



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی  
دانشکده فنی و مهندسی  
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد  
مهندسی سیستم های انرژی - گرایش تکنولوژی انرژی

عنوان :

# **دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند**

**هدفه**

استاد راهنما اول :  
دکترواصفی

دانشجو:  
سید مهدی موسوی

تابستان ۱۳۹۹

سپاسگزاری:

از دست و زبان که برآید

کز عهده شکرش به درآید

بنام یگانه حسابدار حسابرس که ترازنامه سند اندوخته هر کس - به رس - مابسازی برایش تدوین می کند و مالیاتی اضافه بردارایی او  
و اندوخته هایش نخواهد بست و تلفیقی بدون محافظه کاری و رضایت طرفین صورت نخواهد داد. بر خود لازم می دانم از زحمات  
بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های ارزشمند استاد راهنما دکتر و اصفی در راستای انجام این رساله شکر و قدردانی نمایم.

## تقدیم به :

ساحت مقدس صاحب الزمان (عج) و

### پدر و مادر

که در مسیر پرپیچ و خم زندگی ، مشعل امید را در شب های زندگییم به ارمغان آوردند.  
ویاری سبز شان همواره و بی منت، امید بخش ویاری دهنده در تمام زندگییم بوده است.  
باشد که توانسته باشم قطره ای از دریای بی کران محبت هایشان را سپاس گفته باشم .

## چکیده

با توسعه جامعه ما تقاضای نیرو و سرانه مصرف انرژی نیز افزایش یافته است. برای تولید این تقاضا، تولید برق رو به افزایش است که این امر منجر به افزایش آلودگی نیز می‌شود. در حال حاضر، نیاز به تحقیقات در مورد کاهش میزان آلاینده‌های واحدهای تولید سوخت فسیلی محسوس تر شده است. بهینه سازی ابزاری مناسب برای حل چنین مسایلی است که به طور مؤثر در حوزه های پخش بار بهینه مانند عملکرد سیستم قدرت، برنامه ریزی، تجزیه و تحلیل و مدیریت انرژی استفاده می شود. در عملیات سیستم و برنامه ریزی سیستم، پخش بار بهینه بهترین گزینه است زیرا امکان دستیابی به عملکردهای چند هدفه را فراهم می کند. در پایان نامه حاضر راه حل مساله بهینه پخش انرژی از طریق الگوریتم ازدحام ذرات ارائه می‌شود. هدف در این پایان نامه این است که هزینه کل سوخت تولید شده و آلودگی محیط زیست ناشی از واحدهای تولید برق بر اساس فسیل ها به حداقل برسد. تجزیه و تحلیل عملکرد مساله دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو با استفاده از تکنیک بهینه سازی ازدحام ذرات با بررسی ترکیبات مختلف مقادیر پارامترهای مرتبط انجام می‌گردد. مشکل چند هدفه از به حداقل رساندن هزینه تولید برق و گازها ( $SO_2$ ،  $CO_2$ ،  $NO_x$ ) توسط الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه حل شد. مساله مدنظر برای شبکه ۳۰ باسه IEEE با ۶ ژنراتور در محیط متلب پیاده سازی شد. در این پایان نامه چهار هدف به حداقل رساندن هزینه تولید برق، به حداقل رساندن انتشار گاز  $CO_2$ ، به حداقل رساندن انتشار گاز  $SO_2$  و به حداقل رساندن انتشار گاز  $NO_x$  در نظر گرفته شد. برای حل تابع چند هدفه مطرح شده به ازای ضرایب وزنی مختلف از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده شد. رویکرد دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه بر روی یک سیستم اتوبوس IEEE-30 ۶ ژنراتور اجرا و آزمایش شد. برای حل تابع چند هدفه مطرحه به ازای ضرایب وزنی مختلف از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده شده است. ۱۰ حالت مختلف وزنها در نظر گرفته شده و هزینه تولید برق و انتشار گاز  $CO_2$ ، انتشار گاز  $SO_2$ ، انتشار گاز  $NO_x$  به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات برای هر ۱۰ حالت بدست آمد و به نمایش در آمد. بین ۱۰ حالت آزمایش شده حالت بهینه انتخاب انتخاب گردید و دیسپاچینگ توان اکتیو و مقدار توان تولیدی ژنراتورها در سیستم ۳۰ باسه که توسط الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است برای آن به نمایش در آمد.

## فهرست مطالب

| عنوان   | صفحه |
|---|------|
| فصل اول: مقدمه  |      |
| ۱-۱- بیان مساله.....  | ۲    |
| ۲-۱- ضرورت تحقیق.....   | ۵    |
| ۳-۱- نوآوری تحقیق.....  | ۵    |
| فصل دوم: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)                      |      |
| ۱-۲- الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات.....                             | ۸    |
| ۱-۱-۲- مبناء الگوریتم ازدحام ذرات.....                              | ۸    |
| ۲-۱-۲- مبناء مدل الگوریتم PSO.....                                  | ۸    |
| ۳-۱-۲- بهترین موقعیت کلی.....                                       | ۱۱   |
| ۴-۱-۲- بهترین موقعیت محلی (LBEST) PSO.....                          | ۱۴   |
| ۵-۱-۲- مقایسه GBEST با LBEST.....                                   | ۱۶   |
| ۲-۲- پارامترهای الگوریتم PSO.....                                   | ۱۶   |
| ۱-۲-۲- اندازه گروه.....   | ۱۶   |
| ۲-۲-۲- تعداد تکرارها.....   | ۱۷   |
| ۳-۲-۲- مؤلفه های سرعت.....  | ۱۷   |
| ۴-۲-۲- ضریب شتاب.....   | ۱۸   |
| ۳-۲- مثال‌های هندسی PSO.....  | ۱۹   |
| ۴-۲- وضعیت جغرافیایی همسایگی.....                                   | ۲۲   |
| ۵-۲- مزایا و معایب PSO.....   | ۲۴   |
| ۶-۲- تجزیه و تحلیل عملی مشخصات PSO.....                             | ۲۵   |
| ۱-۶-۲- نرخ بهبود همگرایی.....                                       | ۲۵   |
| ۱-۶-۲- محدود کردن سرعت.....   | ۲۶   |
| ۲-۶-۲- وزن اینرسی.....  | ۲۹   |
| ۳-۶-۲- ضریب انقباض.....   | ۳۱   |
| ۲-۶-۲- شرایط مرزی.....  | ۳۳   |
| ۳-۶-۲- PSO با همگرایی تضمین شده (CPSO).....                         | ۳۷   |
| ۴-۶-۲- مقداردهی اولیه، معیار توقف، ترمهای تکرار و ارزیابی تابع..... | ۴۰   |

- ۴۱ ..... ۱-۴-۶-۲- مقدار دهی اولیه
- ۴۲ ..... ۲-۴-۶-۲- ترم‌های تکرار و ارزیابی تابع
- ۴۲ ..... ۳-۴-۶-۲- شرایط توقف
- ۴۳ ..... ۷-۲- مروری بر کارهای انجام شده

#### فصل سوم: فرموله کردن مساله و سیستم ۳۰ باسه IEEE

- ۴۷ ..... ۱-۳- فرموله کردن مساله
- ۴۹ ..... ۲-۳- قیود مساله
- ۴۹ ..... ۱-۲-۳- قید مساوی
- ۴۹ ..... ۳-۲-۲- قید نامساوی
- ۵۳ ..... ۳-۳- فرضیات تحقیق

#### فصل چهارم: پیاده‌سازی و بررسی نتایج

- ۵۵ ..... ۱-۴- کلیات پیاده‌سازی
- ۵۸ ..... ۲-۴- سیستم تحت مطالعه
- ۵۹ ..... ۳-۴- داده های مورد نیاز
- ۶۱ ..... ۴-۴- نتایج پیاده سازی
- ۶۱ ..... ۴-۴- ۱- حالت اول ضرایب وزنی
- ۶۲ ..... ۴-۴- ۲- حالت دوم ضرایب وزنی
- ۶۲ ..... ۴-۴- ۳- حالت سوم ضرایب وزنی
- ۶۳ ..... ۴-۴- ۴- حالت چهارم ضرایب وزنی
- ۶۳ ..... ۴-۴- ۵- حالت پنجم ضرایب وزنی
- ۶۴ ..... ۴-۴- ۶- حالت ششم ضرایب وزنی
- ۶۵ ..... ۴-۴- ۷- حالت هفتم ضرایب وزنی
- ۶۵ ..... ۴-۴- ۸- حالت هشتم ضرایب وزنی
- ۶۶ ..... ۴-۴- ۹- حالت نهم ضرایب وزنی
- ۶۷ ..... ۴-۴- ۱۰- حالت دهم ضرایب وزنی
- ۶۷ ..... ۴-۴- ۱۱- حالت بهینه ضرایب وزنی

#### فصل پنجم: جمع بندی

- ۷۱ ..... ۱-۵- جمع بندی
- ۷۳ ..... ۲-۵- پیشنهادات



منابع ..... ۷۵

#### پیوست ها

پیوست الف - کد متلب برای الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ..... ۸۰

## فهرست جداول

| عنوان   | صفحه |
|---|------|
| جدول ۳-۱- داده های باس سیستم ۳۰ باس.....  | ۵۱   |
| جدول ۳-۲- داده های خطوط سیستم ۳۰ باسه.....  | ۵۲   |
| جدول ۴-۱- ضرایب هزینه سوختی سیستم.....  | ۵۹   |
| جدول ۴-۲- ضرایب انتشار گاز CO <sub>2</sub> در سیستم.....                                      | ۵۹   |
| جدول ۴-۳- ضرایب انتشار گاز SO <sub>2</sub> در سیستم.....                                      | ۶۰   |
| جدول ۴-۴- ضرایب انتشار گاز NOX در سیستم.....  | ۶۰   |
| جدول ۴-۵- پارامترهای الگوریتم PSO.....  | ۶۰   |
| جدول ۴-۶- ضرایب وزنی حالت اول.....  | ۶۱   |
| جدول ۴-۷- ضرایب وزنی حالت اول و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....    | ۶۱   |
| جدول ۴-۸- ضرایب وزنی حالت دوم.....  | ۶۲   |
| جدول ۴-۹- ضرایب وزنی حالت دوم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....    | ۶۲   |
| جدول ۴-۱۰- ضرایب وزنی حالت سوم.....   | ۶۲   |
| جدول ۴-۱۱- ضرایب وزنی حالت سوم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....   | ۶۳   |
| جدول ۴-۱۲- ضرایب وزنی حالت چهارم.....   | ۶۳   |
| جدول ۴-۱۳- ضرایب وزنی حالت چهارم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها..... | ۶۳   |
| جدول ۴-۱۴- ضرایب وزنی حالت پنجم.....  | ۶۴   |
| جدول ۴-۱۵- ضرایب وزنی حالت پنجم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....  | ۶۴   |
| جدول ۴-۱۶- ضرایب وزنی حالت ششم.....   | ۶۴   |
| جدول ۴-۱۷- ضرایب وزنی حالت ششم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....   | ۶۵   |
| جدول ۴-۱۸- ضرایب وزنی حالت هفتم.....  | ۶۵   |
| جدول ۴-۱۹- ضرایب وزنی حالت هفتم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....  | ۶۵   |
| جدول ۴-۲۰- ضرایب وزنی حالت هشتم.....  | ۶۶   |
| جدول ۴-۲۱- ضرایب وزنی حالت هشتم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....  | ۶۶   |
| جدول ۴-۲۲- ضرایب وزنی حالت نهم.....   | ۶۶   |
| جدول ۴-۲۳- ضرایب وزنی حالت نهم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....   | ۶۷   |
| جدول ۴-۲۴- ضرایب وزنی حالت دهم.....   | ۶۷   |
| جدول ۴-۲۵- ضرایب وزنی حالت دهم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها.....   | ۶۷   |

|   |    |
|---|----|
| جدول ۴-۲۶- حالت های مختلف ضرایب وزنی و نتایج بهینه بدست آمده برای آن ها برای هزینه سوختی و انتشار گازها ..... | ۶۸ |
| جدول ۴-۲۷- ضرایب وزنی حالت بهینه .....  | ۶۹ |
| جدول ۴-۲۸- توان بدست آمده خروجی ژنراتورها .....   | ۶۹ |
| جدول ۵-۱- ضرایب بهینه بدست آمده دیسپاچینگ توان اکتیو و مقدار توان تولیدی ژنراتورها در سیستم ۳۰                |    |
| باسه که توسط الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده .....  | ۷۳ |

## فهرست اشکال

| عنوان   | صفحه |
|---|------|
| شکل ۱-۲- رسم تابع $F_2, F_1$ .....  | ۹    |
| شکل ۲-۲- سرعت و موقعیت بروز شده برای یک ذره در فضای جستجوی دو بعدی.....   | ۲۰   |
| شکل ۳-۲- سرعت و موقعیت بروز شده برای چند ذره در GBESTPSO.....   | ۲۰   |
| شکل ۲-۴- سرعت و موقعیت بروز شده برای چند ذره در LBESTPSO.....   | ۲۱   |
| شکل ۲-۵- وضعیت جغرافیایی همسایگی ها.....  | ۲۳   |
| شکل ۲-۶- نشان دهنده تاثیر محدود کردن سرعت یک ذره در یک فضای جستجوی دو بعدی.....   | ۲۷   |
| شکل ۲-۷- شرایط مرزی گوناگون در PSO.....   | ۳۴   |
| شکل ۲-۸- شش اوضاع مرزی مختلف برای یک فضای جستجو دو بعدی $XX'$ و $VV'$ نمایش می دهد که موقعیت بهبودی و سرعت به طور مجزا و! یک عامل تصادفی [۱ و ۰] هست..... | ۳۵   |
| شکل ۳-۱- سیستم ۳۰ باسه IEEE.....  | ۵۱   |
| شکل ۴-۱- سیستم ۳۰ باسه IEEE.....  | ۵۸   |

## فهرست فلوچارت

| صفحه | عنوان                   |
|------|-------------------------|
| ۱۳   | فلوچارت ۱-۲ - GBEST PSO |
| ۱۵   | فلوچارت ۲-۲ - LBEST PSO |

# **فصل اول:**

## **مقدمه**

## ۱-۱- بیان مساله

مساله دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو به عنوان فرایند اختصاص تولید به واحدهای تولید انرژی تعریف می‌شود، به طوری که نتایج اقتصادی تری فراهم گردد. در استراتژی دیسپاچینگ اقتصادی، هزینه کار از طریق تخصیص مناسب مقدار انرژی که باید توسط واحدها تولید شود کاهش می‌یابد. با توسعه جامعه ما تقاضای نیرو و سرانه مصرف انرژی نیز افزایش یافته است. برای تولید این تقاضا، تولید برق رو به افزایش است که این امر منجر به افزایش آلودگی نیز می‌شود. در حال حاضر، نیاز به تحقیقات در مورد کاهش میزان آلاینده های واحدهای تولید سوخت فسیلی محسوس‌تر شده است. مهندسان برق در حال حاضر برای رفع تقاضای بار و به حداقل رساندن خطرات زیست‌محیطی با مشکلات تولید انرژی کارآمد روبرو هستند. بهینه‌سازی ابزاری مناسب برای حل چنین مسایلی است که به طور مؤثر در حوزه‌های پخش بار بهینه مانند عملکرد سیستم قدرت، برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل و مدیریت انرژی استفاده می‌شود. در عملیات سیستم و برنامه ریزی سیستم، پخش بار بهینه بهترین گزینه است زیرا امکان دستیابی به عملکردهای چند هدفه را فراهم می‌کند. همچنین باعث می‌شود محاسبات و تصمیم‌گیری سریع و آسان شود. بنابراین، پخش بار بهینه در اینجا به حداقل رساندن تولید اقتصادی و به حداقل رساندن اثرات مضر زیست‌محیطی مانند دفع گاز از نیروگاه اشاره دارد.

در این پایان‌نامه راه‌حل مساله بهینه پخش انرژی از طریق الگوریتم هوش مصنوعی ارائه

خواهد شد. هدف در این پایان‌نامه این است که هزینه کل سوخت تولید شده و آلودگی محیط‌زیست ناشی از واحدهای تولید برق بر اساس فسیل‌ها به حداقل برسد. تجزیه و تحلیل عملکرد این مساله دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی ازدحام ذرات با بررسی ترکیبات مختلف مقادیر پارامترهای مرتبط انجام می‌شود. مشکل چند هدفه از به حداقل رساندن هزینه تولید برق و گازها (NOx، CO2، SO2) توسط یک الگوریتم هوشمند حل می‌شود. برای یافتن راه حل بهینه از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه استفاده می‌شود. مساله مدنظر برای شبکه ۳۰ باسه IEEE با ۶ ژنراتور در محیط متلب پیاده‌سازی شده و نتایج آن تحلیل خواهد شد.

تولید سوخت فسیلی آلاینده‌های مختلفی مانند دی اکسید گوگرد (SO2)، اکسیدهای نیتروژن (NOx) و دی اکسید کربن (CO2) را در جو آزاد می‌کند. آلودگی جوی نه تنها انسان بلکه سایر اشکال زندگی مانند حیوانات، پرندگان، ماهی و گیاهان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین باعث آسیب به مواد، کاهش دید و ایجاد گرم شدن کره زمین می‌شود. به حداقل رساندن همه این گازها با به حداقل رساندن هزینه، یک مشکل چند هدف را تشکیل می‌دهد.

### ۱- به حداقل رساندن هزینه تولید برق

هزینه هر ژنراتور تولید شده توسط سوخت‌های فسیلی می‌تواند به عنوان یک تابع درجه دوم تنها از نظر ضریب توان واقعی و هزینه بیان شود:

$$F(1) = \sum_{i=1}^{NG} a_i P g_i^2 + b_i P g_i + c_i (\$/h) \quad (1-1)$$



## ۲- به حداقل رساندن انتشار گاز SO2

انتشار گازهای گلخانه‌ای SO2 حاصل از سوخت‌های فسیلی می‌تواند به عنوان یک تابع

درجه دوم بیان شود:

$$F(2) = \sum_{i=1}^{NG} l_i P g_i^2 + m_i P g_i + n_i (kg/h) \quad (2-1)$$

## ۳- به حداقل رساندن انتشار گاز CO2

انتشار گازهای گلخانه‌ای CO2 حاصل از سوخت‌های فسیلی می‌تواند به عنوان یک تابع

درجه دوم بیان شود:

$$F(3) = \sum_{i=1}^{NG} x_i P g_i^2 + y_i P g_i + z_i (kg/h) \quad (3-1)$$

## ۴- به حداقل رساندن انتشار گاز NOx

انتشار گازهای گلخانه‌ای NOx حاصل از سوخت‌های فسیلی می‌تواند به عنوان یک

تابع درجه دوم بیان شود:

$$F(4) = \sum_{i=1}^{NG} d_i P g_i^2 + e_i P g_i + f_i (kg/h) \quad (4-1)$$

تابع هدف کلی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$F = w_1 * F(1) + w_2 * F(2) + w_3 * F(3) + w_4 * F(4) \quad (5-1)$$

## ۱-۲- ضرورت تحقیق

مساله دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو همچنین به عنوان فرایند اختصاص تولید به واحدهای تعریف می‌شود، به طوری که کل سیستم بار از نظر اقتصادی تری فراهم می‌شود. استراتژی دیسپاچینگ اقتصادی، هزینه کار از طریق تخصیص مناسب مقدار انرژی که باید توسط واحدها تولید شود کاهش می‌یابد. با توسعه جامعه ما تقاضای نیرو و سرانه مصرف انرژی نیز افزایش یافته است. برای تولید این تقاضا، تولید برق رو به افزایش است که این امر منجر به افزایش آلودگی نیز می‌شود. در حال حاضر، نیاز به تحقیقات در مورد کاهش میزان آلاینده‌های واحدهای تولید سوخت فسیلی محسوس‌تر شده است. مهندسان برق در حال حاضر برای رفع تقاضای بار و به حداقل رساندن خطرات زیست‌محیطی با مشکلات تولید انرژی کارآمد روبرو هستند. بهینه‌سازی ابزاری مناسب برای حل چنین مسایلی است که به طور مؤثر در حوزه‌های پخش بار بهینه مانند عملکرد سیستم قدرت، برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل و مدیریت انرژی استفاده می‌شود. در عملیات سیستم و برنامه‌ریزی سیستم، پخش بار بهینه بهترین گزینه است زیرا امکان دستیابی به عملکردهای چند هدفه را فراهم می‌کند. همچنین باعث می‌شود محاسبات و تصمیم‌گیری سریع و آسان شود. بنابراین، پخش بار بهینه به منظور حداقل رساندن تولید اقتصادی و به حداقل رساندن اثرات مضر زیست محیطی مانند دفع گاز از نیروگاه یک مساله مهم است که در این پایان‌نامه بدان پرداخته می‌شود.

## ۱-۳- نوآوری تحقیق

با توسعه جامعه ما تقاضای نیرو و سرانه مصرف انرژی نیز افزایش یافته است. برای تولید این تقاضا، تولید برق رو به افزایش است که این امر منجر به افزایش آلودگی نیز می‌شود. در

حال حاضر، نیاز به تحقیقات در مورد کاهش میزان آلاینده‌های واحدهای تولید سوخت فسیلی محسوس‌تر شده است. بهینه‌سازی ابزاری مناسب برای حل چنین مسایلی است که به طور مؤثر در حوزه‌های پخش بار بهینه مانند عملکرد سیستم قدرت، برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل و مدیریت انرژی استفاده می‌شود. در عملیات سیستم و برنامه ریزی سیستم، پخش بار بهینه بهترین گزینه است زیرا امکان دستیابی به عملکردهای چند هدفه را فراهم می‌کند. در این پایان‌نامه راه حل مساله بهینه پخش انرژی از طریق الگوریتم ازدحام ذرات ارائه شد. هدف در این پایان‌نامه این است که هزینه کل سوخت تولید شده و آلودگی محیط زیست ناشی از واحدهای تولید برق بر اساس فسیل‌ها به حداقل برسد. تجزیه و تحلیل عملکرد این مساله دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی ازدحام ذرات با بررسی ترکیبات مختلف مقادیر پارامترهای مرتبط انجام گردید. مشکل چند هدفه از به حداقل رساندن هزینه تولید برق و گازها ( $CO_2$ ,  $NO_x$ )،  $SO_2$ ) توسط الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه حل شد.

## **فصل دوم :**

### **الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)**

## ۲-۱-۱ الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات

### ۲-۱-۱-۱ مبنا الگوریتم ازدحام ذرات

این بخش بطور کلی یک دید مفهومی در مورد الگوریتم PSO و استراتژی انتخاب پارامترهای آن، نمایش هندسی و توپولوژی همسایگی‌ها، مزایا و معایب PSO و بیان ریاضی را ارائه می‌دهد.

### ۲-۱-۲-۱ مبنا مدل الگوریتم PSO<sup>۱</sup>

کندی<sup>۲</sup> و ابر هارت<sup>۳</sup> اولین بار برای حل مسائل پیچیده غیر خطی بهینه‌سازی با مشاهده رفتار مجموعه ذرات را ارائه دادند. آنها مفهوم بهینه‌سازی تابعشان را بوسیله گروه دسته جمعی ذرات بوجود آوردند [۱۶]. بهینه کردن کلی یک تابع  $n$  بعدی که توسط رابطه زیر تعریف می‌شود را در نظر بگیرید.

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = f(X) \quad (2-1)$$

که در رابطه بالا  $x_i$  یک متغیر جستجو می‌باشد، که مجموعه متغیرهای مستقل یک تابع معین را بیان می‌کند. هدف پیدا کردن مقداری برای  $x^*$  است به گونه‌ای که  $f(x^*)$  ماکزیمم یا

---

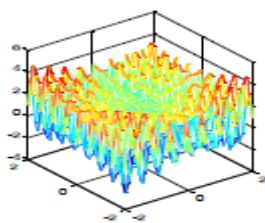
1 Particle Swarm Optimization  
2 Kennedy  
3 Eberhart

مینیمم در فضای جستجو باشد.

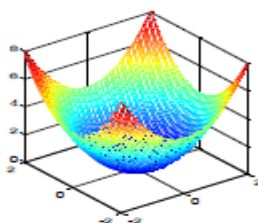
توابع زیر را در نظر بگیرید:

$$f_1 = x_1^2 + x_2^2 \quad (2-2)$$

$$f_2 = x_1 \sin(4\pi x_2) - x_2 \sin(4\pi x_1 + \pi) + 1 \quad (3-2)$$



مدل تک نمایی (a)



مدل چند نمایی (b)

شکل ۲-۱- رسم تابع  $f_2, f_1$  [۱۶]

چنان که شکل ۲-۱ (a) نشان می‌دهد مینیمم کلی تابع  $f_1$  در  $(x_1, x_2) = (0, 0)$  هست (یعنی مبداء تابع  $f_1$ ). که این تابع فقط یک مینیمم دارد. اما بدیهی است که یافتن بهینه کلی برای توابعی با مدل چندین نقطه مینیمم محلی آسان نیست.

شکل ۲-۱ (b) تابع  $f_2$  را نشان می‌دهد که دارای فضای جستجوی با مینیمم های محلی چندگانه هست. بنابراین از نقاط مختلفی باید جستجو انجام گیرد تا حداقل یکی از این جستجوها به جواب بهینه کلی برسد. در طول این فرآیند تمام ذرات می‌توانند ارتباط برقرار کنند و اطلاعاتشان را در میان خودشان به اشتراک بگذارند [۱۷].

الگوریتم ازدحام ذرات (psa) یک تکنیک جستجوی موازی چند عاملی است که در آن هیچ یک از ذرات حذف نمی‌شوند و مرتب موقعیتشان تغییر کرده و بهبود می‌یابد. همه ذرات در فضای جستجوی چند بعدی پرواز می‌کنند که هر ذره موقعیتش را بر حسب تجربه خود و همسایه‌گانش تنظیم می‌کند.

فرض کنید  $x_i^t$  بردار موقعیت ذره  $i$  در فضای جستجوی چندبعدی را مشخص می‌کند (برای مثال  $R^n$ ) در مرحله زمانی  $t$  که موقعیت هر ذره در فضای جستجو بوسیله فرمول زیر بهنگام می‌شود:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \text{ با } x_i^0 \sim u(x_{min}, x_{max}) \quad (4-2)$$

$v_i^t$  بردار سرعت ذره  $i$  هست که جهت حرکت ذره را بر اساس تجربه خود ذره و تجربه سایر ذرات منعکس می‌کند.

$u(x_{min}, x_{max})$  توزیع یکنواخت هست که  $x_{min}$  و  $x_{max}$  به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار هستند.

بنابراین در روش psa به همه ذرات به صورتی تصادفی وارد شده و بر اساس تابع برازندگی<sup>۱</sup> ارزیابی می‌شوند و بر اساس بهترین موقعیت خودشان و بهترین موقعیت ذرات در گروهشان بهبود می‌یابند. در این الگوریتم در هر تکرار یک بهبود انجام می‌شود. در هر تکرار ابتدا سرعت بهبود یافته و پس از آن به کمک سرعت بهترین جواب شخصی و بهترین جواب گروهی بدست می‌آید [۱۸].

به طور اساسی دو روش PSO به نام‌های بهترین موقعیت کلی<sup>۱</sup> و بهترین موقعیت محلی<sup>۲</sup>، با تفاوت در اندازه‌های همسایگی‌شان توسعه داده شده اند. این الگوریتم‌ها به ترتیب در قسمت ۱-۲-۲ و ۲-۲-۲ مطرح شده اند.

## ۲-۱-۳- بهترین موقعیت کلی

بهترین موقعیت کلی (gbestPso) یک روشی است که موقعیت هر ذره تحت تاثیر بهترین موقعیت ذره در تمام گروه است، که اطلاعات دسته جمعی از همه ذرات در تمام گروه از توپولوژی شبکه‌ای دسته جمعی ستاره‌ای قسمت (۲-۵) بدست آمده است [۱۹] [۲۰]. در این روش هر ذره اختصاصی،  $n$  و .... و  $i \in [1, n]$  بطوریکه  $n > 1$ ، یک موقعیت فعلی در فضای جستجوی  $X_i$  سرعت فعلی  $V_i$  و بهترین موقعیت شخصی در فضای جستجو  $p_{best,i}$  را دارد.

بهترین موقعیت شخصی<sup>۳</sup>، برابر است با موقعیت در فضای جستجویی که ذره  $i$  کمترین ارزش را دارد و بوسیله تابع هدف  $f$  با در نظر گرفتن مسئله مینیم‌سازی تعیین شده است. بهترین موقعیت شخصی  $p_{best,i}$  که بهترین موقعیت کلی نامیده می شود بوسیله  $G_{best}$  مشخص می‌شود [۲۱].

معادله‌های (۲-۵) و (۲-۶) به ترتیب بهنگام شدن ارزش شخصی و کلی را بیان می‌کند. با در نظر گرفتن مسئله مینیم‌سازی، بهترین موقعیت شخصی  $p_{best,i}$  مرحله زمانی بعدی،  $t+1$ ، که  $t \in [0, \dots, N]$  به صورت زیر محاسبه می‌شود.

- 
1. Global Best PSO
  2. Local Best PSO
  3. Personal Best Position



$$P_{best(i)}^{t+1} = \begin{cases} P_{best(i)}^t & \text{اگر } \begin{cases} f(x_i^{t+1}) > P_{best(i)}^t \\ f(x_i^{t+1}) > P_{best(i)}^t \end{cases} \\ x_i^{t+1} & \end{cases} \quad (5-2)$$

$F: R^n \rightarrow R$  یک تابع برازندگی است. بهترین موقعیت کلی  $G_{best}$  در مرحله زمانی  $t$  به

صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$G_{best} = \min\{P_{best}\} \text{ که } i \in [1, \dots, n], n > 1 \quad (6-2)$$

بنابراین مهم است که از بهترین موقعیت‌های شخصی  $p_{best}$  که بهترین موقعیتی است که

ذره شخصی  $i$  از اولین مرحله زمانی ملاقات می‌کند یادداشت برداریم. از طرف دیگر بهترین

موقعیت کلی  $G_{best}$  بهترین موقعیت هست که بوسیله هیچکدام از ذرات در تمام گروه کشف

نمی‌شود [۲۰].

برای روش gbestpsو سرعت ذره  $i$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{ij}^{t+i} = V_{ij}^{t+i} + C_1 r_{1j}^t [p_{besti}^t - x_{ij}^t] + C_2 r_{2j}^t [G_{best} - x_{ij}^t] \quad (7-2)$$

$V_{ij}^t$  بردار سرعت ذره  $i$  در بعد  $j$  در زمان  $t$  است.

$x_{ij}^t$  بردار موقعیت ذره  $i$  در بعد  $j$  در زمان  $t$  است.  $p_{best,i}^t$ : بهترین موقعیت شخصی ذره  $i$

در بعد  $j$  از ارزش دهی آغازی در زمان  $t$  بدست می‌آید.  $G_{best}$ : بهترین موقعیت کلی ذره  $i$  در

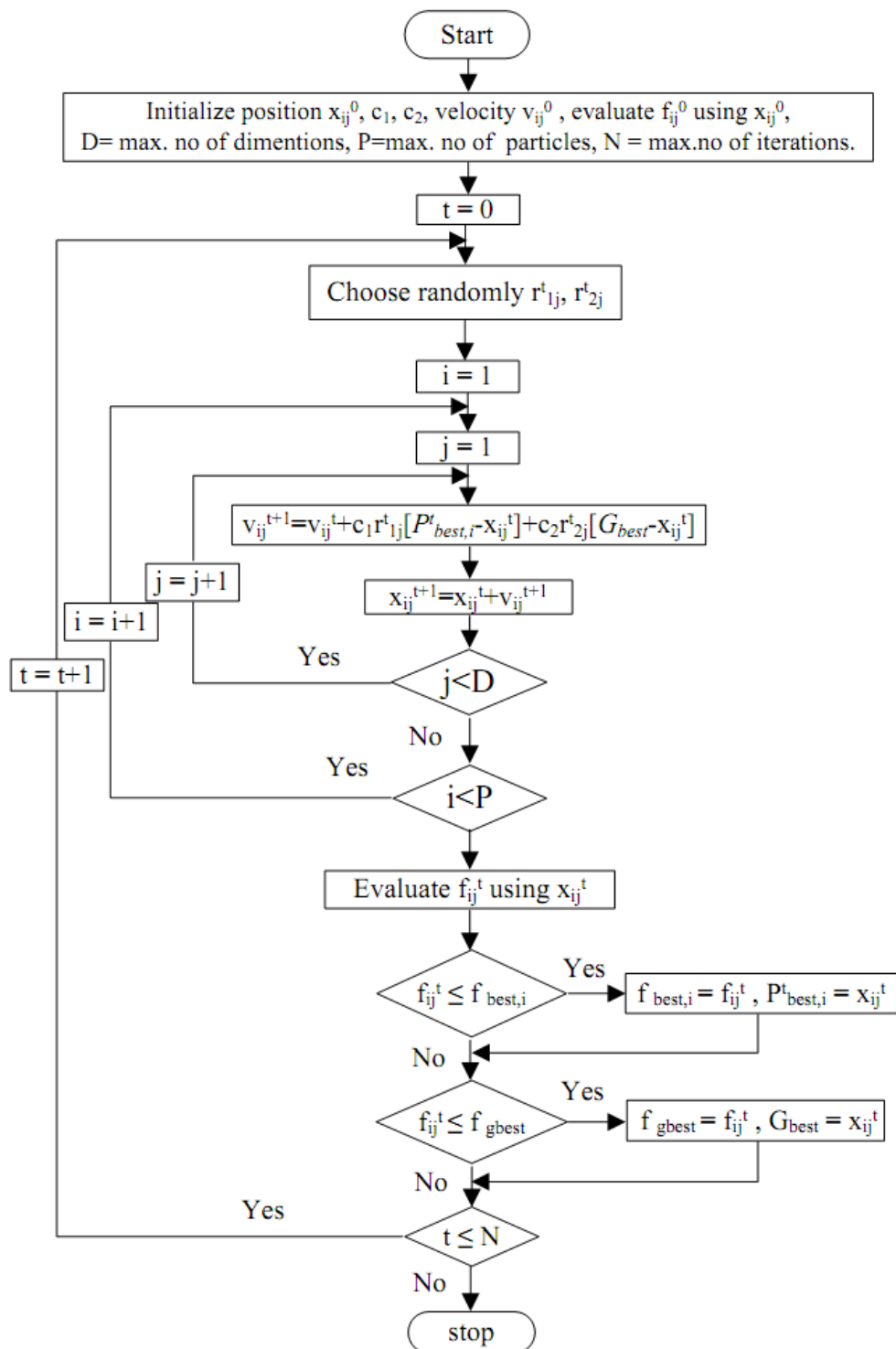
بعد  $j$  از ارزش دهی آغازی در زمان  $t$  بدست می‌آید.

$C_1, C_2$  شتاب ثابت مثبتی هستند که به ترتیب در سطح هم بخشی شناختی و مولفه‌های

دسته جمعی استفاده شده است.

$r_{1j}^t, r_{2j}^t$ : عددهای تصادفی از توزیع یکنواخت (۰ و ۱) در زمان  $t$  است. فلوچارت الگوریتم

۲- ۱ gbest pso را نشان می دهد:



فلوچارت ۲-۱ gbest PSO [۱۴]

## ۲-۱-۴- بهترین موقعیت محلی (Lbest)pso

روش بهترین موقعیت محلی  $pso^1$  اجازه می دهد به هر ذره که توسط بهترین ذره همسایه نزدیک خودش تحت تأثیر قرار گیرد، و خودشان را در یک موقعیت جغرافیایی دسته جمعی حلقه ای منعکس کنند. این اطلاعات دسته جمعی با همسایه ی نزدیک هر ذره و دانش محلی محیط اطراف معاوضه می شود [۱۹-۲۰].

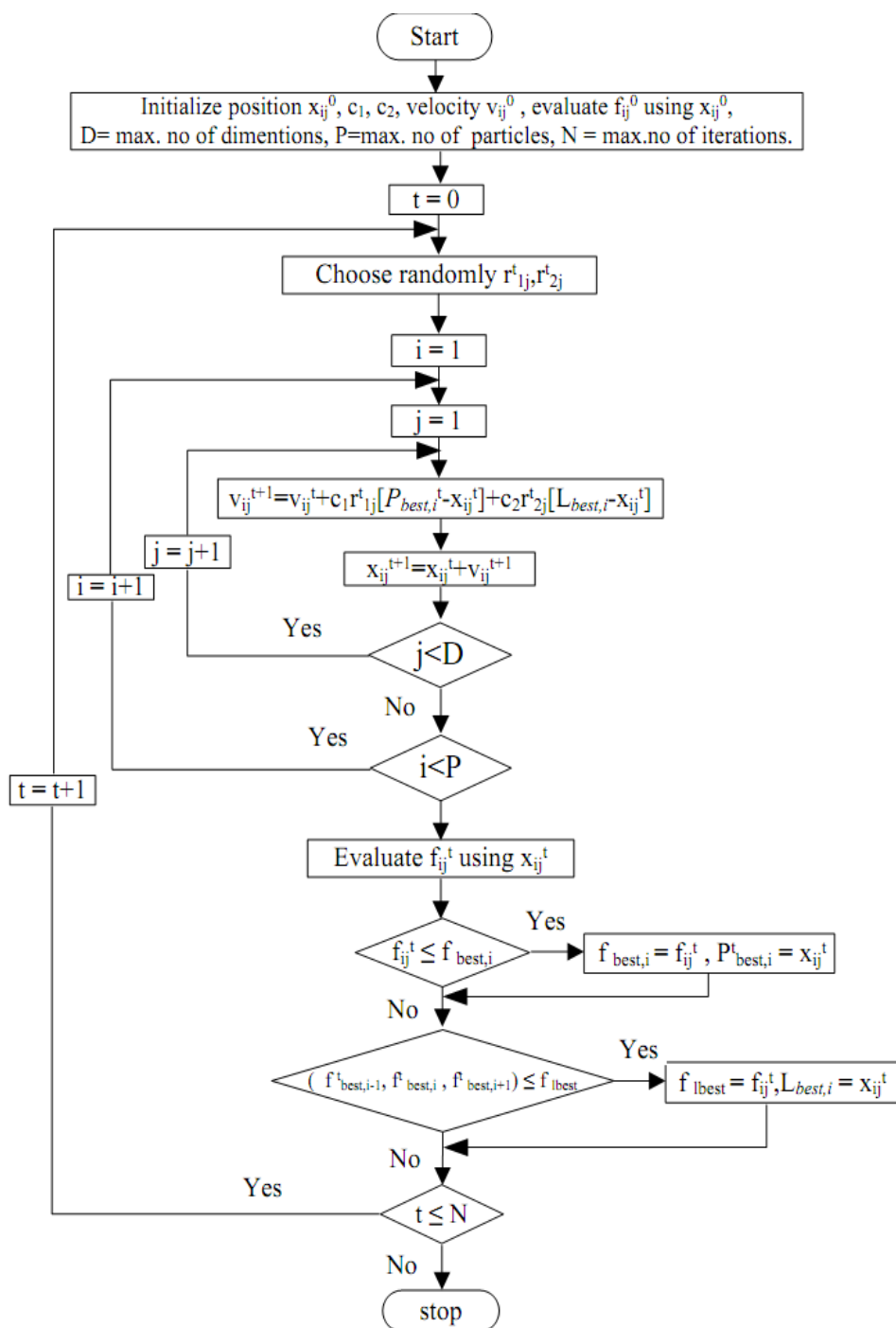
در این مورد سرعت ذره  $i$ ام بوسیله رابطه زیر محاسبه می شود:

$$V_{ij}^{t+1} = V_{ij}^t + C_1 r_{1j}^t [p_{besti}^t - x_{ij}^t] + C_2 r_{2j}^t [L_{best} - x_{ij}^t] \quad (۲-۸)$$

بطوریکه  $L_{best,i}$  بهترین موقعیتی هست که هر ذره  $i$  نمی تواند داشته باشد، از ارزش دهی

اولیه در زمان  $t$  پیدا می کند.

فلوچارت ۲-۲ الگوریتم Lbestpso را نشان می دهد:



فلوچارت ۲-۲ - Lbest PSO [۱۹-۲۰].

نهایتاً به ترتیب از قسمت ۲-۲-۱ و ۲-۲-۲ در می یابیم که در الگوریتم gbestpsو هر ذره

اطلاعاتش از بهترین ذره در تمام گروه بدست می آید. بطوریکه در الگوریتم Lbest PSO هر ذره

اطلاعاتش را فقط از همسایه‌ی مجاور در گروه بدست می‌آورد [۲۲].

## **۲-۱-۵- مقایسه gbest با Lbest**

در ابتدا دو تفاوت بین Lbestpsو و gbestpsو وجود دارد: یکی این است که چون ذره مرتبط بزرگتر در gbestpsو گاهی اوقات سریعتر از Lbestpsو همگرا می‌شود. دیگری به گوناگونی بزرگتر Lbestpsو اقتضا می‌یابد، در این صورت کمتر در معرض تله افتادن در مینیمم محلی وجود دارد [۲۳].

## **۲-۲- پارامترهای الگوریتم pso**

بعضی از پارامترها در الگوریتم pso وجود دارد که ممکن است نتیجه کارایی‌اش باشد. برای مشکل بهینه‌سازی داده شده، بعضی از ارزش‌های این پارامترها و انتخابات برخورد بزرگ در بازدهی روش pso دارد، و بعضی از پارامترهای دیگر شمار کمتر یا هیچ نتیجه‌ای ندارد [۲۴]. پارامترهای پایه‌ای pso اندازه گروهی ذرات، یا شماری از مکدرات، سرعت مؤلفه‌ها و ضریب شتاب در زیر توضیح داده شده است.

علاوه بر این pso، همچنین تحت تاثیر اینرسی وزن، وزن کامل سرعت و انقباض سرعت واقع می‌شود. این پارامترها در بخش ۲ شرح داده می‌شود.

## **۲-۲-۱- اندازه گروه**

اندازه گروه یا اندازه دسته جمعیت، تعداد  $N$  ذرات در گروه می‌باشد. یک گروه بزرگ بخش‌های بزرگی از فضای جستجو را تولید می‌کند که بوسیله مکدرات تامین می‌شوند. مقدار بزرگ ذرات ممکن است کاهش پیدا کند به مقدار مکرراتی که نیاز به بدست آوردن بهترین نتیجه بهینه‌سازی را دارد. در مقایسه با مقدار عظیمی از ذرات پیچیدگی محاسبات نسبت به تکرار

و زمان زیاد مصرفی افزایش می‌یابد، با توجه به شماری از مطالعات تجربی، نشان داده شده است که بیشترین پیاده‌سازی pso از یک فاصله  $n \in [20,60]$  برای اندازه گروه استفاده می‌شود.

### ۲-۲-۲- تعداد تکرارها

تعداد تکرارها نتیجه خوبی را بدست می‌آورد که همچنین مشکل وابستگی را نیز داراست. یک مقدار خیلی کم از تکرارها ممکن است فرآیند جستجوی نابهنگام را متوقف کند، در حالیکه تعداد خیلی بزرگ از تکرارها نتیجه غیرضروری و پیچیدگی محاسباتی و زمان زیادی نیاز دارد [۲۰].

### ۲-۲-۳- مؤلفه‌های سرعت

مؤلفه‌های سرعت برای به روز کردن سرعت ذره‌ها خیلی مهم هستند. سه قسمت برای سرعت ذره‌ها در معادله‌های (۲-۷) و (۲-۸) وجود دارند:

(۱) ترم  $V_{ij}^t$  مؤلفه ساکن نامیده می‌شود که یک حافظه قبلی مسیر پرواز را آماده می‌کند که حرکتی فوری در گذشته را می‌رساند. این مؤلفه یک مقدار حرکتی را ارائه می‌دهد که مانع تغییرات موثر در جهت ذرات می‌شود و مسیر فعلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

(۲) ترم  $C_1 r_{1j}^t [p_{best,i}^t - x_{ij}^t]$  مؤلفه وابسته به دانشی است که کارایی ذرات  $i$  وابسته به کارایی گذشته را می‌سنجد، این مؤلفه شبیه یک حافظه مکان منحصر به فردی است که برای ذرات بهترین موقعیت است. تاثیر مؤلفه وابسته به دانش تمایلات منحصر به فردی را که برای بازگشت مکان‌هایی که آنها را در گذشته بیشتر راضی نگه داشته است ارائه می‌کند.

(۳) برای  $Lbestpso$  مؤلفه جمعی است که کارایی ذرات  $i$  مربوط به گروه ذرات یا  $gbestpso$  برای  $C_2 r_{2j}^t [L_{best,i} - x_{ij}^t]$  یا  $C_2 r_{2j}^t [G_{best} - x_{ij}^t]$

همسایگان را اندازه‌گیری می‌کند. تاثیر مولفه‌های جمعی این است که هر ذره به طرف بهترین مکان پرواز می‌کند که توسط همسایگان نزدیک ذرات دریافت می‌شود.

## ۲-۲-۴- ضریب شتاب

ضریب شتاب های  $C_1$  و  $C_2$  با ارزش تصادف  $r_1$  و  $r_2$  به ترتیب تاثیر تصادفی وابسته به دانش و مولفه‌های جمعی سرعت ذرات را نگهداری می‌کند.

ثابت  $C_1$  بیان می‌کند که ذره از خودش چقدر اطمینان دارد، در حالیکه  $C_2$  بیان می‌کند یک ذره از همسایه‌هایش چقدر اطمینان دارد [۱۵].

تعدادی از خصوصیات  $C_1$  و  $C_2$  در زیر آمده هست:

زمانیکه  $C_1=C_2=0$  باشد همه ذرات به پروازشان در سرعت فعلی ادامه می‌دهند تا آنها با مرز فضای جستجو برخورد کنند، بنابراین از معادله  $(2-7)$  و  $(2-8)$  سرعت بروز شده معادله به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$v_{ij}^{t+1} = v_{ij}^t \quad (2-9)$$

زمانیکه  $C_2=0, C_1>0$  همه ذرات وابسته هستند. سرعت به روز شده معادله به صورت زیر خواهد بود:

$$v_{ij}^{t+1} = v_{ij}^t + C_1 r_{1j}^t [P_{best,i}^t - x_{ij}^t] \quad (2-10)$$

در مقابل وقتی که  $C_1=0, C_2>0$  همه ذرات به طرف نقطه تنهایی در تمام گروه جلب می‌شوند (برای مثال  $G_{best}$ ) و سرعت بروز شده به صورت زیر خواهد بود:

Gbestpso

(۱۱-۲)

$$V_{ij}^{t+1} = V_{ij}^t + C_2 r_{2j}^t [G_{best} - X_{ij}^t] \text{ برای } (۱۲-۲)$$

Lbestpso

$$V_{ij}^{t+1} = V_{ij}^t + C_2 r_{2j}^t [L_{best,i} - X_{ij}^t] \text{ برای}$$

زمانیکه  $C_2 - C_1 =$  باشد تمام ذرات به میانگین  $P_{best}^t$  و  $G_{best}$  جلب می شوند.

زمانیکه  $C_1 > C_2$  باشد هر ذره نفوذ بیشتری بوسیله بهترین مکان شخصاش دارد، نتیجه

مفرط باعث سرگردانی می شود. در مقابل زمانیکه  $C_2 > C_1$  باشد همه ذرات توسط بهترین

موقعیت عمومی شان بیشتر تحت تاثیر واقع می شوند، به طوریکه همه ذرات دچار اجرای نابهنگام

بهینه می شوند [۲۰] و [۲۱].

معمولا  $C_1$  و  $C_2$  ایستا هستند و ارزش بهینه آنها به طور تجربی بدست می آید.

ارزش دهی اولیه اشتباه  $C_1$  و  $C_2$  ممکن است یک نتیجه واگرا یا رفتار پریودیک چرخه ای

را نشان دهد [۲۰]. از تحقیقات تجربی متفاوت بر می آید که دو ثابت شتاب که باید.

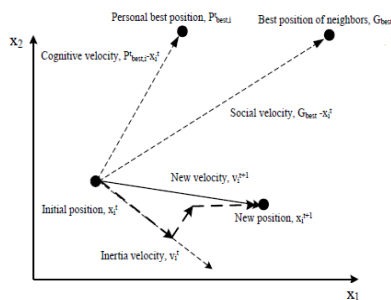
$C_1 = C_2 = ۲$  باشد را پیشنهاد می کنند.

## ۲-۳- مثال های هندسی PSO

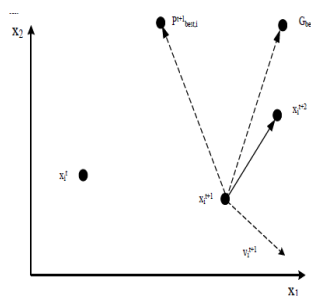
بروز آوری سرعت برای ذرات شامل سه مؤلفه به ترتیب در معادله های (۷-۲) و (۸-۲)

ارائه می شود. یک حرکت ذره تنها را در فضای جستجوی دو بعدی در نظر بگیرید.





مرحله زمانی  $t$  (a)

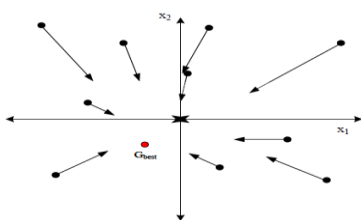


مرحله زمانی  $t+1$  (b)

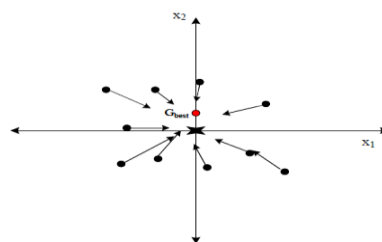
شکل ۲-۲- سرعت و موقعیت بروز شده برای یک ذره در فضای جستجوی دو بعدی [۱۵]

شکل ۲-۲- نشان می‌دهد که چطور سه مؤلفه سرعت در حرکت ذرات بطرف بهترین

موقعیت کلی به ترتیب در مراحل زمانی  $t$  و  $t+1$  شرکت می‌کنند.



در زمان  $t=0$  (a)



در زمان  $t=1$  (b)

شکل ۲-۳- سرعت و موقعیت بروز شده برای چند ذره در **gbestpso** [۱۸]

شکل ۲-۳- نشان می‌دهد مکان برای بیشتر از یک ذره در فضای جستجوی دو بعدی بروز

می‌شود و شکل مثالی از **gbestpso** است. مکان بهینه توسط "✱" نشان داده می‌شود.

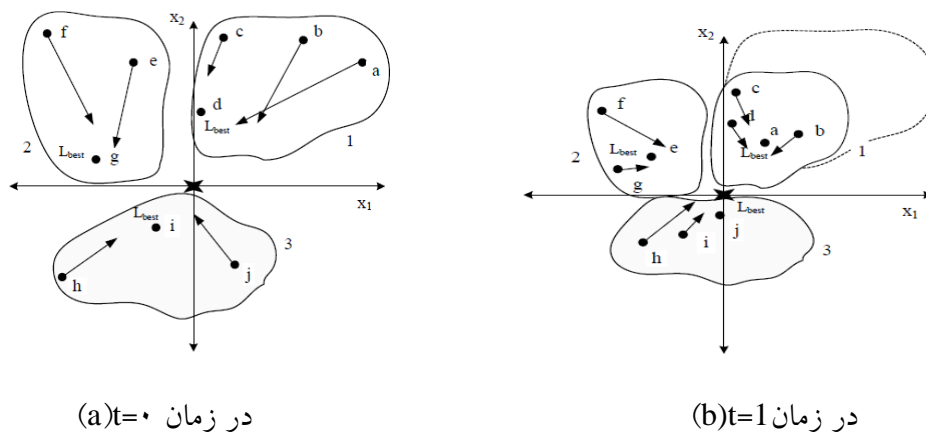
شکل ۲-۳- (a) مکان اولیه همه ذرات با بهترین موقعیت کلی را نشان می‌دهد. مؤلفه‌های

وابسته به دانش در زمان  $t=0$  صفر می‌باشد و همه ذرات به سوی بهترین مکان توسط مؤلفه‌های

جمع می‌شوند. در اینجا بهترین موقعیت کلی تغییر نمی‌کند.

۲-۳ (b) مکان‌های جدید همه ذرات و بهترین مکان کلی جدید بعد از اولین تکرار به طور

مثال در زمان  $t=1$  را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴- سرعت و موقعیت بروز شده برای چند ذره در  $Lbestps0$  [۱۹]

شکل ۲-۴ توضیح می‌دهد که همه ذرات چطور توسط همسایه‌های مجاور در فضای

جستجو با استفاده از  $Lbestps0$  جلب می‌شوند و تعدادی زیر مجموعه از ذرات وجود دارد که

یکی از زیر مجموعه‌های ذرات به این صورت تعریف شده است که برای هر ذره از بهترین ذره

محلی انتخاب شده است.

شکل ۲-۴ (a) نشان می‌دهد ذرات a, b, c و بطرف ذره d که بهترین موقعیت در زیر مجموعه

۱ است حرکت می‌کنند. در زیر مجموعه ۲ ذرات e و f بطرف ذره g حرکت می‌کنند. به طور

مشابه ذره h به طرف ذره i حرکت می‌کند، بنابراین j در زیر مجموعه ۳ در مرحله زمانی  $t=0$  نیز

همین گونه عمل می‌کند.

شکل ۲-۴ (b) برای مرحله زمانی  $t=1$  ذره d بهترین موقعیت برای زیر مجموعه ۱ است که ذره a, b و c بطرف d حرکت می کنند.

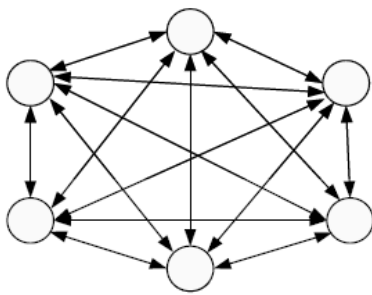
## ۲-۴- وضعیت جغرافیایی همسایگی

برای هر ذرات باید یک همسایگی نزدیک تعریف شود [۲۳]. این همسایگی نزدیک اندازه‌ی تعامل جمعی در گروه و تاثیرات یک حرکت ذره‌ی خاص را تعیین می کند. کمترین تعامل زمانی که همسایگی‌های نزدیک گروه کوچک هستند، رخ می دهد [۲۰].

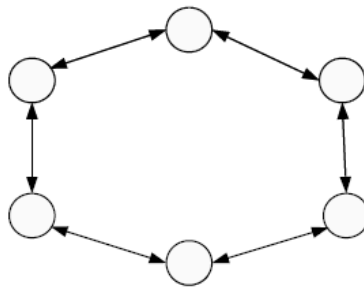
برای همسایگی‌های کوچک انحراف کندتر می باشد اما ممکن است کیفیت راه حل ها را بهبود بخشد. برای همسایگی بزرگتر، انحراف سریعتر می باشد اما خطر اینکه گاهی اوقات انحراف زودتر رخ دهد وجود دارد [۲۳]. برای حل این مشکل فرآیند جستجو با اندازه همسایگی کوچک شروع می شود و سپس اندازه همسایگی‌های کوچک بر فراز زمان افزایش پیدا می کند. این تکنیک یک گوناگونی بالای اولیه‌ای با انحراف سریعتری را تضمین می کند که ذرات به سوی یک ناحیه جستجوی امید بخش حرکت می کنند [۲۰].

الگوریتم PSO یک تعامل جمعی در میان ذرات در تمام گروه می باشد. ذرات با یکدیگر توسط مبادله اطلاعات درباره‌ی موفقیت هر ذره‌ی در گروه ارتباط برقرار می کنند. زمانی که یک ذره در تمام گروه یک مکان بهتری پیدا می کند، تمام ذرات به سوی این ذره حرکت می کنند. این اجرای ذرات توسط همسایگی نزدیک ذرات تعریف شده است [۲۰].

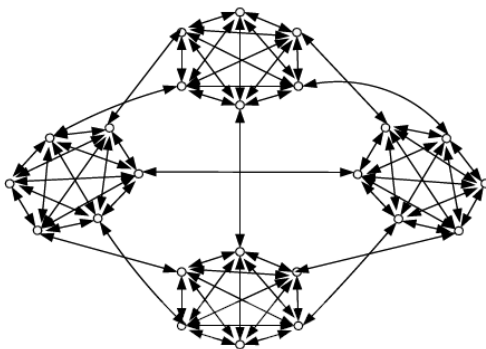
محققان روی گسترش این کارایی توسط مطرح کردن انواع ساختارهای مختلف همسایگی نزدیک، کار کرده اند [۱۷]. بعضی هم ساختارهای همسایگی نزدیک یا وضعیت جغرافیایی به صورت زیر مورد بحث قرار گرفته اند.



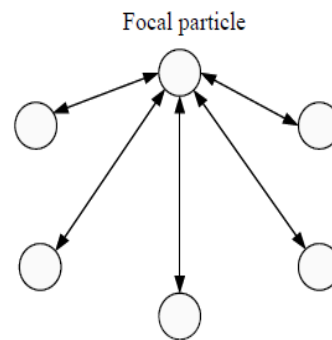
a) یا ستاره (Gbest)



b) یا حلقه ای (Lbest)



(d) چهار خوشه‌ای



(c) چرخه ای

شکل ۲-۵- وضعیت جغرافیایی همسایگی‌ها [۱۷].

شکل ۲-۵ (a) وضعیت جغرافیایی ستاره‌ای را نشان می‌دهد، که هر ذره با ذرات دیگر ارتباط برقرار می‌کند. این وضعیت جغرافیایی منجر به انحراف سریعتر نسبت به وضعیت جغرافیایی دیگر می‌شود، اما یک قابلیت بودن تله در مینیمم محلی می‌باشد. چون همه‌ی ذرات از یکدیگر آگاه هستند، این وضعیت جغرافیایی به gbestpsو ارجاع داده می‌شود.

شکل ۲-۵ (b) وضعیت جغرافیایی حلقه‌ای را نشان می‌دهد، که هر ذره تنها با همسایگان مجاورش ارتباط برقرار می‌کند. در این فرایند زمانی که یک ذره یک نتیجه بهتری را پیدا می‌کند، آن را به همسایگان مجاورش انتقال می‌دهد، و این دو ذره کنار هم، آن را به همسایه‌های

مجاورشان منتقل می‌کنند، تا به آخرین ذره برسد. بنابراین بهترین نتیجه یافت شده خیلی آهسته در اطراف حلقه به وسیله همه ذرات پخش می‌شود. انحراف آهسته‌تر است، اما بخش‌های بزرگتری از فضای جستجو نسبت به وضعیت جغرافیایی ستاره‌ای تحت پوشش قرار داده شده است. این وضعیت جغرافیایی به  $Lbest_{pso}$  ارجاع داده می‌شود.

شکل ۵-۲ (c) وضعیت جغرافیایی چرخه‌ای را نشان می‌دهد، که در آن تنها یک ذره (یک ذره مرکزی) با دیگر ذره‌ها ارتباط برقرار می‌کند و تمام اطلاعات از طریق این ذره مخابره می‌شود. این ذره مرکزی بهترین نمایش از تمام ذرات در گروه را مقایسه کرده، و مکانش را بسوی بهترین اجراء ذره تنظیم می‌کند. سپس مکان جدید ذره مرکزی به تمام ذرات اطلاع داده می‌شود.

شکل ۵-۲ (d) وضعیت جغرافیایی چهار خوشه را نشان می‌دهد، که چهار خوشه با دو لبه بین خوشه‌های همسایه و یک لبه بین خوشه‌های مقابل ارتباط برقرار می‌کند. ساختارهای همسایگی یا وضعیت جغرافیایی‌های متفاوت وجود دارد (برای مثال توپولوژی هرمی، توپولوژی ون نیومن و غیره)، اما هیچ توپولوژی شناخته شده بهتری برای یافتن بهینه برای انواع همه مشکلات بهینه‌سازی وجود ندارد.

## ۵-۲ - مزایا و معایب pso

همان طور که گفته شد الگوریتم pso یکی از قویترین روش‌های حل برای مشکلات بهینه‌سازی کلی غیرخطی است که تعدادی از معایب الگوریتم pso وجود دارد.

مزایا و معایب pso در زیر مورد بحث واقع شده است :

مزایای الگوریتم pso [۱۷] [۲۴]:

(۱) الگوریتم pso یک الگوریتم غیر وابسته به مشتق می‌باشد.

(۲) می تواند به تحقیقات علمی و مشکلات مهندسی پاسخگو باشد (زیرا پیاده سازی ساده ای دارد).

(۳) تعداد پارامترهای محدودی دارد و تماس پارامترها به راه حل ها در مقایسه با دیگر تکنیک های بهینه سازی کم می باشد.

(۴) محاسبات در الگوریتم PSO بسیار ساده می باشد.

(۵) تعدادی تکنیک برای تضمین همگرایی وجود دارد و ارزش بهینه مشکل مدت زمان کوتاهی به سادگی محاسبه می شود.

(۶) PSO کمتر به یک مجموعه مکان های ابتدایی نسبت به دیگر بهینه سازی وابسته است.

(۷) از نظر مفهومی و ادراکی (تصور) بسیار ساده می باشد.

## **۲-۶- تجزیه و تحلیل عملی مشخصات PSO**

در این بخش تعدادی از اصلاحات بر روی PSO پایه ای انجام می شود، که چگونه سرعت همگرایی بهبود یابد، موازنه بین اکتشاف و بهره برداری کنترل شود و بر مشکل ایستایی و رکود یا همگرایی بی موقع غلبه شود. تکنیک محدود کردن سرعت، تکنیک مسائل مقدار مرزی، شرایط اولیه و توقف که همگی در الگوریتم PSO خیلی مهم می باشند.

### **۲-۶-۱- نرخ بهبود همگرایی**

معمولاً سرعت ذره ها خیلی سریع انتخاب می شود و در نتیجه مقدار ماکزیمم تابع هدف از بین می رود. در PSO سرعت ذره ها بخاطر اینکه سائز مرحله ای دسته جمعی می باشد بسیار مهم است. در هر مرحله همه ذرات با یک سرعت تنظیم شده به گونه ای که هر ذره در هر جهت محیط جستجو حرکت می کند پیش می روند [۲۳]. دو مشخصه وجود دارد: اکتشاف و بهره برداری.

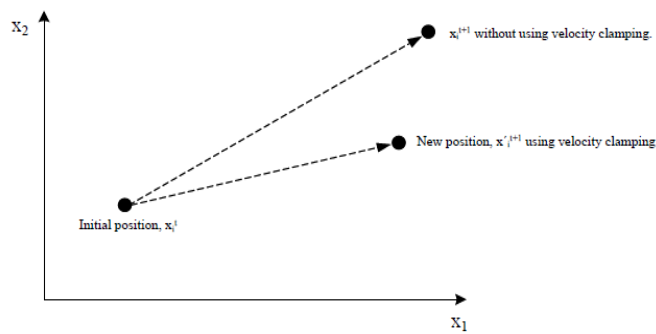
اکتشاف توانایی کشف کردن نواحی مختلف محیط جستجو به منظور مکان‌یابی یک بهینه خوب می‌باشد، در حالیکه بهره‌برداری توانایی متمرکز کردن جستجو پیرامون یک ناحیه جستجو به منظور رسیدن به یک پاسخ امیدوارکننده می‌باشد.

بنابراین، این دو مشخصه در یک الگوریتم بهینه‌سازی خوب باید متعادل شوند. هنگامی که سرعت به مقادیر بزرگتری افزایش پیدا کند در نتیجه موقعیت ذره‌ها به سرعت بروز می‌شود. در نتیجه ذرات مرزهای محیط جستجو را ترک می‌کنند و بنابراین واگرایی بوجود می‌آید، به منظور کنترل کردن این واگرایی سرعت ذره‌ها به خاطر باقی ماندن در محدودیت‌های مرزی کاهش پیدا می‌کند [۱۸]. تکنیک‌های زیر برای بهبود سرعت همگرایی، متعادل کردن موازنه سرعت اکتشاف و بهره‌برداری و پیدا کردن کیفیت پاسخ‌ها برای PSO بوجود آمده است.

## **۲-۶-۱-۱- محدود کردن سرعت**

کندی و ابر هات اولین بار محدود کردن سرعت را معرفی کردند. و این کمک می‌کند که ذره‌ها در داخل مرز باقی بمانند و سائز مرحله قابل قبولی را به منظور جستجو کردن محدوده‌ی جستجو بگیرند. برون این محدود کردن سرعت در محدوده جستجو فرآیند در معرض منفجر شدن قرار می‌گیرد و موقعیت ذره‌ها به سرعت تغییر می‌کند [۱۶].

ماکزیمم سرعت  $V_{max}$  دانه دانه بودن محیط جستجو را با محدود کردن سرعت کنترل می‌کند و یک تعادل بهتری را بین اکتشاف کلی و بهره‌برداری محلی بوجود می‌آورد.



شکل ۶-۲ نشان دهنده تاثیر محدود کردن سرعت یک ذره در یک فضای جستجوی دو بعدی [۱۸].

شکل ۶-۲ نشان می‌دهد که چگونه محدود کردن سرعت سائز مرحله با خوبی جهت جستجو و هنگامیکه یک ذره در فرایند حرکت می‌کند را تغییر می‌دهد. در این شکل  $X_i^{t+1}$  و  $X_i^{t+1}$  نشانگر موقعیت ذره بدون استفاده از محدود کردن سرعت و با استفاده از محدود کردن سرعت می‌باشد [۱۸].

حال اگر سرعت یک ذره از یک مقدار سرعت ماکزیمم معین  $V_{max}$  بالاتر برند این سرعت با مقدار  $V_{max}$  جایگزین شده و قبل از اینکه موقعیت بوسیله فرمول زیر بروز شود تعیین می‌شود.

$$V_i^{t+1} = \min(V_i^{t+1}, V_{max}) \quad (۱۳-۲)$$

که در این فرمول  $V_i^{t+1}$  با استفاده از معادلات (۱۲-۲) و (۱۳-۲) محاسبه می‌شود.

اگر سرعت ماکزیمم  $V_{max}$  خیلی بزرگ باشد ذره‌ها ممکن است به طور نامنظم حرکت کنند و از روی پاسخ بهینه خارج شوند. از طرف دیگر اگر  $V_{max}$  خیلی کوچک باشد حرکت ذره‌ها محدود می‌شود و ممکن است گروه ذرات نتوانند به طور کافی اکتشاف انجام دهند یا ممکن است گروه ذرات در یک بهینه محلی حبس شوند.



این مسئله زمانی که سرعت ماکزیمم با استفاده از کسری از دامنه‌ی محیط جستجو در هر جهت با کم کردن مرز پایینی از مرز بالایی می‌تواند حل شود و به صورت زیر تعریف شود.

$$V_{\max} = \varepsilon (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2-14)$$

که در آن  $X_{\max}$  و  $X_{\min}$  مقادیر ماکزیمم و مینیمم  $X$ ،  $\varepsilon \in (0, 1]$  می‌باشد. برای مثال اگر  $\varepsilon = 0.5$  و  $\varepsilon$  و  $x = [-150, 150]$  هر جهت محیط جستجو باشد، بنابراین رنج محیط جستجو سیصد در جهت می‌باشد و سرعت‌ها به درصدی از آن رنج محدود می‌شود. مطابق با معادله (2-14)، بنابراین ماکزیمم سرعت  $V_{\max} = 150$  است [21].

مشکل بعدی زمانی هست که همه سرعت‌ها معادل سرعت ماکزیمم  $V_{\max}$  است. برای حل این مشکل  $V_{\max}$  می‌تواند با توجه به زمان کاهش پیدا کند. مرحله‌ی اول با مقادیر بزرگ  $V_{\max}$  شروع می‌شود و سپس با گذشت زمان مقدار آن کاهش پیدا می‌کند. فایده محدود کردن سرعت این می‌باشد که از انفجار سرعت در محیط جستجو جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر عیب آن این است که بهترین مقدار  $V_{\max}$  برای هر مسئله بهینه‌سازی مختلف باید با استفاده از تکنیک‌های عملی انتخاب شود [18] و پیدا کردن مقدار دقیق برای  $V_{\max}$  برای مشکلی که باید حل شود بسیار حیاتی می‌باشد و ساده نمی‌باشد. اگر که  $V_{\max}$  بد انتخاب شود کارایی پایین می‌آید [16].

در آخر  $V_{\max}$  در ابتدا برای جلوگیری از انفجار و واگرایی معرفی شده بوده، اگرچه این برای همگرایی بدلیل استفاده از وزن اینرسی  $\omega$  (بخش 2-2-1-2) و فاکتور انقباض  $X$  (بخش 2-2-1-3) غیر ضروری به نظر می‌رسد [25].

## ۲-۱-۶-۲- وزن اینرسی

وزن اینرسی که با  $\omega$  نشان داده شده است، به جای  $V_{max}$  با تنظیم تاثیر سرعت قبلی در این فرآیند در نظر گرفته شده است، برای مثال کنترل حرکت ذره با سهم وزن از سرعت قبلی است. اینرسی وزن " $\omega$ " در هر مرحله در سرعت مرحله زمان قبلی ضرب می شود مثل  $V_{ij}^t$ . بنابراین در gbest pso معادله سرعت ذره  $i$  با تغییرات وزن اینرسی از معادله (۷-۲) بدست آمده است :

$$V_{ij}^{t+1} = \omega V_{ij}^t + C_1 r_{1j}^t [p_{best,i}^t - X_{ij}^t] + C_2 r_{2j}^t [G_{best} - X_{ij}^t] \quad (۱۵-۲)$$

در Lbest pso تغییرات معادله سرعت در روشی مشابه معادله سرعت بالا انجام می شود. اینرسی وزن برای اولین بار توسط شی<sup>۱</sup> و ابرهارت<sup>۲</sup> در ۱۹۹۹ برای کاهش سرعت در طول زمان برای کنترل توانایی های اکتشاف و بهره برداری گروه و به همگرایی دقیقتر و موثرتر در مقایسه معادله (۷-۲) با (۱۵-۲) معرفی شد.

اگر  $\omega \geq 1$  باشد، سرعت در طول زمان افزایش می یابد و ذرات به سختی می توانند مسیر خود را به حرکت به سمت بهینه و واگرایی گروه تغییر دهند. اگر  $\omega \ll 1$  مقدار کمی حرکت تنها از مرحله قبلی ذخیره می شود و در این فرایند تغییرات سریع جهت، تنظیم شده اند. اگر  $\omega = 0$  باشد، سرعت ذرات به صفر می رسد و همه ذرات بدون آگاهی از سرعت قبلی در هر مرحله حرکت می کنند [۲۵].

اینرسی وزن را می توان به عنوان یک ارزش ثابت یا به صورت تغییرات پویا اجرا نمود.

---

1 Shi  
2. Eberhart

پیاده‌سازی‌های اولیه  $\omega$  یک مقدار ثابت برای کل فرآیند برای همه ذرات استفاده می‌شود، اما در حال حاضر تغییر ارزش‌های اینرسی به صورت پویا مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا این پارامتر اکتشاف و بهره‌برداری فضای جستجو را کنترل می‌کند. معمولاً در ابتدا ارزش بزرگ اینرسی بالاست، که اجازه می‌دهد همه ذرات به حرکت آزادانه در مراحل اولیه و کاهش در طول زمان ادامه دهند، بنابراین فرآیند از حالت اکتشافی به بهره‌برداری شیفت پیدا می‌کند. این کاهش اینرسی وزن  $\omega$  نتایج خوبی را در بسیاری از مسائل شبیه‌سازی تولید کرده است [۲۶].

برای کنترل توازن بین اکتشاف کلی و محلی، برای بدست آوردن همگرایی سریع، و برای رسیدن به بهینه مطلوب، اینرسی وزن است که ارزش خطی را با تعداد تکرار کاهش می‌دهد در معادله زیر نشان داده شده است [۲۷].

$$\omega^{t+1} = \omega_{max} - \left( \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{t_{max}} \right) t, \omega_{max} > \omega_{min} \quad (16-2)$$

که در آن  $\omega_{min}$  ,  $\omega_{max}$  به ترتیب مقادیر اولیه و نهایی اینرسی وزن هستند،  $t_{max}$  حداکثر تعداد تکرار است و  $t$  تعداد تکرار فعلی است.

معمولاً اینرسی وزن،  $\omega$  را به صورت خطی از ۹٪ به ۴٪ در کل اجراء کاهش می‌دهد. وان دن برگ<sup>۱</sup> و انگل برگ<sup>۲</sup> وضعیتی را تعریف کردند که همگرایی را ضمانت می‌کند [۱۸].

$$C_1 + C_2 - 1 > \frac{1}{2} \omega \quad (17-2)$$

---

1 Vanden bergh  
2 Engelberch Trelea

واگرایی یا رفتار سیکی می تواند در این فرآیند در صورتی که اگر شرایط برآورده نشود رخ دهد.

شی و ابرهارت یک تکنیک برای تطبیق اینرسی وزن به صورت پویا با استفاده از یک سیستم فازی تعریف کرده اند [۲۴]. سیستم فازی یک فرآیند است که می تواند با تبدیل شرح زبانی یک مشکل به یک مدل مورد استفاده به منظور پیش بینی کردن یک متغیر عددی استفاده شود. با توجه به دو ورودی (یکی از تناسب بهترین موقعیت کلی و دیگری ارزش فعلی اینرسی وزن است)، این افراد استفاده کردند از سه تابع عضویت فازی منطبق با سه مجموع فازی، کم، متوسط و بالا که متغیرهای سه تابع به سه متغیر ورودی تخصیص پیدا می کند. خروجی سیستم فازی نشان دهنده تغییر در مقدار اینرسی وزن را پیشنهاد می کند [۱۸][۲۴]. روش اینرسی وزن فازی دارای مزیت بیشتری به تابع تک مدله دارد. در این روش وزن مطلوب اینرسی را می توان در هر مرحله زمانی تعیین نمود. هنگامیکه یک تابع دارای حداقل محلی چندگانه است، برای پیدا کردن یک اینرسی وزن بهینه سخت تر می شود [۲۴].

روش اینرسی وزن برای اطمینان از همگرایی بسیار مفید است. با این حال یک نقطه ضعف در این روش وجود دارد، این هست که یکباره اینرسی وزن کاهش می یابد، نمی توان آن را افزایش داد اگر گروه نیاز به جستجو در مناطق جدید را داشته باشد، این روش به بازیابی حالت اکتشافی خود قادر نمی باشد [۲۶].

## ۲-۶-۱-۳- ضریب انقباض

این روش معرف یک پارامتر جدید " $\chi$ " شناخته شده به عنوان عامل انقباض است.

ضریب انقباض توسط کلرک<sup>۱</sup> توسعه داده شده است. این ضریب به کنترل موازنه اکتشاف و بهره‌برداری، برای اطمینان از رفتار همگرایی، و همچنین به حذف وزن اینرسی  $\omega$  و حداکثر سرعت  $V_{max}$  بسیار مهم است [۲۸]. معادله پیشنهادی به روز رسانی سرعت کلرک، ذرات برای بعد  $i$  به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{ij}^{t+1} = \chi [V_{ij}^t + \phi_1 (P_{best,i}^t - X_{ij}^t) + \phi_2 (G_{best} - X_{ij}^t)] \quad (۱۸-۲)$$

$$X = \frac{2}{|2 - \phi - \sqrt{\phi^2 - 4\phi}|}, \phi = \phi_1 + \phi_2, \phi_1 = C_1 r_1, \phi_2 = C_2 r_2$$

اگر  $\phi < 4$ ، همه ذرات به آرامی مارپیچی به سمت اطراف بهترین راه حل در فضای جستجو بدون تضمین همگرایی حرکت می‌کنند، اگر  $\phi > 4$  باشد، همه ذرات به سرعت همگرایی را پوشش می‌دهند و ضمانت می‌کنند [۱۶].

دامنه نوسان ذرات با استفاده از ضریب انقباض کاهش می‌یابد در بهترین نقاط قبلی همسایگی و محلی متمرکز می‌شود [۲۵] [۲۰]. اگر بهترین موقعیت ذره‌های قبلی و بهترین موقعیت همسایگی در نزدیکی یکدیگر باشند، سپس ذرات جستجوی محلی را انجام می‌دهند، از سوی دیگر اگر موقعیت خودشان دور از یکدیگر باشد سپس همه ذرات یک جستجوی کلی را انجام می‌دهند. ضریب انقباض همگرایی ذرات در طول زمان و همچنین مانع از فروپاشیشان را ضمانت می‌کنند [۲۵]. ابرهات وشی تجربی نشان دادند که اگر ضریب انقباض و محدود کردن سرعت با هم استفاده شوند، نرخ همگرایی سریعتر بدست خواهد آمد [۱۸].

معایب ضریب انقباض این هست که اگر بهترین موقعیت شخصی یک ذره و بهترین

موقعیت همسایگی دور و جدا از یکدیگر باشد ذرات ممکن است از چرخه‌های گسترده پیروی کنند و همگرا نشوند [۲۶].

نهایتاً یک الگوریتم pso با ضریب انقباض از نظر جبری معادل یک الگوریتم pso با اینرسی وزن است. معادله (۲-۱۵) و (۲-۱۸) را می‌توان توسط نگاشت تبدیل کرد [۲۸]:

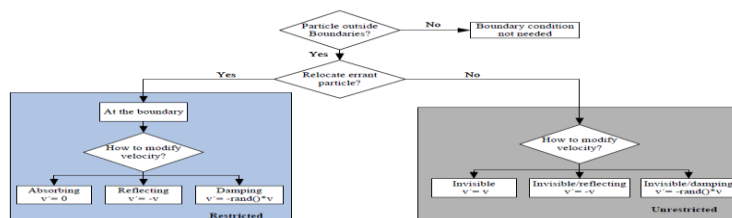
$$\omega \leftrightarrow X, \varphi_i \leftrightarrow x \varphi_i, I=1, 2$$

## ۲-۶-۲- شرایط مرزی

گاهی اوقات فضای جستجو باید به منظور جلوگیری از ازدحام گروه از منفجر شدن محدود باشد. به عبارت دیگر ذرات گاهی اوقات ممکن است فراتر از یک موقعیت آنسوی فضای جستجو مشخص بروند و یک راه حل نامعتبر را تولید کنند. به طور کلی تکنیک محدود کردن سرعت برای سرعت کنترل ذرات حداکثر مقدار  $V_{max}$  و حداکثر سرعت  $V_{max}$ ، وزن اینرسی  $\omega$  و مقدار ضریب انقباض  $X$  مورد استفاده قرار می‌گیرد، همیشه ذرات را به فضای راه حل محدود نمی‌کند. علاوه بر این، این پارامترها نمی‌تواند اطلاعات مربوط به فضا که در آن پرندگان اقامت کنند را فراهم نماید. علاوه بر این برخی ذرات هنوز از فضای راه حل دور می‌شوند که برابر با گزینه‌های خوبی برای پارامتر  $V_{max}$  نیست. دو مشکل عمده در ارتباط با تکنیک‌های سرعت قبلی وجود دارد:

اولی، انتخاب مقدار مناسب برای  $V_{max}$  که می‌تواند با اهمیت باشد و نیز برای عملکرد طی روش بسیار مهم است، و دومی، تکنیک‌های قبلی سرعت نمی‌تواند اطلاعات در مورد چگونگی اجراء ذرات بر ماندن در انتخاب فضای جستجو تمام وقت فراهم نماید [۲۴]. بنابراین این روش باید دستورالعمل‌های واضح و روشن در مورد چگونگی غلبه بر این وضعیت را تولید

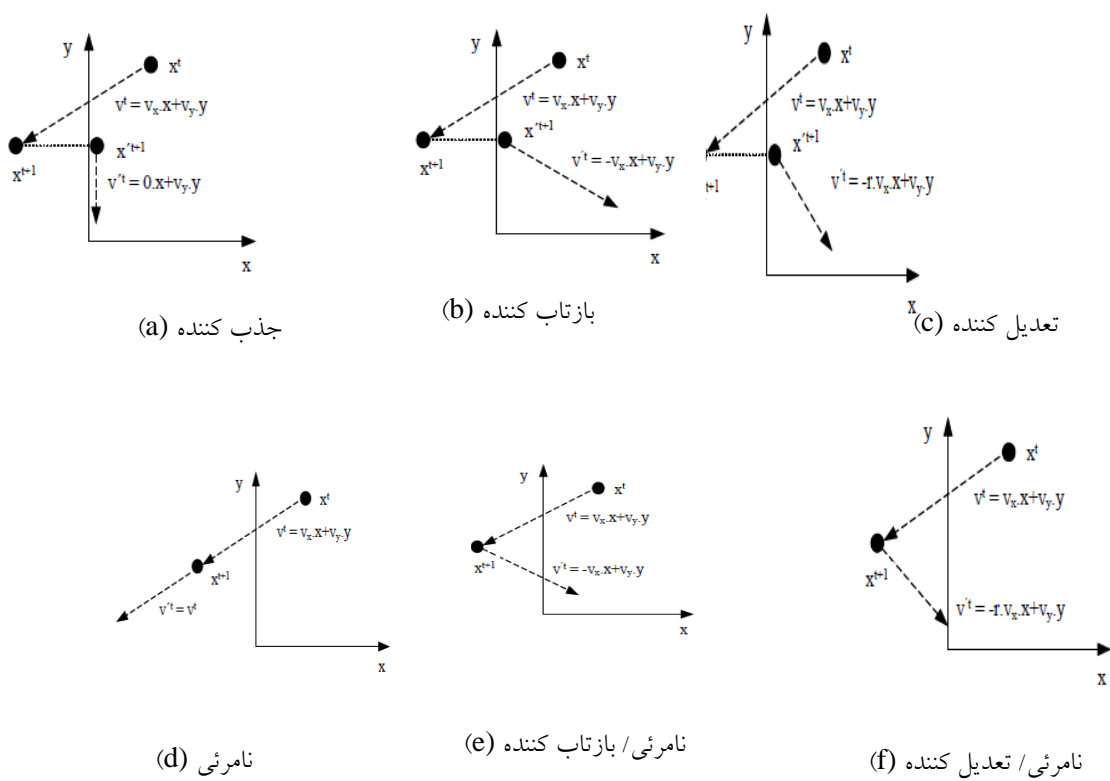
کند و این چنین دستورالعمل‌ها در الگوریتم PSO شرایط مرزی (BC) نامیده می‌شوند که پارامتر آزاد، کارآمد و نیز قابل اعتماد می‌باشند. برای حل این مشکل انواع مختلف شرایط مرزی معرفی شده‌اند و ویژگی‌های منحصر به فرد هریک از شرایط مرزی در شکل ۷-۲ نشان داده شده است [۳۰][۲۹]. این شرایط مرزی به دو گروه تقسیم می‌شوند شرایط مرزی محدود (به نام‌های جذب کننده، بازتاب کننده، تعدیل کننده) و شرایط مرزی نامحدود (به نام‌های نامرئی، نامرئی/بازتاب کننده، نامرئی / تعدیلی) [۲۹].



شکل ۷-۲- شرایط مرزی گوناگون در PSO [۲۹].

شکل ۸-۲ نشان می‌دهد که چگونه موقعیت و سرعت ذرات تحت تاثیر شرایط مرزی

قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۸- شش اوضاع مرزی مختلف برای یک فضای جستجو دو بعدی  $Xx'$  و  $Vv'$  نمایش می دهد که موقعیت بهبودی و سرعت به طور مجزا و  $i$  یک عامل تصادفی [۰و۱] هست. [۲۹].

شش شرایط مرزی در زیر مورد بحث قرار می گیرند [۲۹]:

#### ۱) شرایط مرزی جذب کننده (ABC)

هنگامیکه یک ذره از فضای راه حل در یکی از ابعاد خارج می شود، ذره باز گردانده می شود به دیوار فضای راه حل و سرعت ذره در آن بعد همانطور که در شکل ۲-۸ (a) نشان داده شده صفر می شود، این بدان معنی است که، در این شرایط چنین انرژی جنبشی ذره توسط یک دیوار نرم جذب می شود به طوریکه ذره به فضای راه حل برای پیدا کردن راه حل بهینه



برمی گردد.

## ۲) شرایط مرزی بازتاب کننده (RBC)<sup>۱</sup>

هنگامی که یک ذره از فضای راه حل از ابعاد خارج می شود ذره باز گردانده می شود به دیوار فضای راه حل و سرعت ذره در جهت مخالف در آن بعد همان طور که در شکل ۲-۸(b) نشان داده شده است تغییر می کند. این به این معنی است که ذره توسط یک دیوار سخت منعکس شده است و سپس به فضای راه حل برای پیدا کردن راه حل بهینه به عقب حرکت می کند.

## ۳) شرایط مرزی تعدیل کننده (DBC)

هنگامی که یک ذره از فضای راه حل در یکی از ابعاد خارج می شود، ذره بازگردانده می شود و به دیوار فضای راه حل و علامت سرعت ذره که در جهت مخالف در آن بعد با یک ضریب تصادفی بین ۱ و ۰ در شکل ۲-۸(c) نشان داده شده تغییر کرده است. بنابراین شرایط مرزی تعدیل کننده بسیار مشابه شرایط مرزی منعکس کننده عمل می کند، وضعیتی به جز بخش تصادفی تعیین انرژی که بدلیل انعکاس ناقص از دست داده شده است.

## ۴) شرایط مرزی نامرئی<sup>۲</sup> (IBC)

در این وضعیت یک ذره در خارج از فضای جستجو در نظر گرفته شده است، در حالیکه ارزیابی تناسب از آن موقعیت بالا و پایین می رود و یک مقدار تناسب به همان طور که در شکل ۲-۸(d) نشان داده شده به آن اختصاص داده شده است. بنابراین جذب بهترین موقعیت های کلی و شخصی حرکت ذره را خنثی می کند و سر انجام آن را به داخل فضای راه حل بر می گرداند.

---

1 Reflecting boundary condition

2 Invisible boundary condition

#### (۵) شرایط مرزی نامرئی/بازتاب کننده<sup>۱</sup> (I/RBC)

در این وضعیت یک ذره در خارج از فضای جستجو در نظر گرفته شده است، در حالیکه ارزیابی تناسب از آن موقعیت بالا و پایین می‌رود و یک مقدار تناسب به همانطور که در شکل ۲-۸ (e) نشان داده شده، اختصاص داده شده است. اگرچه علامت سرعت ذره در جهت مخالف در آن بعد تغییر کرده است به طوری مومنتوم ذره به جهت برعکس به داخل فضای جستجو معکوس می‌شود.

#### (۶) شرایط مرزی نامرئی / تعدیل کننده<sup>۲</sup> (I/DBC)

در این وضعیت یک ذره در خارج از فضای جستجو در نظر گرفته شده است، در حالیکه ارزیابی تناسب از آن موقعیت بالا و پایین می‌رود و یک مقدار تناسب به همانطور که در شکل ۲-۸ (f) نشان داده شده، اختصاص داده شده است. اگرچه سرعت ذره در جهت مخالف با یک ضریب تصادفی بین ۱ و ۱۰ در یک بعد تغییر کرده است به گونه‌ای که مومنتوم ذره به صورتیکه شتاب برگشتی به فضای جستجو تعدیل شده است معکوس می‌شود.

#### ۲-۶-۳- PSO با همگرایی تضمین شده<sup>۳</sup> (GCPSO)

هنگامیکه موقعیت فعلی یک ذره همزمان با بهترین موقعیت کلی است، ذرات به دور از این نقطه اگر سرعت قبلی آن غیر صفر باشد حرکت می‌کند، به عبارت دیگر هنگامیکه  $X_{ij}^t = P_{best,i}^t = G_{best}^t$  است، پس از آن به روز رسانی سرعت تنها به مقدار  $\omega V_{ij}^t$  بستگی دارد. حال اگر سرعت قبلی ذرات نزدیک به صفر باشد، حرکت همه ذرات یکباره متوقف می‌شود و آنها

---

1 Invisible /reflection boundary condition

2 Invisible /Damping boundary condition

3 Guaranteed Convergence PSO (GCPSO)

به بهترین موقعیت کلی می‌رسند که می‌تواند به همگرایی زودرس این فرآیند منجر شود. این حتی تضمین نمی‌کند که این فرآیند به حداقل محلی همگرا شود. این فقط به این معنی است که همه ذرات به بهترین موقعیت در تمام گروه همگرا شده‌اند. این امر منجر به رکورد فرآیند جستجو است که الگوریتم PSO می‌تواند با مجبور کردن بهترین موقعیت کلی به تغییر غلبه کند و قتی که  $X_{ij}^t = p_{best,i}^t = G_{best}^t$  است [۲۴].

برای حل این مشکل یک پارامتر جدید در PSO معرفی شده است.

اجازه دهید که  $\tau$  شاخص بهترین موقعیت کلی باشد به طوریکه

$$y_t = G_{best} \quad (2-19)$$

یک معادله بروز رسانی سرعت جدید برای یک ذره در بهترین موقعیت کلی،  $y_\tau$ ، پیشنهاد

شده است به منظور متحرک نگه داشتن  $\tau$  تا زمانی که به حداقل محلی رسیده باشد، معادله پیشنهادی در زیر آمده است:

$$V_{\tau j}^{\tau+1} = -X_{\tau j}^\tau + G_{best}^\tau + \omega V_{\tau j}^\tau + p^\tau(1 - 2r_{2j}^\tau) \quad (2-20)$$

$p^\tau$ : یک ضریب مقیاس است و باعث می‌شود PSO یک جستجوی تصادفی در یک منطقه

اطراف بهترین موقعیت کلی  $G_{best}$  انجام می‌دهد. این است که در معادله (2-21) در زیر نشان داده شده است.

$-X_{\tau i}^t$ : باز نشانی موقعیت ذره به موقعیت  $G_{best}^t$  است.

$\omega V_{\tau i}^t$ : نشان دهنده جهت جستجوی فعلی است.

$\rho^t(1 - 2r_{2j}^t)$ : تولید یک نمونه تصادفی از یک فضای نمونه با طول ضلع  $2\rho^t$  است.

ترکیب معادله (۴-۲) بروز رسانی موقعیت و معادله (۲۰-۲) بروز رسانی سرعت جدید

برای بهترین ذره کلی  $\tau$  منجر می شود. موقعیت جدید بروز رسانی می شود با معادله:

$$x_{ij}^{t+1} = G_{best}^t + \omega v_{ij}^t + \rho^t(1 - 2r_2^t) \quad (21-2)$$

در حالیکه تمام ذرات دیگر در گروه با استفاده از معادله بروز رسانی سرعت معمولی

(۱۵-۲) و معادله بروز رسانی موقعیت (۴-۲) به طور مجزا ادامه می دهند.

پارامتر  $\rho^t$  کنترل می کند قطر فضای جستجو و مقدار  $\rho^t$  پس از هر مرحله زمانی مطابقت

داده می شود با استفاده از

$$\rho^0 = 1.0$$

$$\rho^{t+1} = \begin{cases} 2\rho^t & \text{اگر } \# \text{ موفقیت}(t) > \epsilon_s \\ 0.5\rho^t & \text{در غیر این صورت} \\ \rho^t & \text{اگر } \# \text{ شکست}(t) > \epsilon_f \end{cases}$$

که موفقیت ها (#) و شکست ها (#) به ترتیب بیانگر تعداد متوالی موفقیت و شکست

می باشد، و یک شکست به معنی  $f(G_{best}^{t+1}) = f(G_{best}^t)$  تعریف می شود. شرایط زیر نیز باید

اجرا شود تا اطمینان حاصل شود که معادله (۲۲-۲) به خوبی تعریف شده است:

$$\# \text{ شکست}(t+1) = 0 \rightarrow \# \text{ موفقیت}(t) > \# \text{ موفقیت}(t+1) \quad (23-2)$$

و

$$\# \text{ شکست}(t+1) = 0 \rightarrow \# \text{ شکست}(t) > \# \text{ شکست}(t+1) \quad (23-2)$$

بنابراین هنگامیکه یک موفقیت رخ می‌دهد تعداد شکست به صفر می‌رسد و به همین ترتیب وقتی که یک شکست رخ می‌دهد پس از آن تعداد موفقیت صفر می‌شود.

انتخاب مقادیر بهینه برای  $E_S$  و  $E_F$  به تابع هدف بستگی دارد. این دشوار است به نتایج بهتری برسیم با استفاده از یک جستجوی تصادفی تنها در چند تکرار برای فضاهای جستجو بعد بالا و توصیه می‌شود استفاده کنیم از  $E_S = 15$  و  $E_F = 5$ .

به عبارت دیگر مقادیر بهینه برای  $E_S$  و  $E_F$  می‌تواند به صورت پویا یافت شود. برای مثال  $E_S$  ممکنه هر زمان افزایش یابد که  $E_F > \#$  شکست‌ها. به عبارت دیگر مشکلتر می‌شود برای بدست آوردن موفقیت اگر اغلب شکست رخ دهد. که جلوگیری می‌کند مقدار  $p$  به سرعت نوسانی شود. چنین استراتژی را می‌توان همچنین برای  $E_F$  استفاده کرد [۲۴].

Gcpso از  $p$  تطبیقی برای بدست آوردن از یک حجم نمونه گیری معین از وضعیت فعلی الگوریتم استفاده می‌کند. اگر یک مقدار معین  $p$  از بارها نتیجه‌گیری در یک موفقیت بدست آید سپس حجم نمونه‌گیری بزرگ انتخاب شده برای افزایش حداکثر فاصله سفر در یک مرحله است. به عبارت دیگر وقتی  $p$ ،  $E_F$  پی در پی شکست را تولید می‌کند، حجم نمونه برداری بیش از حد بزرگ است و باید به تبع آن کاهش یابد. در نهایت رکود کاملاً جلوگیری می‌کند اگر  $p' > 0$  برای تمام مراحل باشد [۱۸].

## ۲-۶-۴ – مقداردهی اولیه، معیار توقف، ترمهای تکرار و ارزیابی تابع

یک الگوریتم pso شامل مقداردهی اولیه ذرات، انتخاب پارامترها، ترمهای تکرار، ارزیابی تابع و شرایط توقف می‌باشد. گام اول pso مقداردهی اولیه به گروه و کنترل پارامترها است. گام دوم محاسبه تابع تناسب و تعریف تعداد تکرارها است و آخرین مرحله برآوردن شرایط توقف

است. تاثیر کنترل پارامترهای pso به طور مجزا در بخش های ۲-۲-۱ و ۳-۱-۳ مورد بحث قرار گرفت، بقیه شرایط در زیر بحث می شود.

## ۲-۶-۴-۱- مقدار دهی اولیه

در الگوریتم pso مقداردهی اولیه گروه بسیار مهم است چون ممکن است مقداردهی اولیه مناسب موازنه اکتشاف و بهره برداری در فضای جستجو به طور موثرتر کنترل کند و بهترین نتیجه را پیدا کند. معمولاً یک توزیع یکنواخت بر روی فضای جستجو برای مقداردهی اولیه گروه استفاده شده است. گوناگونی مقدار دهی گروه برای کارایی pso که مشخص می کند چه مقدار فضای جستجو را پوشش می دهد و چگونه ذرات بخوبی توزیع شده اند مهم می باشد.

علاوه بر این وقتی مقداردهی گروه تمامی فضای جستجو را پوشش نمی دهد الگوریتم pso مشکل می تواند مقدار بهینه را پیدا کند اگر بهینه خارج از ناحیه جستجو باشد. سپس pso فقط بهینه ای را پیدا می کند که مومنتوم ذره را در ناحیه پوششی به حرکت در آورد. بنابراین توزیع مقداردهی بهینه در طول دامنه تعریف شده با  $X_{min}$  و  $X_{max}$  که نشانگر رنج کمترین و بیشترین  $x$  برای تمام ذرات  $i$  در بعد  $j$  می باشد قرار می گیرد. بنابراین شیوه مقدار دهی اولیه برای هر ذره با استفاده از معادله زیر بدست می آید.

$$r_j \sim u(0,1) \quad x(0) = X_{min,j} + r_j (X_{max,j} - X_{min,j}) \quad (2-24)$$

سرعت های ذرات می توانند مقدار اولیه صفر داشته باشند،  $V_j(0)=0$  در حالیکه موقعیت های ذرات که به طور تصادفی مقدار دهی اولیه شده اند منجر به موقعیت ها و جذب های حرکتی تصادفی می شود، بعلاوه ذرات می توانند مقدار اولیه غیر صفر برای سرعتشان داشته

باشند، اما این باید با دقت انجام شود و مقادیر سرعت نباید خیلی بزرگ در نظر گرفته شود. در حالت کلی سرعت های زیاد، مومنتوم زیاد دارد و در نتیجه به روز رسانی سرعت بزرگ اتفاق می افتد. بنابراین یک چنین بروز رسانی موقعیت اولیه بزرگ می تواند سبب شود که ذرات از مرزهای ناحیه شدنی دور شوند و الگوریتم به تکرارهای بیشتری برای دسترسی به بهترین پاسخ نیاز پیدا کند [۱۸].

## **۲-۶-۴-۲- ترم های تکرار و ارزیابی تابع**

الگوریتم pso یک فرآیند بهینه سازی تکراری و تکرارها مکرراً ادامه خواهد داد تا زمانی که شرط توقف برآورده شود. در طی یک تکرار، یک ذره، بهترین موقعیت شخصی، بهترین موقعیت محلی و یا کلی را تعیین می کند، تنظیم سرعت و تعدادی ارزیابی تابع را انجام می دهد. ارزیابی تابع به معنی یک محاسبه تابع هدف یا تابع برازندگی می باشد که بهینگی یک راه حل را محاسبه می کند. اگر  $n$  تعداد کل ذرات در گروه باشد، سپس  $n$  ارزیابی تابع را در هر تکرار انجام می دهد [۱۸].

## **۲-۶-۴-۳- شرایط توقف**

آخرین مرحله در این متدولوژی عبارت است از این که در چه زمانی الگوریتم به یک جواب به اندازه کافی مناسب رسیده است، بطوریکه توقعات تصمیم گیرنده را ارضاء کند. ضوابط توقف برای پایان دادن به فرآیند جستجوی تکراری به شکلهای مختلف می تواند طراحی شود. معیارهای زیر برای توقف الگوریتم استفاده می شود:

- (۱) الگوریتم خاتمه می یابد وقتی که تعداد تکرارها به مقدار ماکزیمم برسد یا ارزیابی های تابع (FEs) بدست آید. اگر مقدار ماکزیمم تعداد تکرارها (FEs) خیلی کوچک

باشد فرآیند جستجو ممکن است قبل از پیدا شدن یک نتیجه خوب متوقف شود [۱۸].

(۲) اگر بعد از چند تکرار بهبودی حاصل نشود الگوریتم خاتمه یافته است. با روش‌های مختلفی می‌توان این بهبود را اندازه گرفت. به عنوان مثال اگر تغییرات میانگین موقعیت ذرات خیلی کوچک باشد یا میانگین سرعت ذرات بعد از چندین تکرار تقریباً صفر باشد الگوریتم متوقف می‌شود [۱۸].

(۳) الگوریتم خاتمه یافته است زمانی که شعاع گروه نرمال شده تقریباً برابر با صفر باشد. شعاع نرمال گروه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_{norm} = \frac{R_{max}}{diameter(s)} \quad (2-25)$$

که قطر (S)، قطر اولیه گروه است و  $R_{max}$  حداکثر شعاع است.

$$\|x_m - G_{best}\| \geq \|x_i - G_{best}\|, m, \forall i = 1, \dots, n \quad R_{max} = \|x_m - G_{best}\|$$

و  $\|\bullet\|$  نرم فاصله مناسب است. این فرآیند وقتی  $R_{norm} < \varepsilon$  باشد خاتمه می‌یابد. اگر  $\varepsilon$  بیش

از حد بزرگ باشد، این فرآیند را می‌توان قبل از موعد اینکه به یک راه حل خوب برسد پایان

داد. وقتی که  $\varepsilon$  بیش از حد کوچک باشد فرآیند ممکن است به تکرارهای بیشتر نیاز داشته باشد

[۱۸].

## ۲-۷- مروری بر کارهای انجام شده

امروزه چندین الگوریتم مبتنی بر رایانه در ریاضیات برای یافتن راه حل بهینه هر عملکرد

خطی یا غیر خطی موجود است. این الگوریتم‌ها به طور کلی به عنوان تکنیک‌های معمولی و



تکاملی طبقه‌بندی می‌شوند. برخی از روش‌های مرسوم مانند روش گرادیان (GM)، روش نقطه داخلی (IP)، برنامه‌نویسی خطی (LP) برای مساله بهینه پخش انرژی استفاده شده است [۹، ۱]. اما عملکرد مسئله بهینه پخش انرژی خطی نیست. بنابراین، مشکل روش‌های مرسوم در حین حل مسئله بهینه پخش انرژی، راه حل محلی بهینه ممکن است راه حل کلی خیلی مناسبی نباشد [۹]. مشکل دوم روش‌های مرسوم در صورتی است که متغیرهای حالت در یک بازه بسیار کوتاه تعریف شوند که راه حل می‌تواند غیر عملی شود [۳]. مشکل سوم در روش‌های متداول، محاسبه ضرب‌های لاگرانژ است که در آن طول گام لازم است [۱]. برای غلبه بر این مشکلات، الگوریتم‌های تکاملی (EA) مانند الگوریتم‌های GA، PSO، ACO و (SA) و غیره مورد علاقه می‌باشند. همه این الگوریتم‌ها از طبیعت الهام گرفته شده‌اند. این‌ها به عنوان الگوریتم‌های اکتشافی و فرا اکتشافی طبقه‌بندی می‌شوند. آلن تورینگ اولین کسی بود که در سال ۱۹۴۸ از الگوریتم‌های اکتشافی استفاده کرد. پس از دو دهه، الگوریتم‌های تکاملی در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ توسعه یافت. امروزه این الگوریتم‌ها برای حل مشکلات بهینه‌سازی در دنیای واقعی بسیار محبوب هستند. این موارد در مسایل پخش بهینه انرژی نیز مفید هستند [۵، ۳]. الگوریتم‌های ژنتیکی (GA)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، تکامل دیفرانسیل (DE) [۶، ۳] برای به حداقل رساندن تابع هدف که هزینه توان اکتیو می‌باشد ارائه شده‌اند.

اولاگونه و گروه همکارانش برای دیسپاچینگ توان اکتیو در سیستم قدرت از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [۴۱]. از آنجایی که هزینه تولید توان راکتیو به شدت به خروجی توان حقیقی وابسته است. قیمت‌گذاری مناسب توان راکتیو یک مساله چالشی در دهه گذشته بوده است. یک تابع هزینه منصف برای قیمت‌گذاری توان راکتیو بوجود آمده است که تابع هزینه

دقیق برای کار کرد پایا و ایمن می‌باشد. این تابع هزینه تولید توان راکتیو در تابع محاسبه هزینه مساله دیسپاچینگ بار اقتصادی برای رسیدن به هزینه دقیق واحدهای تولیدی مورد استفاده قرار گرفته است [۴۲].

تکنیک‌های بهینه سازی جستجوی جدید از قبیل آنیل شبیه سازی شده و الگوریتم های تکاملی و شبکه‌های عصبی و الگوریتم مورچگان مورد توجه محققین به خاطر توانایی شان در پیدا کردن پاسخ بهینه در مسایل دیسپاچینگ اقتصادی قرار گرفته است [۴۵،۴۴،۴۳].

در روش چانگ و گروه همکارانش برای دیسپاچینگ توان استفاده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها پیشنهاد داده شده است (۲۰۰۴) [۴۶]. یک روش مجتمع محاسبه نقطه توان حقیقی و راکتیو و تجزیه آنها به قیمت‌های سرویس‌های کمکی انتخابی توسط بیالاک و کاتومان (۲۰۰۴) بوجود آمده است [۴۷].

بهینه‌سازی ازدحام ذرات در برخی از مسایل چند هدفه [۲،۷] با توجه به کارکردهای مختلف هزینه مانند هزینه ترکیبی توان اکتیو و راکتیو استفاده شده است [۱۳]. در برنامه ریزی بهینه مدنظر در این پایان نامه، ژنراتورها برای به حداقل رساندن هزینه، به همراه حداقل رساندن میزان انتشار گازها، برنامه‌ریزی می‌شوند. برای به حداقل رساندن تولید گازهای گلخانه‌ای توسط دیسپاچینگ اقتصادی، یک تابع هزینه ترکیبی باتولید گازهای گلخانه‌ای درنظر گرفته می‌شود و با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات حل می‌شود.

## **فصل سوم:**

**فرموله کردن مساله و سیستم ۳۰ باسه IEEE**

### ۳-۱- فرموله کردن مساله

در این پایان نامه راه حل مساله بهینه پخش انرژی از طریق الگوریتم هوش مصنوعی ارائه خواهد شد. هدف در این پایان نامه این است که هزینه کل سوخت تولید شده و آلودگی محیط زیست ناشی از واحدهای تولید برق بر اساس فسیل ها به حداقل برسد. تجزیه و تحلیل عملکرد این مساله دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو با استفاده از تکنیک بهینه سازی ازدحام ذرات با بررسی ترکیبات مختلف مقادیر پارامترهای مرتبط انجام می شود. مشکل چند هدفه از به حداقل رساندن هزینه تولید برق و گازها ( $SO_2$ ،  $CO_2$ ،  $NO_x$ ) توسط یک الگوریتم هوشمند حل می شود. برای یافتن راه حل بهینه از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه استفاده می شود. مساله مدنظر برای شبکه ۳۰ باسه IEEE با ۶ ژنراتور در محیط متلب پیاده سازی شده و نتایج آن تحلیل خواهد شد.

تولید سوخت فسیلی آلاینده های مختلفی مانند دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) و دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) را در جو آزاد می کند. آلودگی جوی نه تنها انسان بلکه سایر اشکال زندگی مانند حیوانات، پرندگان، ماهی و گیاهان را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. همچنین باعث آسیب به مواد، کاهش دید و ایجاد گرم شدن کره زمین می شود. به حداقل رساندن همه این گازها با به حداقل رساندن هزینه، یک مشکل چند هدف را تشکیل می دهد.

### ۱- به حداقل رساندن هزینه تولید برق

هزینه هر ژنراتور تولید شده توسط سوخت های فسیلی می تواند به عنوان یک تابع درجه

دوم تنها از نظر ضریب توان واقعی و هزینه بیان شود:

$$F(1) = \sum_{i=1}^{NG} a_i P g_i^2 + b_i P g_i + c_i (\$/h) \quad (1-3)$$

### ۲- به حداقل رساندن انتشار گاز SO<sub>2</sub>

انتشار گازهای گلخانه ای SO<sub>2</sub> حاصل از سوخت های فسیلی می تواند به عنوان یک تابع

درجه دوم بیان شود:

$$F(2) = \sum_{i=1}^{NG} l_i P g_i^2 + m_i P g_i + n_i (kg/h) \quad (2-3)$$

### ۳- به حداقل رساندن انتشار گاز CO<sub>2</sub>

انتشار گازهای گلخانه ای CO<sub>2</sub> حاصل از سوخت های فسیلی می تواند به عنوان یک تابع

درجه دوم بیان شود:

$$F(3) = \sum_{i=1}^{NG} x_i P g_i^2 + y_i P g_i + z_i (kg/h) \quad (3-3)$$

### ۴- به حداقل رساندن انتشار گاز NO<sub>x</sub>

انتشار گازهای گلخانه ای NO<sub>x</sub> حاصل از سوخت های فسیلی می تواند به عنوان یک تابع

درجه دوم بیان شود:

$$F(4) = \sum_{i=1}^{NG} d_i P g_i^2 + e_i P g_i + f_i (kg/h) \quad (3-4)$$

تابع هدف کلی به صورت مساله مینیمم سازی بیان می شود:

$$\text{Min } F = w_1 * F(1) + w_2 * F(2) + w_3 * F(3) + w_4 * F(4) \quad (3-5)$$

که در رابطه بالا  $w_i$  ها ضرایب وزنی هستند.

### ۳-۲-۲- قیود مساله

در این پایان نامه قیود مساوی و نامساوی زیر در نظر گرفته می شود.

#### ۳-۲-۱- قید مساوی

در این پایان نامه قیود مساوی به صورت زیر در نظر گرفته می شود.

$$\sum_{i=1}^{NG} P g_i - \sum_{i=1}^{NB} P d_i - p_{loss} = 0 \quad (3-6)$$

رابطه بالا تحت عنوان "معادله تعادل توان" نیز شناخته می شود. که در آن NG تعداد

واحد های تولید کننده توان یا همان ژنراتورها می باشد. NB شماره باس بار می باشد و Pg توان

اکتیو تولید شده و Pd توان اکتیو مورد نیاز بار می باشد.

#### ۳-۲-۲- قید نامساوی

خروجی توان تولید شده توسط تمام ژنراتورها باید بین حد پایین و بالای آن تغییر کند.

که در رابطه زیر نیز نشان داده شده است:

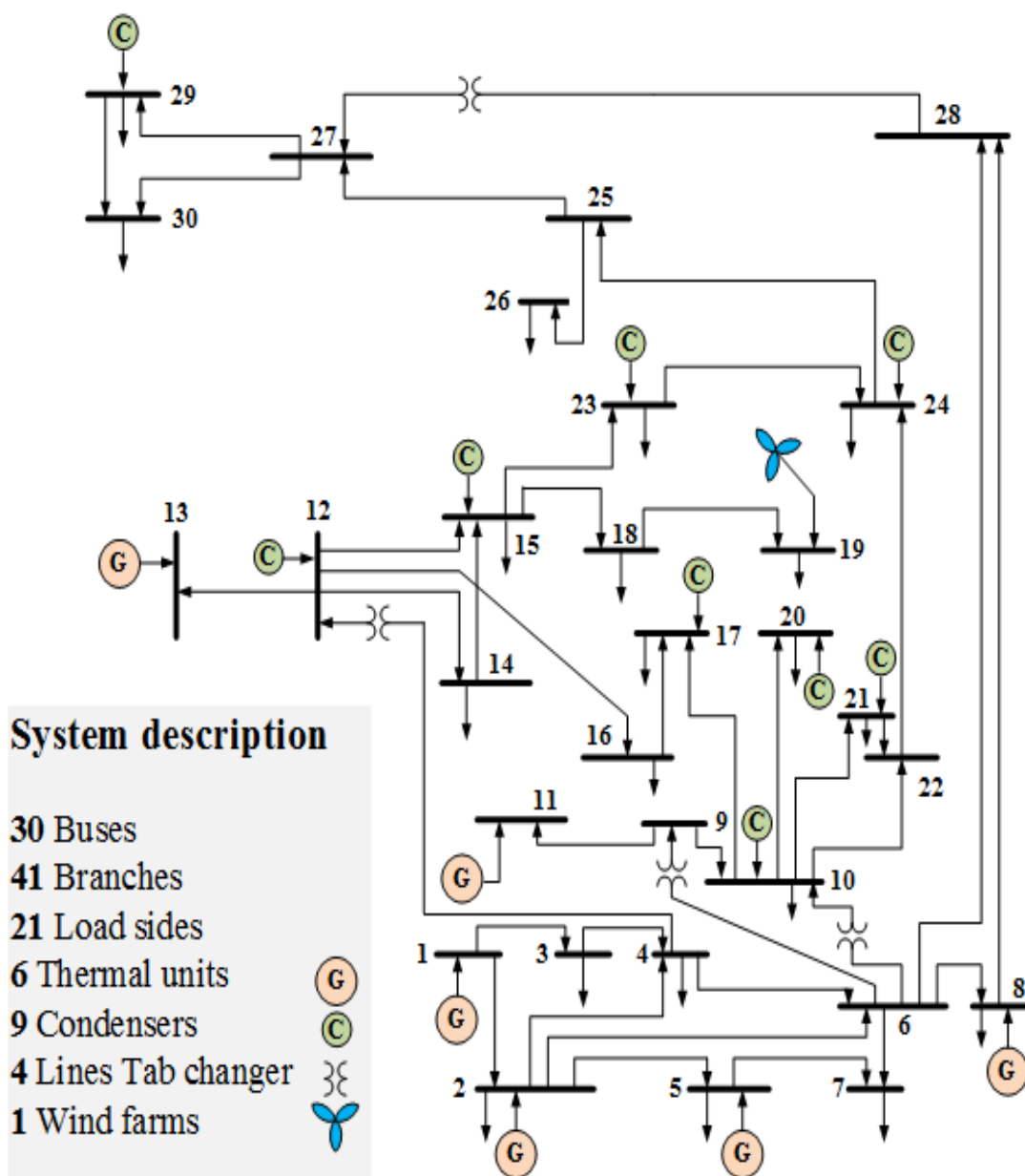
$$p_{gi}^{min} \leq p_{gi} \leq p_{gi}^{min} \quad (۷-۳)$$

### ۱- سیستم ۳۰ باسه IEEE

در شکل ۱-۳ سیستم ۳۰ باسه مورد استفاده در این پایان نامه نشان داده شده است. در

جدول ۱-۳ داده های باس سیستم ۳۰ باسه و در جدول ۱-۳ داده های خطوط سیستم ۳۰ باسه

نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- سیستم ۳۰ باسه IEEE [13]

جدول ۳-۱- داده های باس سیستم ۳۰ باس

| Bus No. | Bus Voltage     |                        | Generation |               | Load    |               |
|---------|-----------------|------------------------|------------|---------------|---------|---------------|
|         | Magnitude (P.U) | Phase angles (Degrees) | Real MW    | Reactive MVAR | Real MW | Reactive MVAR |
| 1       | 1.0500          | 0.0                    | 138.48     | -2.79         | 0.0     | 0.0           |
| 2       | 1.0338          | -2.7339                | 57.56      | 2.47          | 21.7    | 12.7          |
| 3       | 1.0313          | -4.6815                | 0.0        | 0.0           | 2.4     | 1.2           |
| 4       | 1.0263          | -5.6077                | 0.0        | 0.0           | 7.6     | 1.6           |
| 5       | 1.0058          | -8.9930                | 24.56      | 22.57         | 94.2    | 19.0          |



|    |        |          |       |       |      |      |
|----|--------|----------|-------|-------|------|------|
| 6  | 1.0208 | -6.4547  | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  |
| 7  | 1.0069 | -8.0244  | 0.0   | 0.0   | 22.8 | 10.9 |
| 8  | 1.0230 | -6.4733  | 35.0  | 34.84 | 30.0 | 30.0 |
| 9  | 1.0332 | -8.0300  | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  |
| 10 | 1.0183 | -9.9268  | 0.0   | 0.0   | 5.8  | 2.0  |
| 11 | 1.0913 | -6.1345  | 17.93 | 30.78 | 0.0  | 0.0  |
| 12 | 1.0399 | -9.4036  | 0.0   | 0.0   | 11.2 | 7.5  |
| 13 | 1.0883 | -8.2049  | 16.91 | 37.83 | 0.0  | 0.0  |
| 14 | 1.0236 | -10.3086 | 0.0   | 0.0   | 6.2  | 1.6  |
| 15 | 1.0179 | -10.3600 | 0.0   | 0.0   | 8.2  | 2.5  |
| 16 | 1.0235 | -9.90280 | 0.0   | 0.0   | 3.5  | 1.8  |
| 17 | 1.0144 | -10.1356 | 0.0   | 0.0   | 9.0  | 5.8  |
| 18 | 1.0057 | -10.9253 | 0.0   | 0.0   | 3.2  | 0.9  |
| 19 | 1.0017 | -11.0615 | 0.0   | 0.0   | 9.5  | 3.4  |
| 20 | 1.0051 | -10.8310 | 0.0   | 0.0   | 2.2  | 0.7  |
| 21 | 1.0061 | -10.4047 | 0.0   | 0.0   | 17.5 | 11.2 |
| 22 | 1.0069 | -10.3936 | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  |
| 23 | 1.0053 | -10.7221 | 0.0   | 0.0   | 3.2  | 1.6  |
| 24 | 0.9971 | -10.8465 | 0.0   | 0.0   | 8.7  | 6.7  |
| 25 | 1.0086 | -10.9074 | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  |
| 26 | 0.9908 | -11.3345 | 0.0   | 0.0   | 3.5  | 2.3  |
| 27 | 1.0245 | -10.6624 | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  |
| 28 | 1.0156 | -6.86710 | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 0.0  |
| 29 | 1.0047 | -11.8893 | 0.0   | 0.0   | 2.4  | 0.9  |
| 30 | 0.9932 | -12.7699 | 0.0   | 0.0   | 10.6 | 1.9  |

جدول ۳-۲- داده های خطوط سیستم ۳۰ باسه

| Line No. | Between Buses | Generation |            | Half Line Charging Susceptance per unit |
|----------|---------------|------------|------------|---|
|          |               | R per unit | X per unit |   |
| 1        | 1-2           | 0.0192     | 0.0575     | 0.0528                                  |
| 2        | 1-3           | 0.0452     | 0.1652     | 0.0408                                  |
| 3        | 2-4           | 0.0570     | 0.1737     | 0.0368                                  |
| 4        | 3-4           | 0.0132     | 0.0379     | 0.0084                                  |
| 5        | 2-5           | 0.0472     | 0.1983     | 0.0418                                  |
| 6        | 2-6           | 0.0581     | 0.1763     | 0.0374                                  |
| 7        | 4-6           | 0.0119     | 0.0414     | 0.0090                                  |
| 8        | 5-7           | 0.0460     | 0.1160     | 0.0204                                  |
| 9        | 6-7           | 0.0267     | 0.0820     | 0.0170                                  |
| 10       | 6-8           | 0.0120     | 0.0420     | 0.0090                                  |
| 11       | 6-9           | 0.0        | 0.02080    | 0.0                                     |
| 12       | 6-10          | 0.0        | 0.5560     | 0.0                                     |
| 13       | 9-10          | 0.0        | 0.1100     | 0.0                                     |
| 14       | 4-12          | 0.0        | 0.2560     | 0.0                                     |
| 15       | 12-14         | 0.1231     | 0.2559     | 0.0                                     |
| 16       | 12-15         | 0.0662     | 0.1304     | 0.0                                     |

|    |       |        |        |        |
|----|-------|--------|--------|--------|
| 17 | 12-16 | 0.0945 | 0.1987 | 0.0    |
| 18 | 14-15 | 0.2210 | 0.1997 | 0.0    |
| 19 | 16-17 | 0.0524 | 0.1923 | 0.0    |
| 20 | 15-18 | 0.1073 | 0.2185 | 0.0    |
| 21 | 18-19 | 0.0639 | 0.1292 | 0.0    |
| 22 | 19-20 | 0.0340 | 0.0680 | 0.0    |
| 23 | 10-20 | 0.0936 | 0.2090 | 0.0    |
| 24 | 10-17 | 0.0324 | 0.0845 | 0.0    |
| 25 | 10-21 | 0.0348 | 0.0749 | 0.0    |
| 26 | 10-22 | 0.0727 | 0.1499 | 0.0    |
| 27 | 21-22 | 0.0116 | 0.0236 | 0.0    |
| 28 | 15-23 | 0.1000 | 0.2020 | 0.0    |
| 29 | 22-24 | 0.1150 | 0.1790 | 0.0    |
| 30 | 23-24 | 0.1320 | 0.2700 | 0.0    |
| 31 | 24-25 | 0.1885 | 0.3292 | 0.0    |
| 32 | 25-27 | 0.1093 | 0.2087 | 0.0    |
| 33 | 28-27 | 0.0    | 0.3960 | 0.0    |
| 34 | 27-29 | 0.2198 | 0.4153 | 0.0    |
| 35 | 27-30 | 0.3202 | 0.6027 | 0.0    |
| 36 | 29-30 | 0.2399 | 0.4533 | 0.0    |
| 37 | 8-28  | 0.0636 | 0.2000 | 0.4028 |
| 38 | 6-28  | 0.0169 | 0.0599 | 0.0130 |
| 39 | 9-11  | 0.0    | 0.2080 | 0.0    |
| 40 | 12-13 | 0.0    | 0.1400 | 0.0    |
| 41 | 25-26 | 0.2544 | 0.3800 | 0.0    |

### ۳-۳- فرضیات تحقیق

دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه می‌توان انجام داد.

با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه برای دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی هزینه عملیاتی کمتری بدست می‌آید.

با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه برای دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی میزان آلودگی کمتری ایجاد می‌شود.

## **فصل چهارم:**

### **پیاده‌سازی و بررسی نتایج**

## ۴-۱ - کلیات پیاده‌سازی

هدف در این پایان نامه این است که هزینه کل سوخت تولید شده و آلودگی محیط زیست ناشی از واحدهای تولید برق بر اساس فسیل‌ها به حداقل برسد. تجزیه و تحلیل عملکرد این مساله دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی ازدحام ذرات با بررسی ترکیبات مختلف مقادیر پارامترهای مرتبط انجام می‌شود. مشکل چند هدفه از به حداقل رساندن هزینه تولید برق و گازها ( $SO_2$ ،  $CO_2$ ،  $NO_x$ ) توسط یک الگوریتم هوشمند حل می‌شود. برای یافتن راه حل بهینه از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه استفاده می‌شود. مساله مدنظر برای شبکه ۳۰ باسه IEEE با ۶ ژنراتور در محیط متلب پیاده‌سازی شده و نتایج آن تحلیل خواهد شد. کدهای متلب نوشته شده برای الگوریتم در پیوست آورده شده است.

تولید سوخت فسیلی آلاینده‌های مختلفی مانند دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) و دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) را در جو آزاد می‌کند. آلودگی جوی نه تنها انسان بلکه سایر اشکال زندگی مانند حیوانات، پرندگان، ماهی و گیاهان را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین باعث آسیب به مواد، کاهش دید و ایجاد گرم شدن کره زمین می‌شود. به حداقل رساندن همه این گازها با به حداقل رساندن هزینه، یک مشکل چند هدف را تشکیل می‌دهد.

### ۱- به حداقل رساندن هزینه تولید برق

هزینه هر ژنراتور تولید شده توسط سوخت های فسیلی می تواند به عنوان یک تابع درجه

دوم تنها از نظر ضریب توان واقعی و هزینه بیان شود:

$$F(1) = \sum_{i=1}^{NG} a_i P g_i^2 + b_i P g_i + c_i (\$/h) \quad (1-4)$$

### ۲- به حداقل رساندن انتشار گاز SO<sub>2</sub>

انتشار گازهای گلخانه ای SO<sub>2</sub> حاصل از سوخت های فسیلی می تواند به عنوان یک تابع

درجه دوم بیان شود:

$$F(2) = \sum_{i=1}^{NG} l_i P g_i^2 + m_i P g_i + n_i (kg/h) \quad (2-4)$$

### ۳- به حداقل رساندن انتشار گاز CO<sub>2</sub>

انتشار گازهای گلخانه ای CO<sub>2</sub> حاصل از سوخت های فسیلی می تواند به عنوان یک تابع

درجه دوم بیان شود:

$$F(3) = \sum_{i=1}^{NG} x_i P g_i^2 + y_i P g_i + z_i (kg/h) \quad (3-4)$$

### ۴- به حداقل رساندن انتشار گاز NO<sub>x</sub>

انتشار گازهای گلخانه ای NO<sub>x</sub> حاصل از سوخت های فسیلی می تواند به عنوان یک

تابع درجه دوم بیان شود:

$$F(4) = \sum_{i=1}^{NG} d_i P g_i^2 + e_i P g_i + f_i(kg/h) \quad (4-4)$$

تابع هدف کلی به صورت مساله مینیم سازی بیان می شود:

$$F = w_1 * F(1) + w_2 * F(2) + w_3 * F(3) + w_4 * F(4) \text{ Min} \quad (4-5)$$

که در رابطه بالا  $w_i$  ها ضرایب وزنی هستند.

برای حل تابع چند هدفه بالا به ازای ضرایب وزنی مختلف از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده شده است. در PSO اصلی همانطوری که در فصل دو بدان پرداخته شد، موقعیت یا مختصات ذره ی  $i - \text{ام}$  در تکرار  $k - \text{ام}$  توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$x_i(k) = x_i(k-1) + v_i(k); i = 1, 2, \dots, N \quad (4-6)$$

$N$  نشان دهنده اندازه جمعیت است و  $v_i(k)$  سرعت ذره  $i - \text{ام}$  در تکرار  $k - \text{ام}$  است که نرخ تغییر موقعیت ذره در فضای جستجوی طراحی را نشان می دهد، و توسط رابطه زیر بدست می آید:

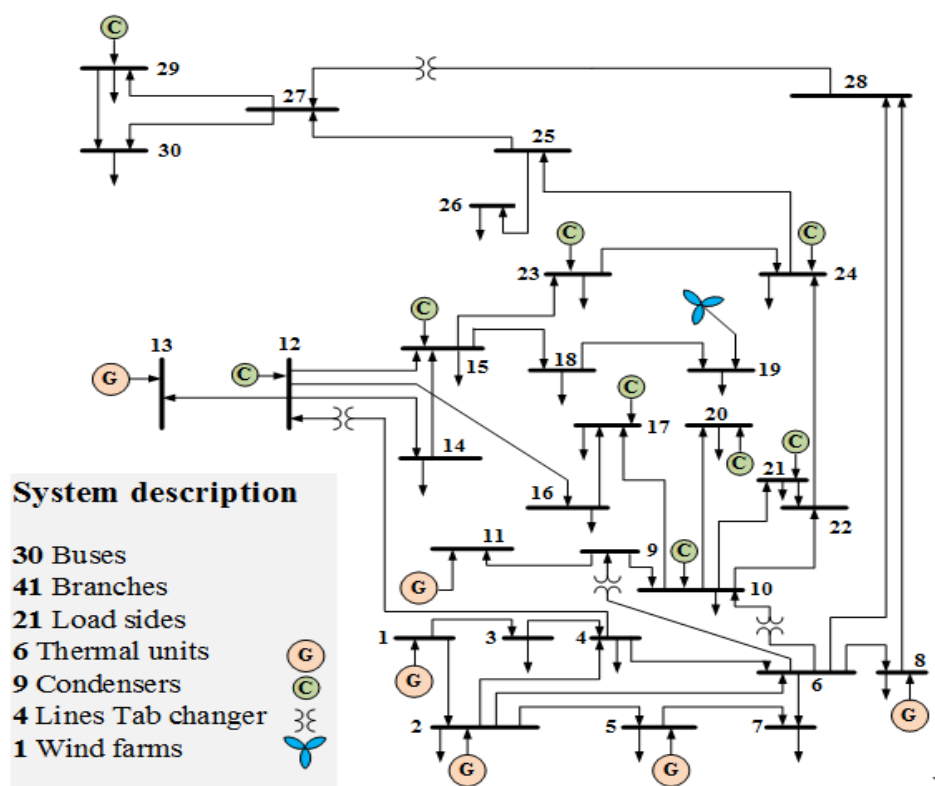
$$v_i(k) = v_i(k-1) + v_i v_i [P_{best} - x_i(k-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - x_i(k-1)] \quad (4-7)$$

در رابطه بالا  $C1$  و  $C2$  نرخ یادگیری شناختی و اجتماعی هستند، و  $r1$  و  $r2$  عدد تصادفی در محدوده ۰ و ۱ هستند. پارامترهای  $C1$  و  $C2$  اهمیت نسبی موقعیت (حافظه) ذرات را نسبت به موقعیتشان در اجتماع نشان می دهند.  $P_{best,i}$  بهترین موقعیتی است که توسط ذره  $i$  به دست

می آید و Gbest بهترین موقعیت کلی در بین تمام ذرات است.

## ۴-۲- سیستم تحت مطالعه

رویکرد دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه بر روی یک سیستم اتوبوس IEEE-30 ۶ ژنراتور اجرا و آزمایش خواهد شد. سیستم IEEE 30 از ۴۸ شاخه، ۶ باس ژنراتور و ۲۲ باس بار تشکیل شده است. در اینجا، باس ۱ به عنوان باس اسلک فرض می‌شود، باس‌های ۲، ۵، ۸، ۱۱، ۱۳ PV-Buses و بقیه PQ-bus هستند. شماتیک سیستم مورد مطالعه در شکل ۴-۱ نشان داده شده است و داده‌های باس سیستم ۳۰ داده‌های خطوط سیستم ۳۰ باسه مانند آنچه هست که در فصل سوم آمده است.



شکل ۴-۱- سیستم ۳۰ باسه IEEE [13]

## ۴-۳ - داده های مورد نیاز

سیستم IEEE-30 با سه که شامل ۶ ژنراتور است برای مطالعه دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو

چند منظوره در نظر گرفته شده است. داده های سیستم مانند ضرایب هزینه سوخت و ضرایب

انتشار گازهای CO<sub>2</sub> ، SO<sub>2</sub> ، NO<sub>x</sub> به شرح زیر است.

جدول ۴-۱- ضرایب هزینه سوختی سیستم

| Gen.Unit | A<br>(\$/MWh <sup>2</sup> ) | b<br>(\$/Mwh) | c<br>(\$/h) |
|----------|-----------------------------|---------------|-------------|
| ۱        | ۰.۰۰۲۰                      | ۸.۴۳          | ۸۵.۶۳       |
| ۲        | ۰.۰۰۳۸                      | ۶.۴۱          | ۳۰۳.۷۷      |
| ۳        | ۰.۰۰۲۱                      | ۷.۴۲          | ۸۴۷.۱۴      |
| ۴        | ۰.۰۰۱۳                      | ۸.۳۰          | ۲۷۴.۲۲      |
| ۵        | ۰.۰۰۲۱                      | ۷.۴۲          | ۸۴۷.۱۴      |
| ۶        | ۰.۰۰۵۹                      | ۶.۹۱          | ۲۰۲.۰۲      |

جدول ۴-۲- ضرایب انتشار گاز CO<sub>2</sub> در سیستم

| Gen.Unit | X<br>(kg/MWh <sup>2</sup> ) | y<br>(kg/Mwh) | z<br>(\$/h) |
|----------|-----------------------------|---------------|-------------|
| ۱        | ۰.۲۶                        | -۶۱.۰۱        | ۵۰۸۰.۱۴     |
| ۲        | ۰.۱۴                        | -۲۹.۹۵        | ۳۸۲۴.۷۷     |
| ۳        | ۰.۱۰                        | -۹.۵۵         | ۱۳۴۲.۸۵     |
| ۴        | ۰.۱۰                        | -۱۲.۷۳        | ۱۸۱۹.۶۲     |
| ۵        | ۰.۱۰                        | -۹.۵۵         | ۱۳۴۲.۸۵     |
| ۶        | ۰.۴۰                        | -۱۲۱.۹۸       | ۱۱۳۸۱.۰۷    |



جدول ۴-۳- ضرایب انتشار گاز SO<sub>2</sub> در سیستم

| Gen.Unit | I<br>(kg/MWh <sup>2</sup> ) | M<br>(kg/Mwh) | n<br>(\$/h) |
|----------|-----------------------------|---------------|-------------|
| ۱        | ۰.۰۰۱۲                      | ۵.۰۵          | ۵۱.۳۷       |
| ۲        | ۰.۰۰۲۳                      | ۳.۸۴          | ۱۸۲.۲۶      |
| ۳        | ۰.۰۰۱۲                      | ۴.۴۵          | ۵۰۸.۵۲      |
| ۴        | ۰.۰۰۰۸                      | ۴.۹۷          | ۱۶۵.۳۴      |
| ۵        | ۰.۰۰۱۲                      | ۴.۴۵          | ۵۰۸.۵۲      |
| ۶        | ۰.۰۰۳۵                      | ۴.۱۴          | ۱۲۱.۲۱      |

جدول ۴-۴- ضرایب انتشار گاز NO<sub>x</sub> در سیستم

| Gen.Unit | D<br>(kg/MWh <sup>2</sup> ) | e<br>(kg/Mwh) | F<br>(\$/h) |
|----------|-----------------------------|---------------|-------------|
| ۱        | ۰.۰۰۶۳                      | - ۰.۳۸        | ۸۰.۹۰       |
| ۲        | ۰.۰۰۶۴                      | - ۰.۷۹        | ۲۸.۸۲       |
| ۳        | ۰.۰۰۳۱                      | - ۱.۳۶        | ۳۲۴.۱۷      |
| ۴        | ۰.۰۰۶۷                      | - ۲.۳۹        | ۶۱۰.۲۵      |
| ۵        | ۰.۰۰۳۱                      | - ۱.۳۶        | ۳۲۴.۱۷      |
| ۶        | ۰.۰۰۶۱                      | - ۰.۳۹        | ۵۰.۳۸       |

برای الگوریتم PSO بر اساس ارزیابی عملکرد پس از چندین آزمایش، اندازه جمعیت

برابر ۶۰ در نظر گرفته شده است، تعداد تکرارها ۱۰۰ و مقدار ضرایب فردی و اجتماعی ۲ در نظر

گرفته شده است. مقادیر انتخاب شده برای الگوریتم PSO در جدول ۴-۵ نشان داده شده است.

جدول ۴-۵- پارامترهای الگوریتم PSO

| الگوریتم | C1 | C2 | تکرار | اندازه جمعیت |
|----------|----|----|-------|--------------|
| PSO      | ۲  | ۲  | ۱۰۰   | ۶۰           |

## ۴-۴- نتایج پیاده سازی

برای حل تابع چند هدفه مطرح به ازای ضرایب وزنی مختلف از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده شده است. در این قسمت مقادیر مختلف وزن‌ها در نظر گرفته شده و هزینه تولید برق و انتشار گاز  $CO_2$ ، انتشار گاز  $SO_2$ ، انتشار گاز  $NOX$  به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست خواهد آمد و به نمایش در خواهد آمد.

### ۴-۴-۱- حالت اول ضرایب وزنی

در حالت اول مقادیر وزن‌ها به صورت جدول ۴-۶ در نظر گرفته شده است و هزینه تولید برق و انتشار گاز  $CO_2$ ، انتشار گاز  $SO_2$  و انتشار گاز  $NOX$  به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۷ نشان داده شده است.

جدول ۴-۶- ضرایب وزنی حالت اول

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۱          | ۰.۴۵ | ۰.۳۶۴۴ | ۰.۰۶۳۳ | ۰.۱۲۲۳ |

جدول ۴-۷- ضرایب وزنی حالت اول و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز $CO_2$ (kg/h) | انتشار گاز $SO_2$ (kg/h) | انتشار گاز $NO_x$ (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ۱          | ۰.۴۵ | ۰.۳۶۴۴ | ۰.۰۶۳۳ | ۰.۱۲۲۳ | ۴۹۰۶۸۸             | ۱۷۲۴۷.۱۶                 | ۲۹۴۳.۳۹                  | ۱۳۱۵.۳۴                  |

#### ۴-۲-۴- حالت دوم ضرایب وزنی

در حالت دوم مقادیر وزن‌ها به صورت جدول ۴-۸ در نظر گرفته شده است و هزینه تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub>، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۹ نشان داده شده است.

جدول ۴-۸- ضرایب وزنی حالت دوم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۲          | ۰.۴۵ | ۰.۱۲۷۱ | ۰.۳۸۴۳ | ۰.۰۳۸۵ |

جدول ۴-۹- ضرایب وزنی حالت دوم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۲          | ۰.۴۵ | ۰.۱۲۷۱ | ۰.۳۸۴۳ | ۰.۰۳۸۵ | ۴۸۴۴.۴۳            | ۱۵۲۹۹.۵۸                          | ۲۹۰۶.۰۰                           | ۱۲۷۸۸۰                            |

#### ۴-۳-۴- حالت سوم ضرایب وزنی

در حالت سوم مقادیر وزن‌ها به صورت جدول ۴-۱۰ در نظر گرفته شده است و هزینه تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub>، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۰- ضرایب وزنی حالت سوم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۳          | ۰.۴۵ | ۰.۱۵۵۸ | ۰.۲۵۵۸ | ۰.۱۳۸۲ |

جدول ۴-۱۱- ضرایب وزنی حالت سوم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۳          | ۰.۴۵ | ۰.۱۵۵۸ | ۰.۲۵۵۸ | ۰.۱۳۸۲ | ۴۸۵۴.۵۲            | ۱۵۳۶۱.۷۶                          | ۲۹۱۲.۰۴                           | ۱۳۱۶.۸۸                           |

#### ۴-۴-۴- حالت چهارم ضرایب وزنی

در حالت چهارم مقادیر وزن‌ها به صورت جدول ۴-۱۲ در نظر گرفته شده است و هزینه

تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub>، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با

استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۱۳ نشان داده

شده است.

جدول ۴-۱۲- ضرایب وزنی حالت چهارم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۴          | ۰.۴۵ | ۰.۵۴۳۳ | ۰.۰۱۵۱ | ۰.۰۳۲۴ |

جدول ۴-۱۳- ضرایب وزنی حالت چهارم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۴          | ۰.۴۵ | ۰.۵۴۳۳ | ۰.۰۱۵۱ | ۰.۰۳۲۴ | ۴۹۰۶.۴۶            | ۱۶۹۵۹.۵۶                          | ۲۹۴۳.۱۶                           | ۱۳۷۶.۴۴                           |

#### ۴-۴-۵- حالت پنجم ضرایب وزنی

در حالت پنجم مقادیر وزن‌ها به صورت جدول ۴-۱۴ در نظر گرفته شده است و هزینه

تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub> ، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۱۵ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۴- ضرایب وزنی حالت پنجم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۵          | ۰.۴۵ | ۰.۳۹۳۹ | ۰.۱۴۰۹ | ۰.۰۱۵۱ |

جدول ۴-۱۵- ضرایب وزنی حالت پنجم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۵          | ۰.۴۵ | ۰.۳۹۳۹ | ۰.۱۴۰۹ | ۰.۰۱۵۱ | ۴۸۲۱.۱۳            | ۱۵۲۰۰.۲۱                          | ۲۸۸۲.۱۰                           | ۱۲۷۰.۶۸                           |

#### ۴-۴-۶- حالت ششم ضرایب وزنی

در حالت ششم مقادیر وزن ها به صورت جدول ۴-۱۶ در نظر گرفته شده است و هزینه تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub> ، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۱۷ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۶- ضرایب وزنی حالت ششم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۶          | ۰.۴۵ | ۰.۱۵۹۶ | ۰.۱۴۶۲ | ۰.۲۴۴۰ |

جدول ۴-۱۷- ضرایب وزنی حالت ششم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۶          | ۰.۴۵ | ۰.۱۵۹۶ | ۰.۱۴۶۲ | ۰.۲۴۴۰ | ۴۸۳۷.۵۲            | ۱۵۲۵۸.۵۳                          | ۲۹۰۱.۸۸                           | ۱۲۸۹.۲۶                           |

#### ۴-۴-۷- حالت هفتم ضرایب وزنی

در حالت هفتم مقادیر وزن‌ها به صورت جدول ۴-۱۸ در نظر گرفته شده است و هزینه

تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub>، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با

استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۱۹ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۸- ضرایب وزنی حالت هفتم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۷          | ۰.۴۵ | ۰.۱۲۷۱ | ۰.۲۰۵۸ | ۰.۲۱۶۹ |

جدول ۴-۱۹- ضرایب وزنی حالت هفتم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۷          | ۰.۴۵ | ۰.۱۲۷۱ | ۰.۲۰۵۸ | ۰.۲۱۶۹ | ۴۸۵۵.۰۰            | ۱۵۲۵۹.۲۸                          | ۲۹۱۲.۳۱                           | ۱۳۰۵.۴۴                           |

#### ۴-۴-۸- حالت هشتم ضرایب وزنی

در حالت هشتم مقادیر وزن‌ها به صورت جدول ۴-۲۰ در نظر گرفته شده است و هزینه

تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub>، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با

استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۲۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۰- ضرایب وزنی حالت هشتم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۸          | ۰.۴۵ | ۰.۲۴۷۸ | ۰.۲۷۱۹ | ۰.۰۳۰۲ |

جدول ۴-۲۱- ضرایب وزنی حالت هشتم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۸          | ۰.۴۵ | ۰.۲۴۷۸ | ۰.۲۷۱۹ | ۰.۰۳۰۲ | ۴۹۱۵.۷۲            | ۱۶۸۰۹.۰۳                          | ۲۹۴۸.۷۰                           | ۱۳۶۳.۴۴                           |

#### ۴-۴-۹- حالت نهم ضرایب وزنی

در حالت نهم مقادیر وزنها به صورت جدول ۴-۲۲ در نظر گرفته شده است و هزینه تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub>، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۲۳ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲۲- ضرایب وزنی حالت نهم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۹          | ۰.۴۵ | ۰.۴۸۶۵ | ۰.۰۶۴۲ | ۰.۳۱۴۰ |

جدول ۴-۲۳- ضرایب وزنی حالت نهم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۹          | ۰.۴۵ | ۰.۴۸۶۵ | ۰.۰۶۴۲ | ۰.۳۱۴۰ | ۴۸۵۷.۶۵            | ۱۶۵۶۶.۲۰                          | ۲۹۱۳.۹۵                           | ۱۳۱۸.۴۴                           |

#### ۴-۴-۱۰- حالت دهم ضرایب وزنی

در حالت دهم مقادیر وزن‌ها به صورت جدول ۴-۲۴ در نظر گرفته شده است و هزینه

تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub>، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با

استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است که در جدول ۴-۲۵ نشان داده

شده است.

جدول ۴-۲۴- ضرایب وزنی حالت دهم

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۱۰         | ۰.۴۵ | ۰.۲۸۰۳ | ۰.۱۸۵۷ | ۰.۰۸۳۸ |

جدول ۴-۲۵- ضرایب وزنی حالت دهم و نتایج بهینه بدست آمده برای هزینه سوختی و انتشار گازها

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه سوختی (\$/h) | انتشار گاز CO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز SO <sub>2</sub> (kg/h) | انتشار گاز NO <sub>x</sub> (kg/h) |
|------------|------|--------|--------|--------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ۱۰         | ۰.۴۵ | ۰.۲۸۰۳ | ۰.۱۸۵۷ | ۰.۰۸۳۸ | ۴۸۷۵.۰۶            | ۱۶۰۰۲.۳۲                          | ۲۸۲۴.۳۶                           | ۱۳۳۶.۸۶                           |

#### ۴-۴-۱۱- حالت بهینه ضرایب وزنی

بازای هر ۱۰ حالت مقادیر وزن‌ها، هزینه تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub>، انتشار گاز SO<sub>2</sub>



و انتشار گاز NOX به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست

آمد که همه آن ها به طور یکجا در جدول ۴-۲۶ نشان داده شده است. همانطور که در جدول

۴-۲۶ مشاهده می شود در حالت پنجم هزینه سوختی  $4821.13 (\$/h)$  است که نسبت به همه

هر ۹ حالت دیگر کمتر بدست آمده است و همچنین انشار گاز  $CO_2$   $(kg/h)$   $15200.21$

بدست آمده است که نسبت به همه هر ۹ حالت دیگر کمتر است و همچنین انشار گاز  $NO_x$

$(kg/h)$   $1270.68$  بدست آمده است که نسبت به همه هر ۹ حالت دیگر کمتر است. باتوجه به

نتایج بدست آمده حالت پنجم نتایج بهینه تری نسبت به بقیه حالت ها ایجاد میکند و بنابراین

بین ۱۰ حالت آزمایش شده حالت پنجم به عنوان حالت بهینه انتخاب می شود.

جدول ۴-۲۶- حالت های مختلف ضرایب وزنی و نتایج بهینه بدست آمده برای آن ها برای هزینه

سوختی و انتشار گازها

| شماره<br>حالت | W1   | W2     | W3     | W4     | هزینه<br>سوختی<br>(\$/h) | انتشار گاز<br>$CO_2$<br>(Kg/h) | انتشار گاز<br>$SO_2$<br>(Kg/h) | انتشار گاز<br>$NO_x$<br>(Kg/h) |
|---------------|------|--------|--------|--------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ۱             | ۰.۴۵ | ۰.۳۶۴۴ | ۰.۰۶۳۳ | ۰.۱۲۲۳ | ۴۹۰۶.۸۸                  | ۱۷۲۴۷.۱۶                       | ۲۹۴۳.۳۹                        | ۱۳۱۵.۳۴                        |
| ۲             | ۰.۴۵ | ۰.۱۲۷۱ | ۰.۳۸۴۳ | ۰.۰۳۵۸ | ۴۸۴۴.۴۳                  | ۱۵۲۹۹.۵۸                       | ۲۹۰۶.۰۰                        | ۱۲۷۸.۸۰                        |
| ۳             | ۰.۴۵ | ۰.۱۵۵۸ | ۰.۲۵۵۸ | ۰.۱۳۸۲ | ۴۸۵۴.۵۲                  | ۱۵۳۶۱.۷۶                       | ۲۹۱۲.۰۴                        | ۱۳۱۶.۸۸                        |
| ۴             | ۰.۴۵ | ۰.۵۴۳۳ | ۰.۰۱۵۱ | ۰.۰۳۲۴ | ۴۹۰۶.۴۶                  | ۱۶۹۵۹.۵۶                       | ۲۹۴۳.۱۶                        | ۱۳۷۶.۴۴                        |
| ۵             | ۰.۴۵ | ۰.۳۹۳۹ | ۰.۱۴۰۹ | ۰.۰۱۵۱ | ۴۸۲۱.۱۳                  | ۱۵۲۰۰.۲۱                       | ۲۸۸۲.۱۰                        | ۱۲۷۰.۶۸                        |
| ۶             | ۰.۴۵ | ۰.۱۵۹۶ | ۰.۱۴۶۲ | ۰.۲۴۴۰ | ۴۸۳۷.۵۲                  | ۱۵۲۵۸.۵۳                       | ۲۹۰۱.۸۸                        | ۱۲۸۹.۲۶                        |
| ۷             | ۰.۴۵ | ۰.۱۲۷۱ | ۰.۲۰۵۸ | ۰.۲۱۶۹ | ۴۸۵۵.۰۰                  | ۱۵۲۵۹.۲۸                       | ۲۹۱۲.۳۱                        | ۱۳۰۵.۴۴                        |
| ۸             | ۰.۴۵ | ۰.۲۴۷۸ | ۰.۲۷۱۹ | ۰.۰۳۰۲ | ۴۹۱۵.۷۲                  | ۱۶۸۰۹.۰۳                       | ۲۹۴۸.۷۰                        | ۱۳۶۳.۴۴                        |

|    |      |        |        |        |         |          |         |         |
|----|------|--------|--------|--------|---------|----------|---------|---------|
| ۹  | ۰.۴۵ | ۰.۴۸۶۵ | ۰.۰۶۴۲ | ۰.۳۱۴۰ | ۴۸۵۷.۶۵ | ۱۶۵۶۶.۲۰ | ۲۹۱۳.۹۵ | ۱۳۱۸.۴۴ |
| ۱۰ | ۰.۴۵ | ۰.۲۸۰۳ | ۰.۱۸۵۷ | ۰.۰۸۳۸ | ۴۸۷۵.۰۶ | ۱۶۰۰۲.۳۲ | ۲۸۲۴.۳۶ | ۱۳۳۶.۸۶ |

با توجه به اینکه حالت پنجم به عنوان حالت بهینه انتخاب شد ضرایب بهینه وزنی در

جدول ۴-۲۷ نشان داده شده است. با توجه به ضرایب بهینه بدست آمده دیسپاچینگ توان اکتیو

و مقدار توان تولیدی ژنراتورها در سیستم ۳۰ باسه که توسط الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

بدست آمده است در جدول ۴-۲۸ به نمایش در آمده است.

جدول ۴-۲۷- ضرایب وزنی حالت بهینه

| شماره حالت | W1   | W2     | W3     | W4     |
|------------|------|--------|--------|--------|
| ۵          | ۰.۴۵ | ۰.۳۹۳۹ | ۰.۱۴۰۹ | ۰.۰۱۵۱ |

جدول ۴-۲۸- توان بدست آمده خروجی ژنراتورها

| شماره ژنراتور | $P_{gi}$ | توان خروجی ژنراتور (MW) |
|---------------|----------|-------------------------|
| ۱             | $P_{g1}$ | ۱۰۶.۷۸                  |
| ۲             | $P_{g2}$ | ۷۷.۰۲                   |
| ۳             | $P_{g3}$ | ۳۳.۵۲                   |
| ۴             | $P_{g4}$ | ۲۸.۱۲                   |
| ۵             | $P_{g5}$ | ۲۲.۰۵                   |
| ۶             | $P_{g6}$ | ۲۷.۲۵                   |

## **فصل پنجم:**

### **جمع بندی**

## ۵-۱- جمع بندی

در این پایان نامه راه حل مساله بهینه پخش انرژی از طریق الگوریتم ازدحام ذرات ارائه شد. هدف در این پایان نامه این بود که هزینه کل سوخت تولید شده و آلودگی محیط زیست ناشی از واحدهای تولید برق بر اساس فسیل ها به حداقل برسد. تجزیه و تحلیل عملکرد این مساله دیسپاچینگ بهینه توان اکتیو با استفاده از تکنیک بهینه سازی ازدحام ذرات با بررسی ترکیبات مختلف مقادیر پارامترهای مرتبط انجام گردید. مشکل چند هدفه از به حداقل رساندن هزینه تولید برق و گازها ( $SO_2$ ،  $CO_2$ ،  $NO_x$ ) توسط یک الگوریتم هوشمند حل شد. برای یافتن راه حل بهینه از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه استفاده شد. مساله مدنظر برای شبکه ۳۰ باسه IEEE با ۶ ژنراتور در محیط متلب پیاده سازی شد. تولید سوخت فسیلی آلاینده های مختلفی مانند دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ )، اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) و دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) را در جو آزاد می کند. آلودگی جوی نه تنها انسان بلکه سایر اشکال زندگی مانند حیوانات، پرندگان، ماهی و گیاهان را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. همچنین باعث آسیب به مواد، کاهش دید و ایجاد گرم شدن کره زمین می شود. به حداقل رساندن همه این گازها با به حداقل رساندن هزینه، یک مشکل چند هدف را تشکیل می دهد که در این پایان نامه چهار هدف زیر در نظر گرفته شد.

۱- به حداقل رساندن هزینه تولید برق

۲- به حداقل رساندن انتشار گاز CO<sub>2</sub>

۳- به حداقل رساندن انتشار گاز SO<sub>2</sub>

۴- به حداقل رساندن انتشار گاز NO<sub>x</sub>

برای حل تابع چند هدفه بالا به ازای ضرایب وزنی مختلف از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده شد. رویکرد دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه بر روی یک سیستم اتوبوس IEEE-30 ۶ ژنراتور اجرا و آزمایش شد. برای حل تابع چند هدفه مطرحه به ازای ضرایب وزنی مختلف از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات استفاده شده است. ۱۰ حالت مختلف وزن ها در نظر گرفته شده و هزینه تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub> ، انتشار گاز SO<sub>2</sub> ، انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمد و به نمایش در آمد. بازای هر ۱۰ حالت مقادیر وزنها ، هزینه تولید برق و انتشار گاز CO<sub>2</sub> ، انتشار گاز SO<sub>2</sub> و انتشار گاز NO<sub>x</sub> به عنوان توابع هدف با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمد. همانطور که از نتایج مشاهده گردید در حالت پنجم هزینه سوختی (\$/h) 4821.13 است که نسبت به همه هر ۹ حالت دیگر کمتر بدست آمد و همچنین انتشار گاز CO<sub>2</sub> (kg/h) ۱۵۲۰۰.۲۱ بدست آمد که نسبت به همه هر ۹ حالت دیگر کمتر است و همچنین انتشار گاز NO<sub>x</sub> (kg/h) ۱۲۷۰.۶۸ بدست آمد که نسبت به همه هر ۹ حالت دیگر کمتر است. با توجه به نتایج بدست آمده حالت پنجم نتایج بهینه تری نسبت به بقیه حالت ها ایجاد میکند و بنابراین بین ۱۰ حالت آزمایش شده حالت پنجم به عنوان حالت بهینه انتخاب گردید. با توجه به اینکه حالت پنجم به عنوان حالت

بهینه انتخاب شد ضرایب بهینه وزنی در جدول ۵-۱ نشان داده شده است. با توجه به ضرایب بهینه بدست آمده دیسپاچینگ توان اکتیو و مقدار توان تولیدی ژنراتورها در سیستم ۳۰ باسه که توسط الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده است در جدول ۵-۱ به نمایش در آمده است.

جدول ۵-۱- ضرایب بهینه بدست آمده دیسپاچینگ توان اکتیو و مقدار توان تولیدی ژنراتورها در سیستم ۳۰ باسه که توسط الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بدست آمده

| توان خروجی ژنراتورها | شماره | ضرایب وزنی بهینه | شماره |
|----------------------|-------|------------------|-------|
| Pg 1                 | ۱     | ۰.۴۵۰۰           | ۱     |
| Pg 2                 | ۲     | ۰.۳۹۳۹           | ۲     |
| Pg3                  | ۳     | ۰.۱۴۰۹           | ۳     |
| Pg 4                 | ۴     | ۰.۰۱۵۱           | ۴     |
| Pg 5                 | ۵     |                  |       |
| Pg 6                 | ۶     |                  |       |
| Total Power Gen (MW) | ۷     |                  |       |
| ۱۰۶.۷۸               |       |                  |       |
| ۷۷.۰۲                |       |                  |       |
| ۳۳.۵۲                |       |                  |       |
| ۲۸.۱۲                |       |                  |       |
| ۲۲.۰۵                |       |                  |       |
| ۲۷.۲۵                |       |                  |       |
| ۲۹۳.۵۴               |       |                  |       |

## ۵-۲- پیشنهادات

۱- در این پایان نامه دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات چند هدفه بر روی یک سیستم ۳۰ باسه IEEE که شامل ۶ ژنراتور بود آزمایش شد پیشنهاد می شود این روش بر روی سیستمهای IEEE بزرگتر مانند سیستم های ۵۷ و ۶۹ باسه IEEE نیز تست گردد و نتایج آن بررسی و تحلیل گردد.

۲- در این پایان نامه از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات که قدرت جستجوی سراسری بالایی دارد استفاده شد پیشنهاد می گردد این الگوریتم با یک الگوریتم دیگر که قدرت جستجوی

محلیی بالایی دارد مانند آنیل شبه سازی شده ترکیب گردد و از این الگوریتم برای دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی استفاده شود و بررسی گردد که چقدر توابع هدف نسبت به کار انجام شده در این پایان نامه مینیمم تر میگردد.

۳- در این پایان نامه دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات انجام شد. پیشنهاد می شود از الگوریتمهای فرا مکاشفهای مدرن دیگر مانند جستجوی گرانشی، گرگ خاکستری، جهش قورباغه، جستجوی فاخته، کرم شب تاب، علفهای هرز و... نیز برای دیسپاچینگ توان اکتیو بهینه با کنترل آلودگی استفاده گردد و نتایج حاصل از آنها از نقطه نظرات هزینه تولید برق و انتشار گازها مقایسه گردد.

- [1] Goyal G.R., Mehta H.D. (2015). Optimal dispatch of active and reactive power using cuckoo search method, IJIREEICE. DOI: 10.17148/IJIREEICE.2015.3204 .
- [2] Govind R.G., Mehta H.D. (2015). Multi-objective optimal active power dispatch using swarm optimization techniques, 5th Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE), DOI: 10.1109/NUiCONE.2015.7449590
- [3] Vaseem K.S., Govind R.G., Mohammad A.K. (2015). Economic generator scheduling using newton Ralph son method, International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology, Vol. 2, No. 4, pp. 2393-9877.
- [4] Ansil S., Govind R., Mohit J., Parmeshwar K. (2017). Performance study of recent swarm optimization techniques with standard test functions, Imperial Journal of Interdisciplinary Research, Vol. 3, No. 4.
- [5] Janga R.M., Nagesh K.D. (2007). An efficient multi-objective optimization algorithm based on swarm intelligence for engineering design, Engineering Optimization, Taylor & Francis. DOI: 10.1080/03052150600930493.
- [6] Pao-La-Or P., et al. (2010). Combined economic and emission dispatch using particle swarm optimization, Wseas Transections on Environment and Development, Vol. 6, No. 4.
- [7] Subburaj P., et al. (2007). Optimum reactive power dispatch using genetic algorithm, Academic Open Internet Journal, Vol. 21.
- [8] Jumaat S.A., Musirin I., Othman M.M., Mokhlis H. (2011). PSO based technique for loss minimization considering voltage profile and cost function, International Power Engineering and Optimization Conference, Malaysia.
- [9] Abou El Ela A.A., Abido M.A., Spea S.R. (2011). Differential evolution algorithm for optimal active power dispatch, ELSEVIER- Electric Power Systems Research. DOI: 10.1016/j.epsr.2010.10.005
- [10] Bhushan W. (2013). Optimization of reactive power for line loss reduction and voltage profile improvement using differential evolution algorithm, International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, Vol. 2, No. 12, pp. 29-34.
- [11] Sakthivel S., Subramanian A., Gajendran S., Selvan P.V. (2013). Reactive power reserve management by using improved particle swarm optimization algorithm, International Journal of Computational Engineering Research.
- [12] Mahalakshmi G., Bhavani M. (2014). Power system reactive power optimization using DPSO, IEEE International Conference on Innovations in Engineering and Technology.
- [13] Kothari D.P., et al. (2014). Combined active and reactive power dispatch using particle swarm optimization, Proceedings of Informing Science & It.
- [14] K. A. Corzine, "Multi-Level Converters," The Handbook on Power Electronics, Edited by T.L. Skvarenina, CRC Press, 2002, pp. 6-1 - 6-23
- [15]. J. Rodríguez, J. Lai, F. Peng, "Multilevel inverters: a survey of topologies, controls and applications," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 49, no. 4, Aug. 2002, pp. 724-738.



- [16]. S. Khomfoi, L. M Tolbert, Chapter31. Multilevel Power Converters. The University of Tennessee. pp.31-1 to 31-50.
- [17] J. Kumar, B. Das, and P. Agarwal, "Selective Harmonic Elimination Technique for Multilevel Inverter," 15<sup>th</sup> National Power System Conference (NPSC), IIT Bombay, 2008, pp. 608-613.
- [18]. J. Chiasson, L. M. Tolbert, K. McKenzie, and Z. Du, "Elimination of Harmonics in a Multilevel Converter using the Theory of Symmetric Polynomial and Resultant," Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control, Dec. 2005, pp. 216-223.
- [19] F. Swift and A. Kamberis, "A New Walsh Domain Technique of Harmonic Elimination and Voltage Control In Pulse-Width Modulated Inverters," IEEE Transactions on Power Electronics, volume 8, no. 2, 1993, pp. 170–185.
- [20]. T. J. Liang and R. G. Hoft, "Walsh Function Method of Harmonic Elimination," Proceedings of IEEE Appl. Power Electron. Conference, 1993, pp.847–853.
- [21]. T. J. Liang, R. M. O'Connell, R. M. and R. G. Hoft, "Inverter Harmonic Reduction Using Walsh Function Harmonic Elimination Method," IEEE Transaction on Power Electron, volume 12, no. 6, 1997, pp. 971–982.
- [22] Ozpineci, L. M. Tolbert, and J. N. Chiasson, "Harmonic Optimization of Multilevel Converters Using Genetic Algorithm," 35 Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Germany, 2004.
- [23] Kavousi, et. al., "Application of the Bee Algorithm for Selective Harmonic Elimination Strategy in Multilevel Inverters," IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 27, no. 4, pp.1689-1696, April 2012.
- [24]. D.Bratton and J.Kennedy , "Defining a standard for particle swarm optimization , " in IEEE Swarm Intelligence symposium , 2007 , pp. 120-127
- [25]. X.Li and K.Deb , " Comparing 1best PSO Niching algorithms using different position update Rules , " in In Proceedings of th IEEE World Congress on computational Intelligence , spain , 2010 , pp. 1564-1571.
- [26].Andries P.Engelbercht ,Computational Intelligence AN Introduction. John Wiley and sons , 2007, ch. 16,pp.289-358.
- [27]. Singiresu S.Rao , Engineering Optimazation Theory and practice , 4<sup>th</sup> edition , Ed. John wiley and sons , 2009.
- [28]. El-Ghazali Talbi , Metachuristics – From Design to Implementation John Wiley and sons , 2009
- [29]. George I .Evers , An Automatic Regrouping Mechanism to Deal with Stagnation in particle swarm optimization (Master's thesis) , The university of Texas-Pan American, 2009. Deparment of Electrical Engineering.
- [30]. Anthony Carlisle and Gerry Dozier , "An Off-The- Shelf PSO , " in WORKSHOP Particle swarm Optimization , Indianapolis , 2001.
- [31]. F.Van den bergh , An Analysis of perticles swarm optimizers . PhD thesis , Deparment of computer science .,2006 , university of Pretoria , Pretoria ,south Africa
- [32]. V.Selvi and R.Umarani , " Comparative Analysis of Ant Colony and Particle Swarm Optimization techniques , " International Journal of Computer Applications , , vol.5.no.4,pp.1-6,2010.
- [33]. Kwang Y . Lee and jong – Bae Park , " Application of Particles swarm

Optimization to Economic Dispatch problem Advantage and Disadvantages , " IEEE, 2010 .

[34]. Ajith Abraham , and Amit Konar Swagatam Das .(2008) [www.softcomputing.net](http://www.softcomputing.net) .[online] . <http://www.softcomputing.net/aciis.pdf>

[35]. Ganesh Kumar , Salman Mihagheghi , Jean –Carlos Hernandez Yamile delValle, "Particle Swarm Optimization Basic Concept , Variants and Applications in power system , " in IEEE, 2008 , pp. 171-195

[36]. Y.Rahmat – Samii and shenheng Xu , " Boundary Conditions in Particle swarm Optimization Revisited , " IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION , vol.55, no.3,pp.760-765 , March 2007

[37] S.M.Mikki and Ahmed A.Kishk , "Hybrid Periodic Boundary Condition for Particle swarm Optimization , "IEEE TRANSCATIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION , vol .55, no.11,pp.3251-3256 , NOVEMBER 2007

[38]. James Kennedy and Tim Blackwell Riccardo Poli , " Particle swarm optimization an overview , " Swarm Intelligence , vol.1,no.1 ,pp.33-57,2007

[39]. A.P.Engelbercht F.Van den Bergh , " A New Locally Convergent Particle Swarm Optimiser , "IEEE Conference on systems , Man and Cybernetics , Tunisia , 2002

[40]. M.Fatih Tasgetiren and Yun-Chia Liang , " A Binary Paritcle Swarm Optimization Algorithm for Lot Sizing Problem , " Journal of Economic and Social Research , vol .5 , no. 2, pp. 1-20 , 2003

[41]. Awodiji Olurotimi Olakunle, Komla A. Folly (2015). Economic Load Dispatch of Power System Using Genetic Algorithm with Valve Point Effect. Advances in Swarm and Computational Intelligence Volume 9140 of the series Lecture Notes in Computer Science pp 276-284

[42]. Hasanpour, S., Ghazi, R., & Javidi, M. H. (2009). A new approach for cost allocation and reactive power pricing in a deregulated environment. *Electrical Engg.*,91(1), 27-34.

[43]. Coelho, L. S., & Mariani, V. C. (2006). Combining of chaotic differential evolution and quadratic programming for economic dispatch optimization with valve-point effect. *IEEE Transactions on PowerSystems*, 21(2), 989-996.

[44]. Song Y. H., & Chou, C. S. V. ( 1999). Large-scale economic dispatch by artificial ant colony search algorithms. *Electric Machines and Power Systems*, 27, 679-690.

[45]. Yalcinoz T., &Altun, H., (2001). Power economic dispatch using a hybrid genetic algorithm. *IEEE Power Engineering Review*, 21(3), 59-60.

[46]. Chung, C.Y., Chung, T. S., Yu, C.W., & Lin, X.J. (2004). Cost-based reactive power pricing with voltage security consideration in restructured power systems. *Electr Power Syst Res.*,70, 85-92.

[47]. Bialek, J.W.,&Kattuman, P.A. (2004). Proportional sharing assumption in tracing methodology. *IEE Proceedings Generation Transmission and Distribution*, 151(4), 526-532.

## پیوست ها

## پیوست الف – کد متلب برای الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

```
function [ optimised_parameters ,fitt] = Particle_Swarm_Optimization
(Bird_in_swarm, Number_of_quality_in_Bird, MinMaxRange, Food_availability,
availability_type, velocity_clamping_factor, cognitive_constant, social_constant,
Min_Inertia_weight, Max_Inertia_weight, max_iteration)
    availability_type=lower(availability_type(1:3));
    [row,col]=size(MinMaxRange);
    if row~=Number_of_quality_in_Bird || col~=2
        error('Not a proper MinMaxRange Matrix')
    end
    for i=1:Number_of_quality_in_Bird
        if MinMaxRange(i,1)>=MinMaxRange(i,2)
            error('Minimum value greater than Maximum value!!!')
        end
    end
    N=Bird_in_swarm*max_iteration;
    q=0;

    bird_min_range=MinMaxRange(:,1);
    bird_max_range=MinMaxRange(:,2);

    format long;
    for i=1:Number_of_quality_in_Bird
        bird(:,i)=bird_min_range(i)+(bird_max_range(i)-
bird_min_range(i))*rand(Bird_in_swarm,1);
    end

    Vmax=bird_max_range*velocity_clamping_factor;
    Vmin=-Vmax;
```

```

for i=1:Number_of_quality_in_Bird
    Velocity(:,i)=Vmin(i)+(Vmax(i)-Vmin(i))*rand(Bird_in_swarm,1);
end

for itr=1:max_iteration
    fprintf('Completed %d %% ...', uint8(q*100/N ))

    for p=1:Bird_in_swarm
        parameter=bird(p,:,itr);
        availability(p,itr)=feval(Food_availability,parameter);

        switch availability_type
            case 'min'
                format long;
                [pBest_availability,index]=min(availability(p,:));
                pBest=bird(p,:,index);

                if(p==1 && itr==1)
                    gBest=pBest;
                    gBest_availability=pBest_availability;
                elseif availability(p,itr)<gBest_availability
                    gBest_availability=availability(p,itr);
                    gBest=bird(p,:,itr);
                end
            case 'max'
                format long;
                [pBest_availability,index]=max(availability(p,:));
                pBest=bird(p,:,index);

                if(p==1 && itr==1)
                    gBest=pBest;
                    gBest_availability=pBest_availability;

```

```

elseif availability(p,itr)>gBest_availability
    gBest_availability=availability(p,itr);
    gBest=bird(p,:,itr);
end

otherwise
    error('availability_type mismatch')
end

w(itr)=((max_iteration - itr)*(Max_Inertia_weight -
Min_Inertia_weight))/(max_iteration-1) + Min_Inertia_weight;
Velocity(p,:,itr+1)=w(itr)*Velocity(p,:,itr) +
social_constant*rand(1,Number_of_quality_in_Bird).*(gBest-bird(p,:,itr)) +
cognitive_constant*rand(1,Number_of_quality_in_Bird).*(pBest-bird(p,:,itr));
Velocity(p,:,itr+1)=MinMaxCheck(Vmin, Vmax,
Velocity(p,:,itr+1));

bird(p,:,itr+1)= bird(p,:,itr) + Velocity(p,:,itr+1));
bird(p,:,itr+1)=MinMaxCheck(bird_min_range, bird_max_range,
bird(p,:,itr+1));
if bird(p,2,(itr+1))< bird(p,1,(itr+1))
    bird(p,2,(itr+1))= bird(p,1,(itr+1));
end
if bird(p,3,(itr+1))< bird(p,2,(itr+1))
    bird(p,3,(itr+1))= bird(p,2,(itr+1));
end
if bird(p,4,(itr+1))< bird(p,3,(itr+1))
    bird(p,4,(itr+1))= bird(p,3,(itr+1));
end
if bird(p,5,(itr+1))< bird(p,4,(itr+1))
    bird(p,5,(itr+1))= bird(p,4,(itr+1));
end
end

```

```
    q=q+1;
    fitt(itr)=feval(Food_availability,gBest);
end

clc;
end
optimised_parameters=gBest;
```



## Abstract

With the development of our society, the demand for energy and per capita energy consumption has also increased. To response to this demand, electricity generation is on the rise, which also leads to increased pollution. Currently, the need for research on reducing the amount of pollutants in fossil fuel production units has become more apparent. Optimization is a good tool for solving such problems that are effectively used in the areas of optimal dispatching such as power system performance, planning, analysis and energy management. In system operation and system planning, optimal power flow dispatching is the best option because it allows multi-objective performance to be achieved. In this thesis, the solution of the optimal energy dispatching problem was presented through particle swarm algorithm. The purpose of this thesis was to minimize the total cost of fuel produced and environmental pollution from fossil fuel power plants. Performance analysis of this problem of optimal active power dispatching was performed using the particle swarm optimization technique by examining the different compositions of the values of the weight parameters. The multi-objective problem of minimizing the cost of generating electricity and gases NO<sub>x</sub> (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>) was solved by the multi-objective particle swarm optimization algorithm. The issue was implemented for the 30-bus IEEE network with 6 generators in MATLAB environment. In this thesis, four objectives were considered, to minimize the cost of generating electricity, to minimize CO<sub>2</sub> emissions, to minimize SO<sub>2</sub> emissions, and to minimize NO<sub>x</sub> gas emissions. Particle swarm optimization algorithm was used to solve the proposed multi-objective function for different weight coefficients. The optimal active power dispatching approach was implemented by controlling the contamination using a multi-objective particle swarm optimization algorithm on a 6-generator IEEE-30 bus system. Particle algorithm optimization algorithm has been used to solve the proposed multi-objective function for different weight coefficients. 10 different weight modes were considered and the cost of generating electricity and CO<sub>2</sub> emissions, SO<sub>2</sub> emissions, NO<sub>x</sub> emissions as target functions were obtained and displayed using the particle optimization algorithm for all 10 modes. Between the 10 tested modes, the optimal mode was selected and the active power dispatching and the amount of generator power output in the 30-bus system obtained by the particle swarm optimization algorithm were displayed.



**Energy Institute for Higher Education**

**Faculty of Engineering**

**Department OF**

**Thesis for**

**Degree Of Master OF Science(M.Sc)**

**Title:**

**optimal active power dispatching with  
pollution control using multi objective  
particle swarm optimization algorithm**

**Supervisor 1:**

**Vasefi Ph.D**

**By:**

**Seyed Mahdi Mousavi**

**Summer 2020**

