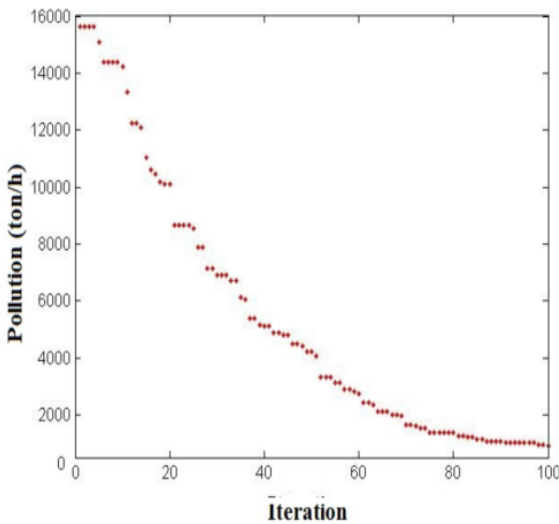
همانطور که گفته شد می‌خواهیم الگوریتم معرفی شده را در یک ریزشبکه مورد آزمایش قرار دهیم. بنابراین از یک شبکه

جدول (۱): بررسی پراکندگی نتایج در تکرارهای متوالی

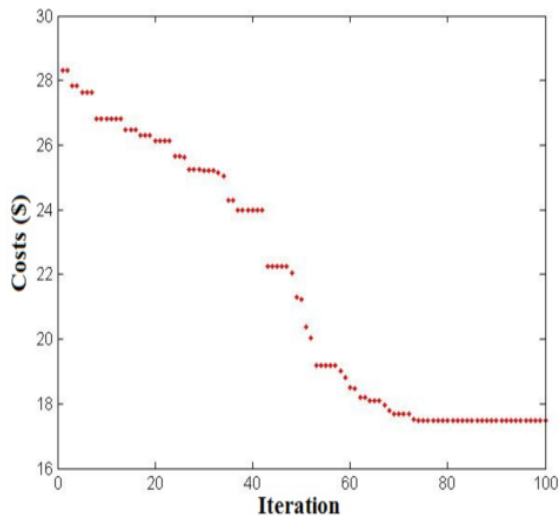
شماره	هزینه	آلودگی
۱	۱۴/۱۰۷۰	۴۴۶/۵۸۴۶
۲	۱۴/۱۱۰۴	۴۸۴/۱۹/۴۲
۳	۱۴/۰۶۸۴	۴۹۸/۴۰۸۹
۴	۱۴/۵۸۷۰	۴۳۵/۴۲۱۸
۵	۱۴/۱۶۳	۴۲۸/۹۲۰۷

برای آنکه نشان دهیم الگوریتم در ازای اجراهای متمادی دارای جواب‌های نزدیکی است و پاسخ‌ها پراکندگی چندانی ندارند، الگوریتم را حدود ۲۰ بار اجرا کرده‌ایم که در جدول (۱) تعداد ۵ جواب به عنوان نمونه آورده شده است.

البته نباید از نظر دور داشت که چون مقادیر جمعیت اولیه ما به صورت تصادفی گزیده می‌شوند تا حدی انحراف پاسخ‌ها از یکدیگر طبیعی است اما اگر اختلاف زیاد باشد باید در الگوریتم تجدید نظر کرد و اجزای آن را بهبود بخشید.



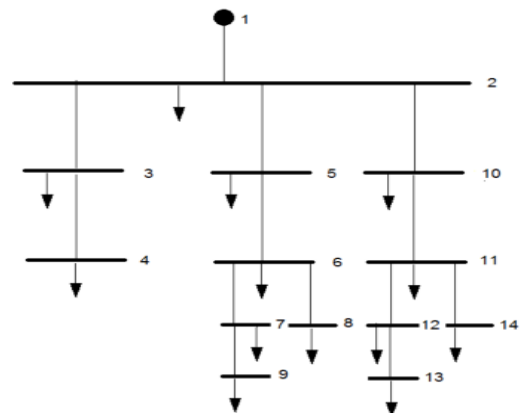
شکل (۳): روند همگرایی تابع آلودگی



شکل (۴): روند همگرایی تابع هزینه

حال که مقایسه‌های لازم صورت گرفت اقدام به تحلیل دو هدفه توابع هزینه و آلودگی در الگوریتم مورد نظر بر اساس فلوجارت ترسیمی می‌نمائیم. شایان ذکر است که برای پخش بار از روش پخش بار پیشرو - پسرو استفاده شده است، چرا که روش نیوتون رافسون برای پخش بار شبکه‌های شعاعی به دلیل نسبت  $X/R$  غالباً واگرا شده و یا در خروجی نتایج نامناسبی خواهد داشت [۱۱، ۱۲].

منحنی پارتوی دو به دو خروجی برای توابع هدف هزینه و آلودگی به ازای یک جمعیت ۵۰ تایی در تکرار ۴۰۰ تایی در شکل (۷) آمده است. توجه کنید که در الگوریتم‌های چندهدفه توابع هدف غالباً با یکدیگر در کشمکش هستند، یعنی کاستن از یکی موجب افزایش دیگری می‌شود و بالعکس.



شکل (۴): شبکه شعاعی مورد آزمایش

حال روش مورد نظر را با روش وزن‌دهی به الگوریتم ژنتیک کلاسیک که در بخش مقدمه مختصراً توضیح داده شد مقایسه می‌نمائیم. مسلم است که با توجه به قدرت اجرایی و ساختاری موجود در الگوریتم ژنتیک چند هدفه با دسته‌بندی نامغلوب، نتایج حاصل از روش NSGA-II نسبت به حالت الگوریتم ژنتیک کلاسیک، به دلیل ساختار منحصر به فردی که دارد، برتری خواهد داشت. نتیجه این قیاس در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲): مقایسه روش کلاسیک با الگوریتم NSGA-II

روش	هزینه	آلودگی
Classic GA	۱۵/۱۴۸۳	۲۱۹/۱۶۶۴
NSGA-II	۱۳/۱۹۲۵	۲۰۸/۱۳۸۵

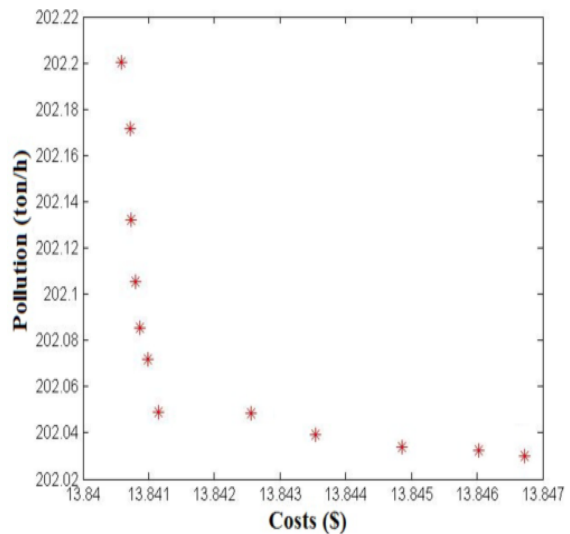
می‌نمایند و همچنین توضیح داده شد که در این الگوریتم برای یافتن بهترین نقاط و تشکیل منحنی پارتو در خروجی به منظور بررسی و تحلیل نتایج حالت چندهدفه، نقاط موجود را ابتدا به وسیله Rank بندی و سپس در صورت نیاز به کمک روش فاصله ازدحامی دسته‌بندی می‌نماید. همچنین با معرفی ریزش‌بکه و مزایای آن‌ها، جایگاه ریزش‌بکه‌ها در مباحث مربوط به شبکه‌های هوشمند و نقش آن‌ها در شبکه‌های برق مختصراً مورد بحث قرار گرفت. در نهایت با معرفی و نمایش روندنمای الگوریتم مورد نظر و توضیح مختصر در مورد اجزای مهم آن، به ویژه مباحث مربوط به دسته‌بندی نامغلوب و نیز چگونگی استفاده از فاصله ازدحامی، دو تابع هدف هزینه و آلودگی معرفی شد و تحلیل همگرایی آن‌ها صورت گرفت و نیز مقایسه آن‌ها در الگوریتم ژنتیک کلاسیک و الگوریتم NSGA-II صورت گرفت که برتری الگوریتم مورد بحث مشخص گشت. در نهایت تحلیل هم‌زمان دودهدفه صورت پذیرفت که جواب‌های خروجی و منحنی پارتوی ترسیمی کیفیت الگوریتم مورد بحث را نمایش می‌دهند.

### ضمیمه:

همانگونه که گفته شد شبکه مورد آزمایش برای تحلیل الگوریتم مورد نظر یک شبکه ۱۴ شینه استاندارد است که به عنوان یک ریزش‌بکه در نظر گرفته شده است و اطلاعات مربوط به شین‌های این ریزش‌بکه و همچنین اطلاعات مربوط به خطوط انتقال در این ریزش‌بکه در ادامه آمده است.

جدول (۴): اطلاعات مربوط به شین‌های شبکه تست

No.Bus	Pli	Qli
۱	۰	۰
۲	۲۰	۶
۳	۸۵	۲۷
۴	۴۰	۱
۵	۲۰	۶
۶	۲۰	۶
۷	۷۶	۱۶
۸	۱۰	۳۰
۹	۶۱	۱۶
۱۰	۱۲	۷۵
۱۱	۱۰	۹۰
۱۲	۱۶	۶۱
۱۳	۹۰	۵۹
۱۴	۳۵	۶۱



شکل (۵): منحنی پارتوی بهینه‌سازی هزینه - آلودگی

همچنین نتایج خروجی از لحاظ عددی به صورت جدول (۳) خواهند بود.

جدول (۳): نقاط پارتوی به دست آمده

شماره	هزینه	آلودگی
۱	۱۳/۸۴۰۶	۲۰۲/۲۰۰۵
۲	۱۳/۸۴۶۷	۲۰۲/۰۳۹۰
۳	۱۳/۸۴۳۵	۲۰۲/۰۲۹۱
۴	۱۳/۸۴۲۷	۲۰۲/۰۴۸۲
۵	۱۳/۸۴۰۷	۲۰۲/۱۷۱۷
۶	۱۳/۸۴۱۱	۲۰۲/۰۴۸۷
۷	۱۳/۸۴۰۷	۲۰۲/۱۳۲۱
۸	۱۳/۸۴۰۸	۲۰۲/۱۰۵۴
۹	۱۳/۸۴۱۰	۲۰۲/۰۷۱۶
۱۰	۱۳/۸۴۰۹	۲۰۲/۰۸۵۳
۱۱	۱۳/۸۴۶۱	۲۰۲/۰۲۸۹
۱۲	۱۳/۸۴۴۱	۲۰۲/۰۲۳۲

### ۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله با یادآوری مباحث و جایگاه مرتبط با الگوریتم ژنتیک پایه به بحث در مورد چگونگی و اهمیت بهینه‌سازی برای توابع چندهدفه پرداخته شد که در راستای آن با توضیح در مورد الگوریتم‌هایی که ذاتاً تک هدفه هستند و به صورت چند هدفه مورد استفاده قرار می‌گیرند و در مقابل آن‌ها الگوریتم‌هایی که ذاتاً چند هدفه هستند، مانند الگوریتم قدرتمند NSGA-II، مشخص شد که این الگوریتم‌ها بسیار کارآمدتر و قدرتمندتر عمل

جدول (۵): اطلاعات مربوط به خطوط شبکه تست

from	to	R(pu)	X (pu)	B (pu)
۱	۲	۰/۰۱۳۳	۰/۰۴۲	۰/۰۰۶۳
۲	۳	۰/۰۱۹۴	۰/۰۵۹	۰/۰۲۶
۳	۴	۰/۰۳۱۲	۰/۱۶	۰/۰۲۸
۲	۵	۰/۰۲۳	۰/۱۲	۰/۰۰۷۱
۵	۶	۰/۰۲۳	۰/۱۲	۰/۰۰۷۱
۶	۷	۰/۰۱۹۳	۰/۰۵۹	.
۶	۸	۰/۰۳۲	۰/۰۸۴	.
۷	۹	۰/۰۳۴	۰/۱۷	.
۲	۱۰	۰/۰۱۶	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸
۱۰	۱۱	۰/۱۹۳	۰/۰۵۹	۰/۰۲۶
۱۱	۱۲	۰/۰۶۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
۱۲	۱۳	۰/۰۴	۰/۱	.
۱۱	۱۴	۰/۰۵	۰/۱۵	.

[۹]. بیابانی، م.، ۱۳۹۰، **جایابی بهینه منابع تولید پراکنده با الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی آن**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد برق دانشگاه تبریز، ص ۷۸ تا ۹۹.

[۱۰]. رضایی، ج.، داوودی منفرد، م.، ۱۳۸۷، **الگوریتم‌های ژنتیک با رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه**، تهران، انتشارات پلک، ص ۲۰ تا ۲۷۸

[11]. Moeini, A., 2010, **Optimal DG Allocation In Distribution Network Using Strength Pareto Multi-Objective Optimization Approach**, International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering", Vol. 2, N.1, PP. 50-53.

[12]. Shirmoharmnadi, D., 1988, **A Compensation-Based Power Flow Method for Weakly Meshed Distribution and Transmission Networks**, IEEE Transactions on Power Systems.

### رزومه

**نوید جاویدتاش** متولد شیراز است (۱۳۶۴). وی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت دانشگاه آزاد اسلامی



واحد یزد به پایان رسانده (۱۳۸۷) و در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول فارغ التحصیل شده است (۱۳۹۱). زمینه‌های پژوهشی و مورد علاقه وی در زمینه الگوریتم‌های هوشمند بهینه‌سازی در سیستم‌های قدرت، انرژی‌های نو، ریزشبکه‌ها و شبکه‌های هوشمند می‌باشد.

**جمشید آقایی** تحصیلات لیسانس خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت از دانشگاه صنعت برق و آب در تهران اخذ کرده است (۱۳۸۲). وی سپس تحصیلات خود را در رشته



مهندسی برق - قدرت در مقطع کارشناسی ارشد در دانشگاه علم و صنعت ایران ادامه داد (۱۳۸۴) و سپس موفق به اخذ مدرک دکترا در رشته مهندسی برق - قدرت از دانشگاه علم و صنعت ایران گشت (۱۳۸۸). فعالیت‌ها و زمینه‌های فعالیت ایشان در زمینه بازار برق، تجدید ساختار سیستم‌های قدرت و مباحث مرتبط با بهینه‌سازی در سیستم‌های قدرت می‌باشد. وی در حال حاضر استادیار گروه برق و الکترونیک دانشگاه صنعتی شیراز است.

### مراجع

- [۱]. کیا، م.، ۱۳۸۹، **الگوریتم‌های ژنتیک در Matlab**، تهران، خدمات نشر کیان رایانه سبز، ص ۱۵ تا ۱۱۰.
- [2]. Haupt, R.L., Haupt, S., 2004, **Practical Genetic Algorithms**, New jersey, Pub. Wiley-Interscience, PP. 27-65.
- [3]. WWW. **MatlabSite.com**, spring 2012.
- [۴]. رضاییان، م.، جدید، ش.، ۱۳۸۹، **بررسی اثر تعرفه خرید و فروش برق در مدیریت و بهره‌برداری ریزشبکه با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه**، اهواز، دومین کنفرانس سراسری اصلاح الگوی مصرف انرژی الکتريکی، ص ۱ تا ۵. [۵]. رضاییان، م.، جدید، ش.، ۱۳۸۹، **بررسی اثر تولید هم‌زمان برق و حرارت در کاهش هزینه بهره‌برداری و آلودگی ریزشبکه با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه**، تهران، بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق، ص ۱ تا ۸.
- [6]. Rebeiro, L., Saveedra, O.R., Lima, S.L., 2011, **Isolated Micro-Grids With Renewable Hybrid Generation: The Case of Lençóis Island**, IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 2, NO. 1, PP. 3-5.
- [7]. Niknam, T., Taheri, S.I., Aghaei, J., Tabatabaei, S., Nayeripour, M., 2011, **A modified honey bee mating optimization algorithm for multiobjective placement of renewable energy resources**, Elsevier, Applied Energy 88, PP. 4818-4821.
- [8]. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T., 2002, **A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II**, IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, VOL. 6, NO. 2, PP. 182-188.





محسن گیتی‌زاده در شیراز متولد شده است (۱۳۵۴). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه شیراز (۱۳۷۷)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه علم و صنعت ایران (۱۳۷۹) و

دکتری مهندسی برق- قدرت از دانشگاه دانشگاه علم و صنعت ایران (۱۳۸۸) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه- مندی ایشان در زمینه مدیریت انرژی، ادوات FACTS، توان راکتیو و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است.

#### زیرنویس‌ها

- 
- <sup>1</sup>- Optimization
  - <sup>2</sup>- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
  - <sup>3</sup>- Distributed Generation
  - <sup>4</sup>- Microgrid Central Controller
  - <sup>5</sup>- Constraints
  - <sup>6</sup>- Pareto