PSC 2005
98-F-PSS-492

جدول ۱۲- ردیف ۲۹

بیستمین کنفرانس
بین المللی برق
20th International
Power System Conference

ارائه روشی جدید برای دیسپچ همزمان انرژی، رزرو و بار در محیط تجدید ساختار شده

سید حمیدرضا عربشاهی
دانشجوی کارشناسی ارشد

حبیب رجبی مشهدی
استادیار گروه برق

محمد حسین جاویدی دشت بیاض
دانشیار گروه برق

دانشگاه فردوسی مشهد- دانشکده مهندسی-گروه برق

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، رزرو چرخشی، بازار توام انرژی الکتریکی و رزرو چرخشی، پیشنهاد قیمت بار

چکیده

این مقاله روشی جدید برای دیسپچ واحد های تولیدی در شبکه های با دسترسی باز ارائه می‌نماید. در روش ارائه شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک، تولید، رزرو چرخشی و بار به طور همزمان دیسپچ می‌شوند. در این روش هزینه های مربوط به انرژی الکتریکی و رزروی که واحد تولیدی در اختیار شبکه قرار می‌دهد از دیدگاه شبکه می‌نیمم شده و همزمان با آن سود مشتریها (خریداران برق) نیز ماکزیمم می‌گردد. در مدل در نظر گرفته شده این مقاله، علاوه بر واحدهای تولیدی که به منظور فروش انرژی و رزرو در بازار شرکت نموده و پیشنهاد قیمت می‌دهند، مشتریان نیز برای خرید انرژی الکتریکی و تامین بار خود پیشنهاد قیمت می‌دهند.

۱- مقدمه:

در سالهای اخیر صنعت برق دچار تحولاتی اساسی شده بطوریکه از ساختاری کاملا انحصاری و تنظیم شده، به ساختاری کاملا رقابتی و آزاد تبدیل شده است. به دنبال این تحولات، بهره برداری و برنامه ریزی سیستم قدرت با تغییرات زیادی روبرو گردیده است. از عمده دلایل اصلی حرکت به سوی ایجاد بازاری رقابتی و آزاد می‌توان به گسترش رقابت بین شرکتهای تامین کننده انرژی الکتریکی، فراهم کردن شرایطی برای مشتریها برای انتخاب آزادانه تامین کننده انرژی خود، کاهش قیمت پرداختی توسط مشتریها و افزایش رفاه اجتماعی اشاره کرد[۱]. در سیستم ادغام شده عمودی (سنتی)، تامین برق مشترکین بر مبنای کمترین هزینه تمام شده برای تمام واحد تولیدی و با هدف تامین کل تقاضای مصرف انجام می‌گیرد. این در حالیست که در سیستمهای تجدید ساختار شده با توجه به رقابت تولید کنندگان با هم برای فروش انرژی الکتریکی و حق انتخاب

تامین کننده انرژی برای خریداران، هر یک از شرکت کنندگان با هدف ماکزیمم کردن سود خویش در بازار به رقابت می‌پردازد و ممکن است خریداری با پیشنهاد قیمت پایین امکان دریافت انرژی الکتریکی را از دست بدهد [۲].

یکی از نتایج تجدید ساختار، بهره برداری سیستم قدرت در مجاورت قیود امنیتی و در مواردی کاهش امنیت سیستم بوده است[۱]. امنیت سیستم قدرت به توانایی آن سیستم در تحمل شرایط حاصله از وقوع پیشامدها گفته می‌شود[۳]. برای اطمینان از داشتن امنیتی قابل قبول در شبکه اپراتور سیستم قدرت باید بتواند مسایل امنیتی ایجاد شده در شبکه به خاطر وقوع پیشامدها را به درستی مدیریت کند. به منظور افزایش قابلیت امنیت سیستم و جلوگیری از فروپاشی سیستم در حال بهره برداری در شرایط وقوع پیشامد، می‌توان از سرویس های جانبی استفاده کرد. سرویس های جانبی به سرویس هایی گفته می‌شود که هدف آنها پشتیبانی از انتقال توان بین تولید کننده و مصرف کننده، تامین برابری تولید و مصرف، حفظ فرکانس و تامین قابلیت امنیت شبکه در سطحی مطلوب و قابل قبول می‌باشد[۴]. یکی از سرویس های جانبی در سیستم قدرت رزرو چرخشی می‌باشد. این رزرو معیاری است از توانایی سیستم قدرت برای افزایش تولید خود در شرایطی که پیشامدهایی نظیر خروج واحد تولیدی، خروج خط و یا افزایش ناگهانی بار روی داده باشد [۵].

کاهش قیمت پرداختی توسط مشتریها یکی از اهداف مهم در ایجاد بازارهای رقابتی می‌باشد، با این حال به خاطر عدم حضور فعال خریداران در عملکرد بازارهای برق، این گروه معمولا در زمره اعضای اصلی بازار محسوب می‌شوند و در اکثر موارد آنها به عنوان مصرف کنندگانی که باید تحت هر شرایطی بار آنها تامین شود تلقی می‌گردند. به همین دلیل "بازار خرده فروشی در مقایسه با بازار عمده فروشی موفقیت بسیار کمتری داشته و کمتر این فرصت را در اختیار مشتری قرار داده تا انرژی الکتریکی را خود خریداری کند. تجربه اخیر کالیفرنیا نشان داده است که ایجاد رقابت در طرف تولید و نبود رقابت در طرف بار به صورتی جدی بازار را با مشکل روبرو می‌کند" [۶].

این مقاله بحث دیسپچ اقتصادی انرژی، رزرو و نیز سمت تقاضا (بار) را در محیط تجدید ساختار شده مورد مطالعه قرار می‌دهد. در این بررسی رزرو چرخشی به عنوان سرویس جانبی در نظر گرفته می‌شود و همانند انرژی بصورت رقابتی به بازار عرضه می‌گردد.

در مدلسازی سیستم مورد مطالعه برای بهینه سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است از این رو به منظور معرفی روش ارائه شده ابتدا به معرفی الگوریتم ژنتیک و سپس به مدلسازی و فرمولبندی مساله مورد مطالعه پرداخته شده است.

۲- الگوریتم ژنتیک: روش بهینه سازی

ظهور الگوریتم ژنتیک۱ (GA)به دهه ۷۰ و کار آقای جان هولند برمی گردد [۷]. عمل جستجو در GA با یک جمعیت اولیه که به صورت تصادفی انتخاب می‌شود آغاز می‌گردد. به هر عضو جمعیت کروموزوم می‌گویند و به هر کروموزوم یک تابع برازندگی۲ به صورت زیر نسبت داده می‌شود:

$$\textit{Fitness Function} = \textit{Objective Function}\,(\textit{For } i^{th}\ \textit{Chromosome}) + \textit{Penalty}\,(\textit{For } i^{th}\ \textit{Chromosome})$$

در حقیقت می‌توان گفت که تابع برازندگی نشان دهنده نزدیکی آن کروموزوم به جواب نهایی می‌باشد (لازم به ذکر است که اگر هدف مساله می‌نیمم سازی (ماکزیمم سازی) باشد، GA به دنبال می‌نیمم کردن (ماکزیمم کردن) تابع برازندگی می‌باشد). همانطور که در فرمول بالا دیده می‌شود، تابع برازندگی دارای دو بخش است که یکی مقدار تابع هدف به ازای هر کروموزوم موجود در جمعیت بوده و دیگری پنالتی هایی است که مشخص می‌کند آن کروموزوم به چه میزان قیود مساله را نقض یا آنها را رعایت کرده است. پس از اختصاص دادن تابع برازندگی به هر کروموزوم جمعیت اولیه، باید جمعیت بعدی را با اعضای جمعیت فعلی و کمک گرفتن

1 Genetic Algorithm
2 Fitness Function

از یک سری اپراتورهای احتمالی ساخت. بر این اساس دو کروموزوم که در جمعیت اولیه کمترین Fitness را دارند انتخاب شده و مستقیما و بدون تغییر به جمعیت بعدی انتقال داده می‌شوند. به این عمل نخبه گرایی[1] گفته می‌شود. سپس باید بقیه اعضای جمعیت بعدی را ساخت. در جمعیت اولیه دو کروموزوم به صورت تصادفی انتخاب شده و یکی از آنها که کمترین Fitness را داشته باشد انتخاب می‌گردد. سپس دو عضو دیگر نیز انتخاب شده و مشابه حالت قبل، عضو دارای کمترین Fitness انتخاب می‌شود. سپس بین این دو عضو انتخاب شده (والدین) عمل برش[2] انجام می‌گردد به طوریکه هر کدام یک بخش مشخص را با هم تعویض می‌نماید. حاصل کار، ایجاد دو کروموزوم جدید است. در این مرحله اپراتور دیگری بر روی این دو کروموزوم جدید اعمال می‌شود که جهش[3] نام دارد. در این عمل با یک احتمالی یکی از بیتهای این دو کروموزوم جدید تغییر می‌کند و حاصل به جمعیت بعدی فرستاده می‌شود. این دو عمل آنقدر تکرار می‌شوند تا جمعیت دوم به تعداد جمعیت اول عضو داشته باشد. جمعیت دوم نسبت به جمعیت اول اعضایی با Fitness بهتری دارد. همانطور که GA نسل به نسل جلو می‌رود، اعضای هر نسل نسبت به قبل بهبود می‌یابد بطوریکه می‌توان با انتخاب مناسب جمعیت اولیه و تعداد اعضای جمعیت سریعتر به اکسترمم سراسری همگرا شد[۸].

۳- فرمول بندی مساله:

هدف این مقاله مینیمم کردن هزینه های تولید و رزرو و همزمان با آن ماکزیمم کردن سود مشتریان می‌باشد. تابع هدفی که مورد مطالعه قرار گرفته است را می‌توان به صورت زیر فرمول بندی کرد:

$$Min \sum_{i=1}^{G}\sum_{j=1}^{3}\alpha_{i,j}C_{i,j}P_{i,j} + \sum_{i=1}^{R}\beta_i C_{reserve}P_{reserve} - \sum_{l=1}^{L}C_{load,l}P_{load,l}$$

که در آن متغیرها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

G: تعداد ژنراتورها ی تولیدی (در این مساله، ۱۱ ناحیه که هر کدام دارای یک ژنراتور می‌باشد، در نظر گرفته شده است ($G=11$). همچنین برای هر یک از این ژنراتورها ۳ پله پیشنهاد قیمت در نظر گرفته شده است).

R: تعداد متغیرهای مربوط به رزرو شبکه.

L: تعداد متغیرهای مربوط به بارهای شبکه.

$\alpha_{i,j}$: متغیر باینری که مشخص می‌کند آیا پله j ام از ژنراتور i ام در بازار برق برنده شده است یا خیر.

$C_{i,j}$: قیمت پیشنهادی پله j ام از ژنراتور i ام (\$/Mw).

$P_{i,j}$: میزان تولید پذیرفته شده پله j ام از ژنراتور i ام.

$C_{load,l}$: قیمت بار l ام (\$/Mw).

$P_{load,l}$: بار پذیرفته شده مشتری l ام در بازار.

β_i: متغیر باینری که مشخص می‌کند آیا ژنراتور i ام در بازار برق به عنوان رزرو پذیرفته شده است یا خیر.

(رابطه $\alpha_{i,j}$ و β_i به گونه ای است که اگر حتی یک پله از ژنراتور در بازار برق پذیرفته شود آن ژنراتور می‌تواند در بازار رزرو هم شرکت کند.)

$C_{reserve,i}$: قیمت رزرو چرخشی واحد i ام (\$/Mw).

$P_{reserve,i}$: رزرو چرخشی پذیرفته شده واحد i ام در بازار.

الف: قید مساوی

$$\sum_{i=1}^{G}\sum_{j=1}^{3}\alpha_{i,j}P_{i,j} - \sum_{l=1}^{L}P_{load,l} = 0$$

ب: قیود نامساوی

برای پله j ام از ژنراتور i ام: $\alpha_{i,j}P_{i,j}^{\min} \le P_{i,j} \le \alpha_{i,j}P_{i,j}^{\max}$

همچنین داریم:

$$0 \le P_{load,l} \le P_{load,l}^{\max}$$

$$-P_{line}^{\max} \le P_{Line} \le P_{line}^{\max}$$

$$\sum_{i=1}^{R}\beta_i P_{reserve,i} \ge Max(10\%\ of\ Dispatched\ load, P_k^{\max})$$

در شبکه ای که مورد بررسی شرایط به طریقی است که همواره:

$$P_k^{\max} > 10\%\ of\ Dispatched\ load$$

برای ناحیه i ام:

1 Elitism
2 Crossover
3 Mutation

$$\beta_i P_{reserve,i} + \alpha_{i,1} P_{i,1} + \alpha_{i,2} P_{i,2} + \alpha_{i,3} P_{i,3} \le \alpha_{i,1} P_{i,1}^{\max} + \alpha_{i,2} P_{i,2}^{\max} + \alpha_{i,3} P_{i,3}^{\max}$$

بطوریکه در روابط فوق داریم:

$P_{i,j}^{\min}$: حد پایین تولید پله j ام از ژنراتور i ام.

$P_{i,j}^{\max}$: حد بالای تولید پله j ام از ژنراتور i ام.

$P_{load,l}^{\max}$: ماکزیمم بار هر ناحیه.

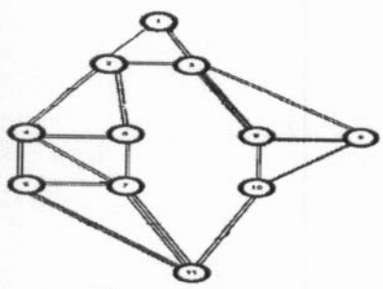
P_{Line} : توان عبوری بین دو ناحیه.

$P_{line}^{\max}$: ماکزیمم توان عبوری بین دو ناحیه.

$P_k^{\max}$: حد بالای تولید ژنراتور k ام.

۴- نتایج شبیه سازی:

سیستم مورد مطالعه شامل ۱۱ ناحیه و ۱۸ مسیر ارتباطی می‌باشد شکل(۱). مدلسازی ذکر شده در بخش قبل بر روی این سیستم اعمال گردیده است.



شکل-۱- سیستم مورد مطالعه

در این سیستم، هر ناحیه شامل یک ژنراتور است که شامل سه پله مختلف برای تولید می‌باشد. هر ژنراتور برای هر پله از تولید خود و برای رزروی که می‌تواند در اختیار شبکه قرار دهد قیمت دهی می‌کند. همچنین هر ناحیه شامل باری است که از دو بخش تشکیل گردیده است. اولین بخش بار که ۷۰٪ از کل بار ناحیه را تشکیل می‌دهد قیمتی بالا و دومین بخش که بقیه بار ناحیه را شامل می‌شود قیمتی پایین ارائه می‌کنند. در جدول ۱ قیمتهای پیشنهادی هر پله از تولید، هر بخش از بار و نیز قیمت پیشنهادی رزرو آورده شده است.

جدول-۱: قیمتهای پیشنهادی تولید، بار و رزرو ($/Mw).

ناحیه	قیمت هر پله تولید	قیمت رزرو	قیمت هر بخش بار
1	36.5 39.5 42.5	4.7	75 30
2	38 40.5 43	3.5	76.2 30.5
3	28 31 34	5.1	80 31
4	36.5 40 43.5	3.4	78.7 31.5
5	30 33 35.5	4.3	72.5 29
6	29.5 32.5 35.5	3.2	73.7 29.5
7	30 33.5 35	5	80 32
8	36 38.5 41	3.6	85 34
9	34 37 40	4.8	77.5 32.5
10	30.5 32.5 36	3.1	76 33
11	37.5 41.5 44	5.2	82.5 30

در این شبکه همچنین، میزان کل تولید و بار به ترتیب برابر ۱۰۳۰۰ Mw و ۷۹۰۰ Mw می‌باشد. در جداول ۳،۴و ۵ به ترتیب حدود بالا و پایین تولید هر پله ژنراتور، بار هر ناحیه و مشخصات مسیرهای ارتباطی بین نواحی نشان داده شده اند.

جدول-۲: حدود بالا و پایین تولید هر پله

ناحیه	حد پایین تولید در هر پله	حد بالای تولید در هر پله
1	282 0 0	550 400 460
2	100 0 0	250 150 100
3	70 0 0	150 100 100
4	342 0 0	700 400 610
5	332 0 0	150 100 100
6	70 0 0	650 450 560
7	282 0 0	550 400 460
8	120 0 0	300 150 150
9	342 0 0	150 100 100
10	70 0 0	700 400 610
11	50 0 0	120 70 60

جدول -۳: بار نواحی

ناحیه	بار هر بخش ناحیه
1	105 45
2	870 373
3	800 43
4	140 60
5	105 45
6	835 358
7	126 54
8	905 388
9	112 48
10	800 343
11	730 313

جدول -۴: مشخصات مسیرهای ارتباطی بین نواحی

مسیر ارتباطی	از	به	تعداد خطوط درهر مسیر	محدوده توان انتقالی هر مسیر
1	1	2	4	550
2	1	3	4	440
3	2	3	2	200
4	2	4	3	850
5	2	5	2	500
6	3	8	4	500
7	3	9	2	200
8	4	5	2	550
9	4	6	4	550
10	4	7	3	825
11	5	7	3	550
12	6	7	2	550
13	6	11	3	415
14	7	11	3	330
15	8	10	3	500
16	8	9	4	440
17	9	10	2	250
18	10	11	2	250

در این شبیه سازی ها دو حالت مختلف در نظر گرفته شده اند که در زیر به آنها اشاره می‌کنیم:

۴-۱- شبیه سازی حالت عادی (بدون پیشامد):

برنامه نوشته شده دیسپچ اقتصادی که در آن از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی کمک گرفته شده است را برای شرایط عادی (بدون پیشامد) اجرا کردیم. نتایج حاصل از اجرای برنامه در جداول ۶ و ۷ آورده شده است.

جدول-۶: تولید، رزرو و بار دیسپچ شده

ناحیه	تولید هر پله	رزرو	بار
1	549.4 0 0	275	105 43.2
2	250 37.3 0	212.1	870 373
3	150 100 100	0	800 171
4	612.4 0 0	1097.5	140 60
5	0 0 0	0	105 22.5
6	650 450 560	0	835 347.1
7	550 400 229.7	125.1	126 54
8	300 150 150	0	905 36
9	0 0 0	0	112 23.9
10	700 400 610	0	800 343
11	120 70 60	0	730 205.6

جدول-۷: توان انتقالی مسیرها

مسیر ارتباطی	محدوده توان انتقالی هر مسیر	توان انتقالی مسیرها
1	550	-30.2
2	440	439.9
3	200	72.51
4	850	-823.46
5	500	-234.86
6	500	-82.29
7	200	-26.3
8	550	73.76
9	550	-159.23
10	825	-325.57
11	550	-288.63
12	550	-55.64
13	415	374.26
14	330	329.93
15	500	16.54
16	440	-439.86
17	250	-145.73
18	250	-18.59

۴-۲- شبیه سازی حالت دارای پیشامد (خروج خط از شبکه):

در این حالت فرض شده که یک خط از مسیر ارتباطی بین نواحی ۲ و۴ از مدار خارج شده باشد. نتایج نشان می‌دهد که در این حالت برای ارضای قیود موجود در مساله، نسبت به حالت بدون پیشامد، مقدار بار به میزان ۵۹۳/۶ Mw کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که در این مقاله برای قطع بار هزینه ای در نظر گرفته نشده است. نتایج در جداول ۸ و ۹ آورده شده اند. اگر رفاه اجتماعی در دو حالت را با هم مقایسه کنیم، مشاهده می‌شود که مقدار آن از ۲۷۵۷۹۳/۱$ در حالت عادی به ۲۶۵۰۱۹/۵$ در حالت با پیشامد کاهش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که مساله در حالت با پیشامد (خروج خط از شبکه)، علی رغم اینکه تلاش می‌کند تا هزینه ها را مینیمم کند، ولی به خاطر جبران توانی که قبلا بین دو ناحیه مبادله می‌شده؛ در تولید، بار و رزرو تغییراتی انجام می‌دهد که این تغییرات نسبت به حالت عادی شبکه، هزینه های بیشتری را به آن تحمیل می‌کند. نکته دیگری که وجود دارد این است که مقدار رزرو در هر شرایطی بزرگتر یا مساوی ۱۷۱۰Mw می‌باشد، یعنی مساله به گونه ای در نظر گرفته شده است که در حالت وقوع پیشامد هم شبکه رزرو خود را در همان مقدار

قبل از وقوع پیشامد نگه دارد. این بدان معناست که از رزرو حالت نرمال شبکه برای کاهش میزان قطع بار در هنگام وقوع پیشامد استفاده نمی شود.

جدول-۸: تولید، رزرو و بار دیسپچ شده

ناحیه	تولید هر پله	رزرو	بار
1	550 349.9 0	0	105 44.5
2	250 74.9 0	79.88	870 373
3	150 100 100	0	800 0
4	700 49.6 0	917.39	140 60
5	0 0 0	0	105 42.2
6	650 449.5 0	408.33	835 356.2
7	550 400 114.6	0	126 53.9
8	300 150 150	0	904.1 0
9	0 0 0	0	112 2.2
10	700 400 304.7	304.4	800 155.2
11	119.7 0 0	0	729.2 0

جدول-۹: توان انتقالی مسیرها

مسیر ارتباطی	محدوده توان انتقالی هر مسیر	توان انتقالی مسیرها
1	550	311.01
2	440	439.99
3	200	29.87
4	550	-510.66
5	500	-126.28
6	500	11.84
7	200	8.02
8	550	84.47
9	550	112.95
10	825	-158.43
11	550	-189.03
12	550	-217.51
13	415	238.77
14	330	319.74
15	500	8.2
16	440	-300.47
17	250	-97.99
18	250	51

۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی برای تعیین بهینه تولید، بار و رزرو چرخشی ارائه شده است. فرض بر این است که تنها واحدی که در بازار انرژی پذیرفته شده است می‌تواند در بازار رزرو شرکت کند. در این ساختار پیشنهاد قیمت انرژی، رزرو و بار توسط اعضای بازار و به طور همزمان به ISO داده می‌شود که نتیجه آن گسترش رقابت و ماکزیمم کردن رفاه اجتماعی می‌باشد. در این مقاله همانطور که گفته شد از رزرو دیسپچ شده در حالت نرمال شبکه، برای کاهش میزان قطع بار در هنگام وقوع پیشامد، استفاده نشده و این رزرو برای حالتهای اضطراری که ممکن است در پیشامد های متواتر، شبکه را دچار مشکل کند، نگه داشته می‌شود. در نظر گرفتن رزرو به صورتی فعال در حالت وقوع پیشامد به همراه در نظر گرفتن هزینه برای قطع بار به منظور کاهش هزینه های قطع بار و توزیع بهینه رزرو چرخشی از مسایلی هستند که از دیدگاههای مختلف شامل امنیت سیستم و تاثیرات اقتصادی، در دست بررسی و تحقیق می‌باشد.

۶- مراجع:

[1] Z. Xu, Z. Y. Dong and K. P. Wong, " Optimal Dispatch of Spinning Reserve in an Competitive Electricity Market using Genetic Algorithms," Conference on Evolutionary Computation, Vol. 1, pp 587-592, 8-12 Dec, 2003.

[2] Pathom Attaviriyanupap, Hiroyuki Kita, Eiichi Tanaka, and Jun Hasegawa, "A Hybrid LR-EP for Solving New Profit-Based UC Problem Under Competitive Environment, " IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 18, No. 1, February 2003.

[3] Roberto Ferrero, Mohammad Shahidehpour, "Optimal Reserve Allocation and Pricing," IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol. 4, 13-17 July 2003.

[4] Jin Zhong, "On Some Aspects of Design of Electric Power Ancillary Service Market, " Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2003.

[5] K. Bhattacharya, Math H.J. Bollen and Jaap E. Daalder, "Operation of Restructured Power System," Kluwer Academic Publisher, 2001.

[6] Daniel S. Kirschen, "Demand-Side View of Electricity Markets," IEEE Trans. Power Syst., Vol. 18, No. 2, pp 520-527, May 2003.

[7] Holland J., "Adaptation in Natural and Artificial Systems", University of Michigan Press, 1975.

[8] D.E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning," Addison-Wesely, Reading, Ma. 1989.