

پخش بار سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم حشره شب تاب

رحیم محمدی^۱ و حبیب رجبی مشهدی^۲

^۱ دانشگاه فردوسی مشهد، r.mohammadi@stu.um.ac.ir

^۲ دانشگاه فردوسی مشهد، h_mashhadi@um.ac.ir

شبکه‌هایی که در آنها مقادیر X و R خطوط نزدیک به هم هستند نباشند. البته در گذشته تمهیداتی برای افزایش سرعت رسیدن به جواب در نظر گرفته شده و روش‌های خاصی تدوین شده‌اند [۴-۱]. این مشکل وقتی که شبکه‌های بزرگ شعاعی با تعداد زیاد خط و پست مورد مطالعه قرار می‌گیرند، بیشتر آشکار می‌شود و نیاز به روشی برای حل چنین شبکه‌هایی احساس می‌شود.

روش گوس سایدل می‌تواند با استفاده از ماتریس ادمیتانس و یا ماتریس امپدانس صورت گیرد که در آن‌ها به ترتیب از ماتریس-های Z_{Bus} و Y_{Bus} برای نشان دادن رفتار شبکه استفاده می‌شود. ضعف اصلی روش‌های مبتنی بر ماتریس ادمیتانس، سرعت کم (به خصوص در حل شبکه‌های شعاعی) و نیاز به تعداد زیادی تکرار برای حل شبکه‌های بزرگ است که علت اصلی آن، تهی بودن ماتریس Y_{Bus} در چنین شبکه‌هایی می‌باشد. روش‌های ماتریس امپدانس سریع‌تر از روش ماتریس ادمیتانس هستند ولی نیاز به حافظه کامپیوتری بیشتری دارند. وضعیت همگرایی روش‌های فوق به شدت تابع تعداد پست‌های PV در شبکه می‌باشد و همان‌طور که تعداد پست‌های PV افزایش می‌یابد، روش‌های فوق دچار مشکلاتی می‌شوند. به همین خاطر روش‌های گوس سایدل مبتنی بر Z_{Bus} و Y_{Bus} نسبت به روش نیوتن رافسون کاربرد کمتری دارند.

روش نیوتن-رافسون محبوبیت خاصی به خاطر سرعت زیاد همگرایی آن پیدا کرده است و با حدس اولیه نسبتاً مناسب برای ولتاژ پست‌ها معمولاً در کمتر از ۱۰ تکرار شبکه را حل می‌کند. ولی مشکل اساسی این روش نیاز به محاسبه ماتریس ژاکوبین (که ابعاد آن چهار برابر ماتریس Y_{Bus} شبکه است) در هر تکرار می‌باشد. در شبکه‌های انتقال به خاطر نسبت بالای ضریب $\frac{X}{R}$ ، می‌توان فرض‌هایی در جهت ساده کردن روابط شبکه نمود و در اکثر مواقع می‌توان ماتریس ژاکوبین را به صورت مجزا فرض کرد و حتی از محاسبه آن در اکثر تکرارها خودداری نمود. به همین خاطر، روش نیوتن رافسون اکثراً در حل شبکه‌های قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شبکه‌های توزیع انرژی به خاطر نسبت

چکیده- پخش بار به معنای تعیین اندازه و زاویه ولتاژ پست‌ها و نیز توان عبوری از خطوط، به ازای توان تولیدی و مصرفی معلوم در شبکه است. روش‌های خاص و مشخصی برای پخش بار در شبکه توزیع وجود دارد که مشهورترین آنها روش پخش بار پسر-پیشرو است. اما در جدیدترین روش‌های پخش بار، از الگوریتم‌های هوشمند برای حل این مسئله استفاده شده است. این روش‌ها نسبت به روش‌های مرسوم دارای معایب و مزیت‌هایی هستند، اما در هر حال کاربرد آنها در حل مسئله پخش بار جذاب به نظر می‌رسد. در این مقاله پس از معرفی الگوریتم جدید شب‌تاب‌ها، نحوه انجام پخش بار سیستم توزیع با استفاده از این الگوریتم تشریح گردیده و نتایج پخش بار در یک شبکه توزیع ۲۱ باسه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی- الگوریتم حشره شب‌تاب، پخش بار، سیستم

توزیع

۱- مقدمه

محاسبات پخش بار در سیستم‌های قدرت، امکان محاسبه توان عبوری از خطوط و ولتاژ پست‌ها را به ازای یک ظرفیت تولید مشخص برای ژنراتورها و نسبت تبدیل مشخص برای ترانسفورماتورها فراهم می‌آورد. این اطلاعات برای طراحی و بهره‌برداری از سیستم، به طور دائم مورد نیاز می‌باشند. در این رابطه لازم است محاسبات برای حالات بهره‌برداری طبیعی و اضطراری شبکه انجام شود. اگرچه در حالات لحظه‌ای وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری در شبکه می‌تواند برخی مجهولات لازم را بدون نیاز به محاسبه مشخص کند، ولی محدودیت در تعداد دستگاه‌ها و اشتباهات احتمالی در اندازه‌گیری، نیاز به محاسبات پخش بار را لازم می‌سازد. از طرفی تغییر پارامترها در شرایط گوناگون (مخصوصاً در مسئله برنامه‌ریزی) انجام محاسبات پخش بار را بسیار ضروری می‌سازد.

روش‌های پخش بار مشهور گوس سایدل و نیوتن رافسون بیشتر برای شبکه‌های ولتاژ بالا تدوین شده‌اند. در این روش‌ها با کاهش نسبت $\frac{X}{R}$ خطوط، سرعت همگرایی به شدت کاهش می‌یابد و حتی ممکن است بعضی از این روش‌ها قادر به حل



به الگوی منحصر به فرد تولید فلش نور توسط حشره در گونه مورد نظر خود پاسخ می‌دهد و این مکانیزم دو حشره را به هم می‌رساند.

همان‌طور که مشخص است میزان شدت نور، متناسب با عکس مربع فاصله از منبع تولید آن کاهش می‌یابد. هم چنین وجود هوا در فضا باعث جذب مقداری از نور می‌شود و این دو پارامتر به معنای محدود کردن شعاع دید حشرات برای پیدا کردن همدیگر است. شعاع دید این حشرات در شب معمولاً تا چند صد متر می‌باشد که به نظر فاصله مناسبی برای پیدا کردن یکدیگر می‌باشد. با این مقدمه الگوریتم پیشنهادی (FA) به صورت زیر توضیح داده می‌شود.

به منظور ارائه الگوریتم ابتدا یک سری فرضیات بر روی نوع عملکرد حشرات در نظر گرفته می‌شود:

۱- همه حشرات تک جنسی هستند و به این ترتیب هر حشره می‌تواند به سمت هر یک از حشرات دیگر جذب شود.

۲- میزان جذب^۴ بین هر دو حشره متناسب با میزان درخشندگی^۵ حشرات است. به این معنا که حشره با درخشندگی کمتر، جذب حشره با درخشندگی بیشتر می‌شود و این جذب و درخشندگی هر دو با افزایش فاصله، کاهش می‌یابند. چنانچه حشره‌ای از همه درخشنده‌تر بود، آن حشره حرکتی تصادفی انجام می‌دهد.

۳- میزان درخشندگی حشرات در هر نقطه دورنمایی از تابع هدف مورد نظر بهینه سازی را نشان می‌دهد و یا اینکه برابر با خود تابع هدف در نظر گرفته می‌شود.

در الگوریتم FA تعیین دو موضوع میزان تغییر در شدت درخشندگی و نیز نحوه تعریف تابع جذابیت حائز اهمیت هستند. با توضیحات بالا این الگوریتم به صورت زیر قابل تعریف است:

Firefly Algorithm

```
Objective function  $f_p(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$ 
Initial population of fireflies  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ )
Light intensity  $I_i$  at  $x_i$  is determined by  $f_p(x_i)$ 
Define light absorption coefficient  $\gamma$ 
while ( $t < MaxGeneration$ )
  for  $i = 1 : n$  all  $n$  fireflies
    for  $j = 1 : i$  all  $n$  fireflies
      if ( $I_j > I_i$ )
        Move firefly  $i$  towards  $j$  ( $d$ -dimension)
      end if
      Vary  $\beta$  via  $\exp[-\gamma r]$ 
      Evaluate new solutions and update
    end for  $j$ 
  end for  $i$ 
Rank the fireflies and find the current best
end while
Postprocess results and visualization
```

⁴ Attractiveness
⁵ Brightness

کوچک‌تر $\frac{X}{R}$ خط که به دلیل استفاده از هادی‌های نازک‌تر و فاصله کم بین فازها در شبکه پدیدار می‌شود، ماتریس ژاکوبین کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نتیجه کاربرد این روش در شبکه‌های توزیع با محدودیتهایی روبروست.

مشکلات فوق موجب شد که روش پخش بار جاروب پسرو-پیشرو^۱ (B/FS) برای شبکه‌های توزیع شعاعی پیشنهاد شود [۵]. روش پخش بار پسرو-پیشرو معمولاً در سه نوع جمع جریانی، جمع توانی و جمع امپدانس به کار می‌رود. با این حال وجود حلقه‌ها (غیر شعاعی بودن) و وجود پست‌های PV دو چالش اساسی در اعمال روش جاروب پسرو-پیشرو به شبکه‌های توزیع واقعی است. به طوری که روش B/FS در حالت عادی قادر به حل شبکه‌های غیر شعاعی نیست. بنابراین از روشی به نام روش جبران تکراری^۲ برای اصلاح پخش بار B/FS به کار می‌رود.

همچنین در روش‌های پخش بار مبتنی بر بهینه سازی، مسأله منفرد شدن ماتریس ژاکوبین هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند. ولی زمان لازم برای همگرایی الگوریتم در این روشها نسبت به سایرین تا حد زیادی بیشتر است. بنابراین روش‌های مبتنی بر بهینه سازی برای پخش بار فقط زمانی به کار می‌آیند که سایر روش‌ها قادر به حل مسئله نباشند.

در [۶] یک روش پخش بار مبتنی بر GA ارائه شده است که در آن GA در دو مرحله به مسأله پخش بار اعمال می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که برنامه مورد نظر موفقیت‌آمیز بوده و می‌تواند بر بدرفتاری مسأله غلبه کند. از طرفی مدل‌سازی DG های نوع PV در این روش پخش بار بسیار ساده بوده و وجود حلقه‌های زیاد نیز هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند.

۲- الگوریتم حشره شب‌تاب

الگوریتم حشره شب‌تاب (FA^۳) یکی از الگوریتم‌های جدید ابتکاری الهام گرفته شده از رفتار حشرات شب‌تاب و مکانیزم نوردهی در آن‌هاست که اولین بار توسط Xin-She Yang در سال ۲۰۰۸ معرفی شد. در جهان بیش از دو هزار نوع از این حشرات شب‌تاب وجود دارد که اکثر آنها قادر به تولید فلش‌های نور کوتاه و به صورت منظم و ریتمیک هستند. این فرایند تولید نور در این حشرات ناشی از یک فرایند بیولوژی زیستی است و به نظر می‌رسد بدن این حشرات عملکردی شبیه خازن دارد که طبق فرایندی زیستی شارژ شده و سپس تخلیه می‌گردد و این عمل به صورت منظم ادامه می‌یابد. این حشرات از این نور برای پیدا کردن جفت خود و نیز وسیله‌ای برای جذب شکار بهره می‌گیرند. شدت نور، بازه تولید نور و فرکانس تولید فلش توسط این حشرات باعث می‌شود هر حشره جفت مورد نظرش در گونه خود را به درستی پیدا کند. در واقع حشره ماده

¹ Backward/Forward Sweep

² Iterative compensation

³ Firefly Algorithm

در هر حال در یک مسئله بهینه سازی با توجه به نوع مسئله چنانچه این فاصله مشخصه مشخص باشد به راحتی می توان ضریب جذب را نیز از روی آن تعریف نمود.

در نهایت r_{ij} فاصله بین دو حشره i و j که در فاصله x_i و x_j از هم قرار دارند برابر است با:

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (8)$$

بنابراین میزان جذب و حرکت حشرات به سمت یکدیگر با رابطه (۹) قابل محاسبه است:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon_i \quad (9)$$

که در آن عبارت دوم ناشی از جذابیت حشره j ام برای حشره i ام می باشد و عبارت سوم نیز به معنی در نظر گرفتن یک حرکت تصادفی است که توسط پارامتر α که کنترل کننده حداکثر گام های تصادفی^۶ حشرات می باشد و نیز ϵ_i که یک بردار تولید کننده اعداد رندوم به صورت تابع یکنواخت و یا توزیع گوسی است، کنترل می شود. در اکثر کاربردها می توان این پارامترها را به صورت $\beta_0 = 1$ و $\alpha \in [0, 1]$ نظر گرفت [۷].

باید به این نکته نیز توجه کرد که عبارت سوم در واقع بیانگر گام برداشتن تصادفی به سمت حشره درخشنده تر است بنابراین چنانچه β_0 برابر با صفر باشد حشره یک گام تصادفی ساده بر می دارد. همچنین این حرکت تصادفی می تواند به راحتی با توزیع های دیگر نیز بیان شود. بطوریکه همین نویسنده در [۸] با توجه به نوع حرکت و پرواز واقعی حشرات و حیوانات مختلف که از تابع توزیع Lévy تبعیت می کند، این تابع توزیع را برای حرکت در نظر می گیرد. LFA^۷ الگوریتمی است که در آن برای گام های تصادفی از تابع توزیع Lévy استفاده شده است. تابع توزیع Lévy دارای میانگین و واریانس بی نهایت است و به صورت (۱۰) معرفی می شود:

$$Lévy \propto u = t^{-\lambda}, \quad (1 < \lambda \leq 3) \quad (10)$$

بنابراین تابع حرکت حشره به سمت گونه بهتر در حرکت تصادفی به صورت (۱۱) تغییر می کند:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \text{sign}[\text{rand} - \frac{1}{2}] \oplus Lévy \quad (11)$$

که در آن جهت حرکت تصادفی با تابع sign و طول حرکت با تابع توزیع Lévy تعیین می شود. این تغییر، نتایج امیدبخشی را برای الگوریتم به دنبال داشته است.

در یک مسئله ماکزیم سازی در ساده ترین حالت میزان درخشنده گی I برای هر کدام از حشرات در مکان X می تواند به صورت $I(x) \propto f(x)$ در نظر گرفته شود و یا صورت های دیگر از جذابیت این حشرات می تواند به روشی که در الگوریتم ژنتیک برای تعیین تابع هدف استفاده می شود، تعیین گردد.

ولی میزان جذب β مقداری نسبی هست و به میزان دید حشرات بستگی دارد که به فاصله و نیز میزان جذب نور توسط فضای اطراف بستگی دارد. در ساده ترین حالت این تابع به صورت (۱) تعریف می شود:

$$I(r) = \frac{I_s}{r^2} \quad (1)$$

و چنانچه اثر جذب نور در فضای اطراف در نظر گرفته شود با فرض اینکه γ ضریب جذب محیط است داریم:

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (2)$$

بنابراین تابعی را که هر دو اثر جذب و فاصله را در نظر بگیرد به صورت رابطه (۳) می توان تقریب زد:

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (3)$$

و همین طور با توجه به رابطه مستقیم میزان جذب با میزان درخشنده گی هر حشره داریم:

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (4)$$

به منظور کاهش نرخ تغییرات در تابع جذب و نیز برای محاسبات سریع تر می توان در صورت نیاز این تابع را به صورت (۵) تقریب زد:

$$e^{-\gamma r^2} \approx 1 - \gamma r^2 + \frac{1}{2} \gamma^2 r^4 + \dots, \\ \frac{1}{1 + \gamma r^2} \approx 1 - \gamma r^2 + \gamma^2 r^4 + \dots, \quad (5) \\ \beta = \frac{\beta_0}{1 + \gamma r^2}$$

این دو معادله بالا دارای فاصله مشخصه $\Gamma = 1/\sqrt{\gamma}$ می باشند که در این فاصله تابع نمایی از β_0 تا $\beta_0 e^{-1}$ و در تابع دوم از β_0 تا $\beta_0/2$ تغییر می کند. در اجرای واقعی الگوریتم تابع β با توجه به نوع مسئله می تواند هر تابع نزولی به صورت (۶) در نظر گرفته شود:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}, \quad (m \geq 1) \quad (6)$$

که در این صورت فاصله مشخصه به صورت زیر در می آید:

$$\Gamma = \gamma^{-1/m} \rightarrow 1, \quad m \rightarrow \infty \quad (7)$$

⁶ Random walk

⁷ Lévy-flight Firefly Algorithm

شده است که تعداد ۱۵ تا ۲۰ حشره در هر جمعیت معمولاً کافی است مگر اینکه مسئله پیچیده باشد.

در نهایت این مقاله نتیجه می‌گیرد که الگوریتم حشره شبتاب ابزاری قدرتمند برای حل مسائل سخت بهینه سازی غیر خطی است و برای آینده کار آنالیز حساسیت نسبت به پارامترهای $\alpha, \beta, \gamma, \lambda$ را در این الگوریتم پیشنهاد می‌دهد. هم چنین مطالعات بیشتر به منظور ترکیب این الگوریتم با سایر الگوریتم‌های ابتکاری برای ارائه جواب‌های بهتر پیشنهاد دیگر نویسنده است.

هم چنین [۱۱] از این الگوریتم در مسئله پخش بار اقتصادی استفاده کرده است. مرجع [۱۲] مدلی اصلاح شده برای به کار بردن این الگوریتم در مسائل گسسته پیشنهاد داده است. هم چنین الگوریتم ترکیبی جدیدی مبتنی بر ترکیب الگوریتم FA و الگوریتم مورچگان ارائه شده است.

۳- روش‌های پخش بار جاروب پسر- پیشرو

همانطور که اشاره شد نسبت بالای $\frac{R}{X}$ و همین طور تنگ بودن ماتریس ادمیتانس در سیستم توزیع کاربرد روشهای رایج پخش بار در سیستم قدرت را برای بکارگیری در شبکه توزیع محدود می‌سازد.

روش پخش بار جاروب پسر- پیشرو (B/FS) برای شبکه‌های توزیع شعاعی چنین مشکلاتی ندارد. این روش مبتنی بر اجرای دو فاز پسر و پیشرو به طور تکراری در طول خطوط شبکه‌های شعاعی است. ابتدا اندازه و زاویه ولتاژ همه پست‌ها به ترتیب برابر یک پریونیت و صفر درجه فرض می‌شوند و فاز جاروب پسر اجرا می‌گردد. در این فاز جریان کلیه پست‌ها محاسبه شده سپس الگوریتم با شروع از انتهای خطوط، به محاسبه جریان خطوط بر اساس قانون KCL می‌پردازد و فاز اول به پایان می‌رسد. در فاز دوم (جاروب پیشرو) با شروع از پست مرجع و استفاده از جریان خطوط به دست آمده از فاز اول، افت ولتاژ خطوط بر اساس KVL محاسبه شده و مقدار اندازه و زاویه ولتاژ پست‌های پایین دست اصلاح می‌شوند. فازهای اول و دوم به طور متوالی آنقدر تکرار می‌شوند تا معیار همگرایی ارضا گردد.

۴- روش‌های پخش بار مبتنی بر بهینه سازی

در روش‌های پخش بار مبتنی بر بهینه سازی، اندازه و زاویه ولتاژ پست‌های PQ به عنوان متغیرهای مجهول، به صورت تصادفی مقداردهی می‌شوند. سپس با جایگذاری این مقادیر در رابطه (۱۲)، مقادیر توان اکتیو و راکتیو محاسبه می‌شوند.

$$P_p + jQ_p = \dots \quad (12)$$

$$|V_p| e^{j\delta_p} \sum_q |Y_{pq}| e^{-j\theta_{pq}} \cdot |V_q| e^{-j\delta_q}$$

همچنین پارامتر γ که نشان دهنده میزان تغییر در میزان جذب شوندگی هر کدام از حشرات است، پارامتری تعیین‌کننده در سرعت همگرایی الگوریتم می‌باشد و در تئوری، عددی مثبت بین صفر تا بینهایت می‌باشد اما در یک مسئله عملی با توجه به نوع مسئله و تعیین فاصله مشخصه محاسبه گشته و عملاً عددی بین ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته می‌شود.

این فاصله مشخصه روی جمعیت اولیه تأثیر گذار است. چنانچه از مقادیر نوعی برای Γ استفاده گردد در این صورت باید $n \gg m$ باشد که n تعداد حشرات در هر جمعیت و m تعداد نقاط بهینه محلی است. با تولید جمعیت‌های جدید حشرات به مقادیر محلی همگرا می‌شوند و به این ترتیب جواب ماکزیمم مسئله از بین این پاسخ‌ها انتخاب می‌گردد. در هر حال این الگوریتم بسیار سریع به جواب می‌رسد و تحقیقات نشان می‌دهند که در صورتی که $n \rightarrow \infty$ و $t \gg 1$ این الگوریتم به جواب نهایی حتماً همگرا می‌شود.

یکی دیگر از مزیت‌های این الگوریتم آن است که هر حشره می‌تواند به طور مستقل کار کند و از این جهت برای عملکرد موازی مناسب هستند. این الگوریتم می‌تواند پاسخ بهتری نسبت به هر دو الگوریتم ژنتیک و PSO بدهد به دلیل اینکه در آن تجمع حشرات حول هر نقطه جواب، منسجم‌تر از دو الگوریتم مذکور است. می‌توان گفت تلاقی بین زیر بخش‌ها در پردازش موازی در این الگوریتم حداقل است و به همین جهت جواب‌هایی سریع و کارا می‌دهد [۹].

در [۱۰] مقایسه عملی بین LFA و دو الگوریتم مذکور انجام شده است و برای این مقایسه از چند تابع تست مختلف استفاده شده است. جمعیت اولیه برای هر سه الگوریتم برابر با ۴۰، PSO به فرم استاندارد و بدون اضافه کردن عبارت اینرسی و الگوریتم ژنتیک بدون نخبه‌گرایی و با احتمال برش^۸ برابر ۰/۹۵ و احتمال جهش برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. هر الگوریتم ۱۰۰ بار اجرا و نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مقایسه بین الگوریتم‌های LFA ، PSO و GA [۱۰]

| Functions/Algorithms | GA | PSO | LFA |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Michalewicz (d=16) | 89325 ± 7914(95%) | 6922 ± 537(98%) | 2889 ± 719(100%) |
| Rosenbrock (d=16) | 55723 ± 8901(90%) | 32756 ± 5325(98%) | 6040 ± 535(100%) |
| De Jong (d=256) | 25412 ± 1237(100%) | 17040 ± 1123(100%) | 5657 ± 730(100%) |
| Schwefel (d=128) | 227329 ± 7572(95%) | 14522 ± 1275(97%) | 7923 ± 524(100%) |
| Ackley (d=128) | 32720 ± 3327(90%) | 23407 ± 4325(92%) | 4392 ± 2710(100%) |
| Rastrigin | 110523 ± 5199(77%) | 79491 ± 3715(90%) | 12075 ± 3750(100%) |
| Easom | 19239 ± 3307(92%) | 17273 ± 2929(90%) | 6082 ± 1690(100%) |
| Griewank | 70925 ± 7652(90%) | 55970 ± 4223(92%) | 10790 ± 2977(100%) |
| Yang | 37079 ± 8920(88%) | 19725 ± 3204(98%) | 5152 ± 2493(100%) |
| Shubert (18 minima) | 54077 ± 4997(89%) | 23992 ± 3755(92%) | 9925 ± 2504(100%) |

اعداد جدول نشان دهنده تعداد دفعات ارزیابی تابع هدف بوده و میزان موفقیت هر الگوریتم در اجراهای مختلف برنامه در پراتز آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم LFA بسیار کاراتر و با نرخ موفقیت بیشتر در تمام حالات تست همگرا شده است. هم چنین برنامه برای جمعیت مختلف حشرات مورد ارزیابی قرار گرفته است و نشان داده

⁸ crossover

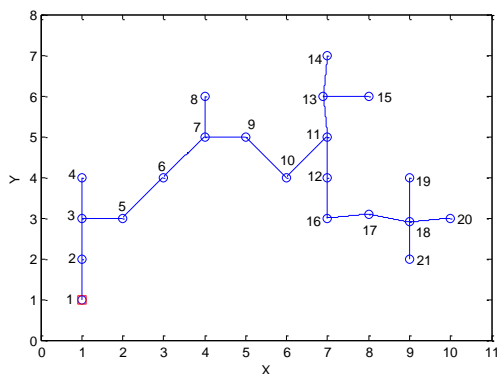
تابع β صورت می‌گیرد، ضریب α با نرخ‌های کاهش یافته^۹ اعمال می‌شود تا پاسخ بهتری نسبت به حالت فعلی برای هر حشره پیدا شود. در واقع چند گام پیش بینی شده را با اعمال ضریبی بین صفر و یک اعمال کرده و در همان جمعیت چنانچه بهبودی در تابع هدف ایجاد شد جمعیت بهبود یافته جایگزین جمعیت قبلی در همان مرحله تولید نسل می‌گردد. در ابتدا این گام تصادفی عددی بزرگ و به مرور زمان این گام کاهش می‌یابد تا جایی که این حرکت تصادفی منجر به یک بهبود در تابع هدف گردد و به این ترتیب یک بهینه‌سازی محلی نیز صورت گرفته است.

همچنین با توجه به اینکه در شبکه توزیع شعاعی انتظار می‌رود با افزایش بار در یک نقطه خاص، زاویه ولتاژ افزایش یابد و همین‌طور با افزایش توان راکتیو افت ولتاژ بیشتری را در شبکه اتفاق افتد، بنابراین در هر مرحله از تولید جمعیت چنانچه بار محاسبه شده از میزان بار واقعی هر نقطه بیشتر باشد، جهت تغییر زاویه دلتا را در جهت خلاف آن تنظیم می‌گردد و به این ترتیب جهت آن نیز مشخص می‌شود.

الگوریتم‌های هوشمند با توجه به اینکه مبتنی بر جمعیت هستند، طبیعتاً از نظر سرعت قابل مقایسه با روشی مانند پخش بار جاروب که بسیار سریع همگرا می‌شود نیستند. هرچند در شبکه‌های پیچیده‌تر که این روش‌ها همگرا نمی‌شوند، روش‌های هوشمند پاسخ پخش بار سیستم را می‌توانند به دست بیاورند. در اینجا برای این کاربرد خاص در شبکه توزیع برای اینکه این تقیصه تا حدی جبران شود در الگوریتم FA از این دو عمل اصلاحی در جهت‌یابی استفاده شده است تا زمان اجرای برنامه کاهش یابد.

۲-۴- شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی صورت گرفته، یک شبکه توزیع ۲۱ باسه مطابق با شکل ۱ با سطح ولتاژ ۱۳/۸ کیلو ولت که از طریق یک پست به صورت شعاعی تغذیه می‌شود، در نظر گرفته شده است. در این شبکه کل بارهای شبکه یکسان و توان اکتیو و راکتیو آنها به ترتیب برابر با ۳۲۰ کیلووات و ۵۰ کیلووار می‌باشد [۱۵].



شکل ۱: شبکه توزیع مورد مطالعه

که در آن $|Y_{pq}|$ و θ_{pq} اندازه و زاویه درایه pq ام ماتریس admittانس شبکه هستند.

در گام بعد، خطای توان اکتیو و راکتیو محاسبه شده و یک تابع هدف به صورت (۱۳) تشکیل می‌شود:

$$\text{Min.} \left\{ \sum_{p=1}^n (P_p - P_p^{sp})^2 + (Q_p - Q_p^{sp})^2 \right\} \quad (13)$$

این تابع هدف که یک مسأله بهینه‌سازی را نمایش می‌دهد، باید مینیمم شود که در اینصورت پاسخ آن همان پاسخ برنامه پخش بار است. مرجع [۱۳] از الگوریتم ژنتیک و مرجع [۱۴] از الگوریتم PSO در حل مسئله پخش بار استفاده کرده‌اند.

۱-۴- پخش بار با استفاده از الگوریتم FA

در الگوریتم FA پیشنهادی برای حل مسئله پخش بار در شبکه ابتدا جمعیتی از حشرات برابر با تعداد متغیرهای اندازه ولتاژ و زوایای ولتاژ تولید می‌شود. بنابراین مکان هر حشره در هر مرحله با توجه به مقادیر اندازه و زاویه باس‌ها سنجیده می‌شود. سپس فاصله بین هر دو حشره i و j (r_{ij}) به صورت (۱۴) تعریف می‌شود:

$$r_{ijv} = \sum_k (|V_{i,k}| - |V_{j,k}|)^2, k = 1, 2, \dots, n_{bus} \quad (14)$$

$$r_{ijd} = \sum_k (|\delta_{i,k}| - |\delta_{j,k}|)^2, k = 1, 2, \dots, n_{bus}$$

تابع هدف نیز با استفاده از روابط مربوط به توان اکتیو و راکتیو باس‌ها در هر جمعیت تولیدی از حشرات شب تاب محاسبه می‌گردد که در رابطه (۱۲) ارائه شده است.

تابع جذب β به صورت (۱۵) در نظر گرفته شده است:

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}} \quad (15)$$

بنابراین میزان حرکت یا تغییر در متغیرهای مجهول در هر مرحله به صورت (۱۶) به دست می‌آید:

$$V_i = (1 - \beta)V_i + \beta V_j \quad (16)$$

$$\delta_i = (1 - \beta)\delta_i + \beta\delta_j$$

در طراحی الگوریتم FA به منظور پخش بار در شبکه، قسمت سوم در رابطه (۹) که همان گام تصادفی در جهت هر کدام از حشرات است، به گونه‌ای به کار رفته که در هر مرحله این گام تصادفی حتماً منجر به یک بهبود در مسیر حرکت حشره گردد. این کار به این صورت انجام می‌شود که بعد از حرکت حشره به سمت حشره درخشان‌تر که با توجه به

^۹ Dec_rate

۵- نتایج

در این مقاله ابتدا روش‌های معمول پخش بار در شبکه توزیع و محدودیت‌های هرکدام از آنها به طور خلاصه بررسی شده‌اند. روش‌های جدیدتر پخش بار این مسئله را به صورت یک تابع بهینه سازی مدل کرده و از الگوریتم‌های هوشمند برای حل آن استفاده می‌کنند. الگوریتم حشره شب‌تاب که یکی از این الگوریتم‌های جدید هوشمند است و مبتنی بر رفتار واقعی حشرات شب‌تاب عمل می‌کند، ابتدا معرفی شده و سپس نحوه استفاده از آن در حل مسئله پخش بار مدل‌سازی شده است. روش پخش بار جاروب پسر-پیشرو با اینکه به عنوان معمول‌ترین روش پخش بار در شبکه‌های شعاعی به کار می‌رود ولی نتایج شبیه سازی با الگوریتم پیشنهادی نشان می‌دهد با افزایش بار شبکه الگوریتم حشره شب‌تاب جواب بهتری نسبت به روش پسر-پیشرو می‌دهد. این مسئله در مطالعات مربوط به پایداری شبکه که سطح بارگذاری شبکه باید به درستی مشخص شود حائز اهمیت است. بنابراین اگرچه الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت دیرتر همگرا می‌شوند اما در مواردی جواب دقیق‌تری را به همراه دارند.

مراجع

- [1] S.K. Chang and V. Bradwain, "Adjusted solutions in fast decoupled," IEEE Trans. Power & Apparatus, 1983.
- [2] C. Rajdijc and A. Bose, "A modification to fast decoupled power flow for network with high R/X," IEEE Trans. Power & Apparatus, 1981.
- [3] S. Ivamoto and Y. Tamura, "A load flow calculation method for ill condition power system," IEEE Trans. Power & Apparatus, 1981.
- [4] M. Dehnel and H. W. Domel, "A method for identifying weak nodes in nonconvex load flow," IEEE Trans. Power & Apparatus, Vol. 4, No. 2, 1989.
- [5] T.A.Short, Electric power distribution handbook. CRC Press, 2004.
- [6] P. Acharjee and S.K. Goswami, "Simple but reliable two-stage GA based load flow," Electric Power Components and Systems, vol. 36, no. 1, pp. 47-62, 2008.
- [7] X. S. Yang, Nature-inspired metaheuristic algorithms. Luniver Press, 2008.
- [8] X. S. Yang, "Firefly algorithm, Levy flights and global optimization," Research and Development in Intelligent Systems XXVI, Springer, London, UK, pp. 209-218, 2010.
- [9] X. S. Yang, Engineering optimization: An introduction with metaheuristic applications, John Wiley & Sons, 2010.
- [10] X. S. Yang, "Firefly algorithms for multimodal optimization," Proceedings of the Stochastic Algorithms: Foundations and Applications (SAGA '09), Springer, Sapporo, Japan, pp. 178-178, Oct. 2009.
- [11] T. Apostolopoulos and A. Vlachos, "Application of the Firefly algorithm for solving the economic emissions load dispatch problem," International Journal of Combinatorics, 2011.
- [12] K.I Durkota, "Implementation of a discrete firefly algorithm for the QAP problem within the SEAGE framework," Bachelor Thesis, Czech Technical University, Prague, May 2011.
- [13] D. Chakraborty, C.P. Sharma, B. Das, K. Abhishek and T. Malakar, "Distribution load flow solution using genetic algorithm", 3rd IEEE Int. Conf. Power Syst., Kharagpur, India, Dec. 2009.
- [14] P. Acharjee, and S.K. Goswami, "Chaotic particle swarm optimization based reliable algorithm to overcome the limitations of conventional power flow methods," IEEE/PES Power Syst. Conf. and Exposition (PSCE), pp. 1-7, March 2009.
- [15] E. G. Carrano, F. G. Guimaraes, R. H. C. Takahashi, O. M. Neto, and F. Campelo, "Electric distribution network expansion under load evolution uncertainty using an immune system inspired algorithm: simulation data," Tech. Rep. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

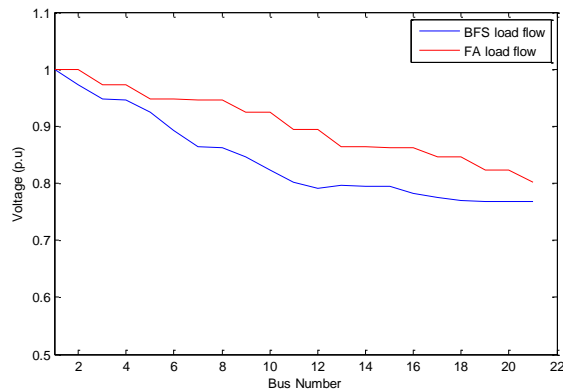
پارامترهای مورد نیاز برای الگوریتم FA در مسئله پخش بار در جدول

۲ نشان داده شده است:

جدول ۲: پارامترهای الگوریتم پیشنهادی در حل مسئله پخش بار

| pop_size | β_0 | γ | Dec_rate |
|----------|-----------|----------|----------|
| 2 | 1 | 10 | 0.5 |

ابتدا پخش بار در حالت عادی شبکه با استفاده از هر دو الگوریتم پسر-پیشرو و حشره شب‌تاب انجام شده است. شکل ۲ نتیجه این پخش بار را نشان می‌دهد.



شکل ۲: اندازه ولتاژ باس‌ها در سطح بار عادی شبکه

در مرحله بعد بار شبکه به تدریج افزایش یافته و پخش بار در هر حالت شبیه‌سازی شده است. در هر سطح بار خطای پخش بار با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: خطای پخش بار با افزایش سطح بار

| ضریب سطح بار | خطای پخش بار جاروب پسر-پیشرو | خطای پخش بار الگوریتم پیشنهادی |
|--------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 7.0237×10^{-15} | 9.9845×10^{-7} |
| 1.2 | 6.8397×10^{-14} | 3.2505×10^{-6} |
| 1.4 | 1.287×10^{-15} | 2.4914×10^{-5} |
| 1.5 | 6.6680×10^{-13} | 1.5684×10^{-6} |
| 1.51 | 0.0251 | 1.0068×10^{-4} |
| 1.52 | 0.1429 | 7.0821×10^{-4} |
| 1.53 | 0.2381 | 0.0022 |
| 1.54 | 0.2981 | 0.0045 |

همان‌طور که در جدول مذکور مشخص است در ابتدا روش پسر-

پیشرو جواب بهتری می‌دهد ولی در سطح بار ۱/۵، الگوریتم پسر-پیشرو جواب نامعتبری می‌دهد و این در حالیست که الگوریتم پیشنهادی همچنان قادر به پیدا کردن جواب مسئله پخش بار می‌باشد. این روند تا ضریب ۱/۵۲ ادامه می‌یابد ولی از سطح بار بیشتر از ۱/۵۳ هر دو الگوریتم واگرا می‌شوند.