

## کنترل جهش قیمت در بازار برق با قطع بار بهینه توسط الگوریتم تکامل تفاضلی

کیانوش محمدی<sup>۱</sup>

پوریا خوشبخت<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشگاه سیستان و بلوچستان

### چکیده

با گسترش تجدید ساختار به اکثر نقاط جهان، روش‌های قیمت‌گذاری نیز دچار تحولات اساسی شده است؛ بطوری که برخلاف محیط‌های سنتی، قیمت هر گره می‌تواند با گره‌های مجاور متفاوت باشد که مزایا و البته معضلاتی را هم به دنبال خواهد داشت. مزایایی چون رقابتی کردن بازار و رضایت مشتری و تولیدکنندگان را در پی دارد. از معضلات روش‌های مدرن قیمت‌گذاری نیز می‌توان به ریسک‌های بازار و سختی کنترل نوسانات قیمت توسط بهره‌بردار مستقل سیستم اشاره کرد. نوساناتی که گاه بر اثر برخی ضعف‌ها، به جهش چند ده برابری قیمت سیستم منجر می‌شود. بهره‌بردار مستقل سیستم به عنوان نهاد قیمت‌گذار، برای کنترل جهش و نوسانات قیمت ابزار خاص خود را در دست دارد که یکی از این ابزار، قطع بار است. در این مقاله برای کنترل جهش قیمت، از قطع بار بهینه شده توسط الگوریتم تکامل تفاضلی با هدف کمترین خروج بار از شبکه استفاده شده است و صحت روش با اجرا روی شبکه ۲۴ شینه IEEE\_RTS بررسی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تجدید ساختار، بهره‌بردار مستقل سیستم، قطع بار، الگوریتم تکامل تفاضلی

### ۱- مقدمه

جهش در قیمت‌ها را نخواهیم داشت. همچنین می‌توان با جریمه بخش معیوب از خسارت خریدار کاست اما گاهی تجهیزات با هماهنگی بهره‌بردار مستقل سیستم جهت تعمیرات دوره‌ای از مدار خارج می‌شوند که اگر شبکه راهی برای جبران این ضعف نداشته باشد مجبور به تحمیل قیمت-های بسیار بیش‌تر از حالت عادی به مشتریان خواهد شد. آنچه می‌تواند بهره‌بردار مستقل سیستم را در امر رضایت مشتریان و ثبات قیمت یاری دهد؛ کاهش بخشی از بار است. اما مسئله مهم دیگر این است که چگونه این کار را انجام دهیم تا ضمن خروج کمترین بار، از جهش قیمت نیز جلوگیری کنیم. در این مقاله به کمک الگوریتم تکامل تفاضلی و مطالعه ای که روی شبکه ۲۴ شینه IEEE\_RTS صورت گرفته است؛ سعی شده با کمترین تغییر در بار، از تغییر در قیمت‌های گره‌ای جلوگیری شود.

### ۲- قیمت گره‌ای

با توجه به تجدید ساختار شدن بازارهای برق دنیا، وابستگی قیمت برق هر باس به موقعیت آن در شبکه، سبب شده تا قیمت گره‌ای به عنوان مرجعی برای فروش در یک باس قرار گیرد [۳و۴]. گاه بر اثر یک عیب در سیستم، قیمت برق در بخشی از شبکه به طور غیر معمول تغییر می‌یابد. حال چه از نوع افزایشی باشد یا کاهش، می‌تواند رفاه اجتماعی سیستم را پایین بیاورد

یکی از اهداف اصلی تمایل دولت‌ها برای تبدیل محیط سنتی شبکه برق به محیط‌های تجدید ساختار شده، کاهش هزینه‌های شبکه در سایه رقابتی شدن سیستم برای رضایت مشتریان و تولیدکنندگان است [۱]. گاهی شرایط در شبکه به گونه‌ای رقم می‌خورد که باعث افزایش قیمت و به تبع آن نارضایتی مشتریان خواهد شد.

عواملی چون عیب تجهیزات و حتی برخی عوامل غیر فنی سبب نوسان در قیمت می‌شوند. این تغییر در قیمت گاهی خود را با نوساناتی گذرا نشان داده و گاهی به دلیل حیاتی بودن قسمت معیوب، منجر به جهش در قیمت‌ها می‌شود. جهش در قیمت‌ها اتفاقی است که حتی بازارهای بزرگ جهان، آن را تجربه کرده‌اند [۱] و بهره‌بردار مستقل سیستم برای کنترل آن از اختیارات خود به گونه‌ای استفاده میکند که ضمن کنترل قیمت، رضایت مشتریان خود را حفظ کند.

شاید روش‌های مبتنی بر جریمه به عنوان راهی برای پیشگیری از جهش قیمت با دلایل غیرفنی و با برنامه‌ریزی گروهی خاص برای هدفی خاص معرفی شوند [۲]؛ ولی نمی‌توان تضمین کرد که در اثر هیچ عیبی در شبکه

برای همه ساعات و بارها اعم از صنعتی و خانگی انتخاب می‌کنیم تا با کمینه کردن هزینه، درواقع بار خروجی هم کمینه شود ولی ممکن است هر باری را نتوان با هزینه خروج بار جبران و جلب رضایت کرد. لذا تابع هدف یا همان رابطه (۱) را به صورت زیر در می‌آوریم که  $K_1$  و  $K_2$  ضرایب هماهنگی هستند.

$$\min f = K_1 \left| \frac{\sum_1^n bus p_l^1 - \sum_1^n bus p_l^0}{\sum_1^n bus p_l^0} \right| + K_2 \left| \frac{\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0}{\bar{\pi}_0} \right| \quad (9)$$

برابر با مجموع باری است که در حالت اولیه روی سیستم قرار دارد و  $\sum_1^n bus p_l^1$  برابر با مجموع باری است که پس از کاهش بار، روی سیستم قرار می‌گیرد.  $\bar{\pi}_0$  متوسط قیمت گره‌ای در باس‌های شبکه و در حالت پایه و  $\bar{\pi}_1$  متوسط قیمت گره‌ای در باس‌های شبکه و پس از کاهش بار است. با این فرمولاسیون به دنبال آن هستیم که میزان تغییرات بار و هزینه را در باس‌های شبکه، هم‌زمان کمینه کنیم و به سیستم ثبات دهیم. بنابراین پس از تبدیل معادلات با روش کوهن تاکر، از روش لاگرانژ برای بهینه‌سازی استفاده می‌کنیم اما آنچه ما را در مسیر کاهش دادن بار جهت انجام عملیات بهینه‌سازی یاری می‌دهد؛ یک الگوریتم بهینه‌سازی است که مشخص می‌کند چه مقدار بار در هر باس کاهش باید تا ضمن جبران جهش قیمت، کمترین قطع بار را به دنبال داشته باشد. در این مقاله از الگوریتم تکامل تفاضلی استفاده میشود.

#### ۴- الگوریتم تکامل تفاضلی

الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) یک از جدیدترین روش‌های جستجو است. فرضیه سیر تکامل تفاضلی برخاسته از تلاش‌های کنس وی پریس، در زمینه حل مسائل چندجمله‌ای پیچیده است که توسط راینر استرن مطرح شد و الگوریتم تکامل تفاضلی در سال ۱۹۹۶ ارائه گردید [۸]. الگوریتم جستجوی DE یکی از جدیدترین تکنیک‌های بهینه‌سازی مبتنی بر قوانین احتمال است. اساس کار DE بر مبنای عملیات (جمع، ضرب، تفریق و...) بدون استفاده از مشتق روی بردارهاست که این بردارها فاصله بین نقطه‌ای از فضای جستجو و مبدا خاصی است [۹]. این الگوریتم ماهیت پیوسته دارد و در مسائل متعددی کارایی خود را اثبات کرده است. امروزه این الگوریتم در بسیاری از کاربردها استفاده میشود. از آنجایی که الگوریتم DE ذاتاً پیوسته می‌باشد؛ برای حل مسائل گسسته نسخه باینری آن نیز ارائه شده است. DE جمعیتی از ذرات را تشکیل می‌دهد که هر ذره معرف یک جواب مسئله در فضای جستجو است و الگوریتم DE با به روز کردن موقعیت ذرات با توجه به میزان شایستگی، جمعیت را به سمت جواب بهینه هدایت می‌کند [۹ و ۱۰].

اکثر تکنیک‌های تکاملی روند زیر را دنبال می‌کنند:

۱- شروع به کار با یک جمعیت تصادفی اولیه

۲- محاسبه مقدار شایستگی برای هر جزء

۳- تولید جمعیت بر اساس شایستگی

و صدمه جدی به تولیدکننده یا مصرف‌کننده‌ای وارد کند که به امید سود و رفا، تولید یا مصرف کرده است [۱]. یکی از راه‌هایی که با استفاده از آن می‌توان از این نوع تغییر در قیمت‌ها در امان بود؛ تغییر الگوی تولید و مصرف است [۵].

بهره‌بردار مستقل سیستم که شاید مانند محیط‌های سنتی، برای تامین توان مورد نیاز، نقشی جز پیشنهاد خرید بالاتر به تولیدکننده ندارد؛ رو به کاستن بار می‌آورد. نیروگاه‌ها در زمان کاهش زیاد قیمت حتما برنامه تولید خود را برای جلوگیری از ضرر عوض خواهند کرد [۶ و ۷] و در حالت افزایش قیمت نیز، بارهای پاسخگو به قیمت، تغییر در رویه مصرف را دنبال خواهند کرد. این تغییر در رویه مصرف با توجه به سرعت عکس العمل بارهای مختلف نسبت به تغییر قیمت، متفاوت است. به خصوص بارهای مسکونی که به این تغییر دیرتر عکس العمل نشان میدهند؛ چرا که قیمت‌ها دیرتر به آن‌ها می‌رسد و جزء بارهای پاسخگو محسوب نمی‌شوند.

#### ۳- مدل سازی مسئله

روابط در این مسئله خیلی نزدیک به معادلات پخش بار بهینه در حالت عادی هستند با این تفاوت که بخش قطع شده از بار، از مجموع تولید و تلفات کسر می‌شود. رابطه زیر تابع هدف را نشان می‌دهد:

$$\text{Min} f = \sum_{i \in N_g} \sum_{g \in NG_i} C_{ig} (P_{ig}, Q_{ig}) + \sum_{i \in N_L} \sum_{s \in NL_i} OC_{is} (LC_{pis}) \quad (1)$$

به طوری که در آن، هزینه هر واحد نیروگاهی به ازای تولید  $(P_{ig}, Q_{ig})$  برابر با  $C_{ig}$  است و قیدها به صورت زیر می‌باشند:

$$\sum_{g \in NG_i} P_{ig} - \sum_{s \in NL_i} P_{is} + \sum_{s \in NL_i} LC_{is} = \sum_{i=1}^N V_i V_k |Y_{ik}| \cos(\theta_i - \theta_k - \delta_{ik}) \quad (2)$$

$$\sum_{g \in NG_i} Q_{ig} - \sum_{s \in NL_i} Q_{is} + \sum_{s \in NL_i} LC_{qis} = \sum_{i=1}^N V_i V_k |Y_{ik}| \sin(\theta_i - \theta_k - \delta_{ik}) \quad (3)$$

$$P_{ig}^{\min} \leq P_{ig} \leq P_{ig}^{\max} \quad (4)$$

$$Q_{ig}^{\min} \leq Q_{ig} \leq Q_{ig}^{\max} \quad (5)$$

$$0 \leq LC_{pis} \leq LC_{pis}^{\max} \quad (6)$$

$$|V_i|^{\min} \leq |V_i| \leq |V_i|^{\max} \quad (7)$$

$$|S_{ik}| \leq S_{ik}^{\max} \quad (8)$$

در این روابط،  $LC_{pis}$  بیان‌گر مقدار بار اکتیو خارج شده از شبکه و  $LC_{qis}$  مقدار بار راکتیو خارج شده از شبکه است.  $OC_i$  مقدار هزینه‌ای است که به ازای خروج هر واحد توان بابت جبران بار از دست رفته به مشتری داده می‌شود. یعنی برای خروج بار هزینه‌ای را متحمل می‌شویم اما بسته به نوع بار و ساعت قطع بار هزینه متغیر است.  $OC_i$  را به عنوان یک مقدار ثابت

جدول ۱: قیمت و توان هر باس در حالت پایه

NO.Bus	$P^0(mw)$	$\pi_0(\$/mw)$
1	108	49.5876
2	97	49.6122
3	180	49.6870
4	74	51.1228
5	71	50.8508
6	136	51.8193
7	125	51.0717
8	171	52.4252
9	175	50.3982
10	195	50.6569
11	0	50.2735
12	0	50.1731
13	265	49.7072
14	194	49.4543
15	317	47.6431
16	100	47.8050
17	0	46.8651
18	333	46.5751
19	181	48.0451
20	128	47.8344
21	0	46.4105
22	0	45.2387
23	0	47.5637
24	0	48.9983
$\sum_{i=1}^{n_{bus}} P_i^0 = 2850$		$\bar{\pi}_0 = 49.1519$

جدول ۲ قیمت جهش یافته را بدون تغییر بار نشان می‌دهد. اگر بار به اندازه  $\Delta P$  مطابق جدول ۳ تغییر کند به قیمت جبران شده  $\pi_1^{new}$  می‌رسیم که به قیمت اولیه  $\pi_0$  نزدیک است.

جدول ۲: قیمت و توان هر باس برای حالت الف

NO.Bus	$P^0(mw)$	$\pi_1(\$/mw)$
1	108	129.9699
2	97	130.0001
3	180	131.3134
4	74	133.9079
5	71	133.1687
6	136	135.6251
7	125	54.191
8	171	132.6112
9	175	131.9696
10	195	132.5491
11	0	131.6181
12	0	131.6052
13	265	129.1591
14	194	130.5511
15	317	126.4752
16	100	127.1966
17	0	124.6022
18	333	123.7889
19	181	128.9537
20	128	129.3224
21	0	123.3104
22	0	120.2284
23	0	129.0892
24	0	129.6559
$\sum_{i=1}^{n_{bus}} P_i^0 = 2850$		$\bar{\pi}_1 = 126.2859$

۴- اگر شرط توقف برآورده نشده باشد همین روند را از مرحله ۲ تکرار میشود.

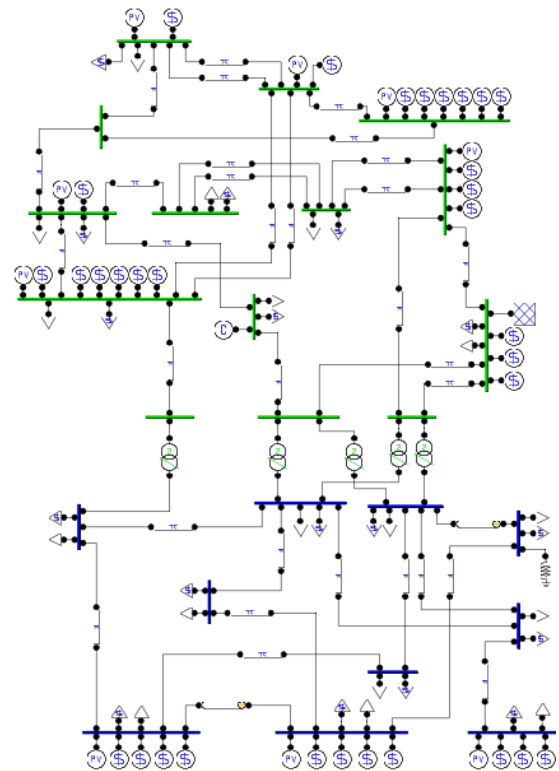
در این مقاله، الگوریتم DE وظیفه دارد که با مشخص کردن بار خروجی هر باس، به دسترسی سریع‌تر به جواب کمک کند. برای بررسی نحوه کنترل جهش قیمت، برنامه کنترل جهش قیمت را روی شبکه ۲۴ شینه IEEE\_RTS (شکل ۱) اجرا خواهیم کرد.

## ۵- شبیه سازی و نتایج

شبکه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است که در چند حالت نقص در شبکه، قیمت‌ها و نوساناتی که در قیمت‌های گره‌های صورت می‌گیرد را بررسی می‌کنیم.

### ۵-۱- حالت الف

برای حالت اول فرض کنیم واحد ۳۵۰ مگاواتی و یکی از واحدهای ۱۵۵ مگاواتی باس ۲۳ از مدار خارج شوند در حالی که بار اولیه سیستم ۲۸۵۰ مگاوات است.



شکل ۱: شبکه ۲۴ شینه IEEE\_RTS

مطابق جدول ۱ متوسط قیمت در ۲۴ باس شبکه از  $\$49.1519/MW$  به مقدار متوسط  $\$126.2859/MW$  در جدول ۲ می‌رسد که با قطع بار بهینه با ضرایب هماهنگی  $K_1 = 1$  و  $K_2$  با درصد کاهشی نشان داده شده در هر باس این مقدار قیمت با کاهش بار به  $2736.7MW$  متوسط قیمت را در هنگام بروز نقص یاد شده به مقدار  $\$51.6249/MW$  در جدول ۳ کاهش داد.

جدول ۳: قیمت، توان باقیمانده و درصد کاهش بار هر باس با  $\Delta P_{min} = -5\%$  برای حالت الف

NO.Bus	$-\Delta P(\%)$	$P^1(mw)$	$\pi_1^{new}(\$/mw)$
1	3.0805	104.6731	51.699
2	5.0743	92.078	51.7179
3	7.9102	165.7616	52.1796
4	3.2789	71.5736	53.3413
5	8.6602	64.8512	52.9979
6	3.3512	131.4423	54.0448
7	7.8751	115.1562	51.996
8	1.7914	167.9366	53.9126
9	-2.5908	179.5338	52.6992
10	-1.4418	197.8115	52.9127
11	0	0	52.5307
12	0	0	52.5313
13	4.1762	253.9332	51.5037
14	1.5058	191.0787	52.0546
15	4.1073	303.9798	50.4116
16	-1.4502	101.4502	50.6794
17	0	0	49.6087
18	9.0029	303.0204	49.2652
19	5.5511	170.9524	51.3627
20	5.1345	121.4278	51.5194
21	0	0	49.1009
22	0	0	47.8712
23	0	0	51.4397
24	0	0	51.6164
$\sum_{i=1}^{n \text{ bus}} P_i^0$			$\bar{\pi}_1=51.6249$
$= 2736.7$			

جدول ۴: قیمت، توان باقیمانده و درصد کاهش بار هر باس با  $\Delta P_{min} = 0\%$  برای حالت الف

NO.Bus	$-\Delta P(\%)$	$P^1(mw)$	$\pi_1^{new}(\$/mw)$
1	4.6583	102.969	51.4438
2	7.9836	89.2559	51.4585
3	2.21	176.0219	52.1192
4	3.8239	71.1703	53.0946
5	9.0679	64.5618	52.7336
6	1.2388	134.3153	3.8068
7	0.4506	124.4368	51.9428
8	6.896	159.2078	53.6965
9	2.9812	169.7829	52.4803
10	9.9656	175.5671	52.6514
11	0	0	52.3165
12	0	0	52.3199
13	1.8393	260.1258	51.3474
14	5.5515	183.2302	51.8565
15	5.913	298.2558	50.2784
16	4.9904	95.0096	50.5354
17	0	0	49.4933
18	4.6256	317.5968	49.1644
19	1.5277	178.2349	51.2318
20	2.5856	124.6904	51.3816
21	0	0	48.9907
22	0	0	47.7625
23	0	0	51.2932
24	0	0	51.5091
$\sum_{i=1}^{n \text{ bus}} P_i^0$			$\bar{\pi}_1=51.4545$
$= 2724.4$			

در میان درصد کاهش بار شینه های جدول سوم اعداد منفی حاکی از آن هستند که افزایش بار در این شینه ها به کاهش متوسط قیمت گره های

کمک می کند ولی چون سادگی افزایش بار مانند قطع بار برای بهره بردار مستقل نیست؛ با در نظر گرفتن مقدار کمینه  $\Delta P_{min}=0\%$  و  $\Delta P_{max}=10\%$  مقدار بار روی سیستم به  $2724.4 \text{ MW}$  و متوسط قیمت گره های هم به  $51.4545 \text{ \$/MW}$  خواهد رسید. جدول ۴ نیز نتایج را با  $\Delta P_{min}=0\%$  نشان می دهد.

برای اینکه بتوان تاثیر ثبات بار را بر ثبات قیمت ارجحیت داد میتوان ضرایب  $K1, K2$  را تغییر داد به عنوان نمونه فرض شود  $K1/K2$  برابر ۳ باشد آنگاه ثابت نگه داشتن بار از اهمیت سه برابری نسبت به ثابت نگه داشتن قیمت برخوردار است که نتایج برای نقص الف در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: قیمت، توان باقیمانده و درصد کاهش بار هر باس با  $\Delta P_{min} = 0\%$  و  $\frac{K1}{K2} = 3$  برای حالت الف

NO.Bus	$-\Delta P(\%)$	$P^1(mw)$	$\pi_1^{new}(\$/mw)$
1	0.6625	107.2845	51.5889
2	6.3425	90.8478	51.6019
3	8.7876	164.1824	52.1446
4	1.1676	73.1359	53.2533
5	9.2157	64.4568	52.8529
6	6.0486	127.7738	53.8372
7	0.4507	124.4367	52.1115
8	.3471	170.4064	53.9523
9	1.2689	172.7795	52.5863
10	8.6536	178.1255	52.7421
11	0	0	52.4109
12	0	0	52.3988
13	5.2408	251.1118	51.3863
14	1.8816	190.3497	51.9896
15	0.8334	314.3581	50.434
16	2.7664	97.2336	50.6683
17	0	0	49.652
18	1.0064	329.6487	49.3362
19	8.9126	164.8682	51.3028
20	8.6517	116.9258	51.4341
21	0	0	49.1559
22	0	0	47.9211
23	0	0	51.3466
24	0	0	51.6001
$\sum_{i=1}^{n \text{ bus}} P_i^0$			$\bar{\pi}_1=51.5712$
$= 2737.9$			

اگر از نسبت ۳ برای ضرایب هماهنگی استفاده کنیم با  $\Delta P_{min} = 0\%$  مجموع بار روی سیستم از  $2736.7 \text{ MW}$  در جدول ۳ به مقدار  $2739.3 \text{ MW}$  و با  $\Delta P_{min}=0\%$  از  $2724.4 \text{ MW}$  در جدول ۴ به مقدار  $2737.9 \text{ MW}$  می رسد که در جدول ۵ آمده است.

## ۵-۲- حالت ب

در این حالت می شود که دو واحد از سه واحد ۱۹۷ مگاواتی باس ۱۳ از مدار خارج شده اند و واحد سوم هم فقط قادر به تولید  $P_{max} = 100 \text{ MW}$  باشد. آنگاه قیمت ها به صورت جدول ۶ تغییر می کنند.

جدول ۶: قیمت و توان هر باس برای حالت ب

NO.Bus	$P^0(mw)$	$\pi_1(\$/mw)$
1	108	129.9404
2	97	130
3	180	130.1704
4	74	134.0901
5	71	133.4202
6	136	136.1164
7	125	54.1878
8	171	133.0363
9	175	132.278
10	195	133.0731
11	0	0357132
12	0	131.8391
13	265	131.4067
14	194	129.641
15	317	124.523
16	100	125.1284
17	0	122.5991
18	333	121.8068
19	181	125.9286
20	128	125.5221
21	0	121.3499
22	0	118.3068
23	0	124.8908
24	0	128.1689
$\sum_{i=1}^{n \text{ bus}} P_i^0$		$\bar{\pi}_1 = 120.0538$
= 2850		

طبق روالی که برای قسمت الف دنبال کردیم نتایج در طی دو جدول ارائه می‌شوند.

جدول ۸: قیمت، توان باقیمانده و درصد کاهش بار هر باس با

$$\Delta P_{min} = 0\% \text{ و } \frac{k_1}{k_2} = 3 \text{ برای حالت ب}$$

NO.Bus	$-\Delta P(\%)$	$P^1(mw)$	$\pi_1^{new}(\$/mw)$
1	1.0497	106.8663	49.7813
2	2.0064	95.0538	49.8093
3	9.4699	162.9542	49.7198
4	9.4937	66.9747	51.3175
5	6.4754	66.4025	51.1034
6	0.3826	135.4796	52.1765
7	1.2336	123.4581	51.1825
8	2.9397	165.973	52.6091
9	6.81	163.0825	50.783
10	6.4428	182.4365	51.0609
11	0	0	50.6941
12	0	0	50.6289
13	1.8765	260.0273	50.4354
14	4.168	185.914	49.7247
15	7.8235	292.1996	47.7491
16	1.1229	98.8771	47.9684
17	0	0	46.9868
18	4.1381	319.2202	46.6765
19	7.7616	166.9515	48.2655
20	4.3915	122.3789	48.1342
21	0	0.00E+00	46.5137
22	0	0	45.3455
23	0	0	47.9123
24	0	0	49.0752
$\sum_{i=1}^{n \text{ bus}} P_i^0$		$\bar{\pi}_1 = 49.4022$	
= 2714.2			

### ۵-۳- حالت ج

گاه عیب شبکه فقط باعث افزایش قیمت نمی‌شود بلکه شبکه را دچار فروپاشی می‌کند و امکان بهره‌برداری بدون در نظر گرفتن تدبیر خاص غیر ممکن می‌شود مانند خروج واحد سوم از مدار در بخش ب، یعنی هر سه واحد تولیدی روی باس ۳ از مدار خارج شوند. این بار می‌خواهیم ببینیم که چگونه روش قطع بار بهینه می‌تواند از فروپاشی شبکه جلوگیری کند و قیمت‌ها را در تعادل نگه دارد.

اگر با  $\frac{k_1}{k_2} = 1$  و  $\Delta P_{min} = 0$  عمل کنیم؛ به نتایج جدول ۹ می‌رسیم. اما برای شبکه‌ای که دچار فروپاشی شده؛ حفظ بار بیشتر روی سیستم مهم تر از حفظ قیمت است؛ لذا با  $\frac{k_1}{k_2} = 10$ ، به کاهش بار خواهیم پرداخت. با این فرض، اگرچه متوسط قیمت گره‌های بیشتر است اما بار بیشتری را در شرایط بحرانی و احتمالاً گذرا، روی شبکه نگه داشته‌ایم. البته بهره‌بردار مستقل سیستم، بسته به شرایط می‌تواند نسبت  $\frac{k_1}{k_2}$  را انتخاب کند.

جدول ۷: قیمت، توان باقیمانده و درصد کاهش بار هر باس با

$$\Delta P_{min} = 0\% \text{ و } \frac{k_1}{k_2} = 1 \text{ برای حالت ب}$$

NO.Bus	$-\Delta P(\%)$	$P^1(mw)$	$\pi_1^{new}(\$/mw)$
1	6.762	100.6971	49.4645
2	5.0663	92.0857	49.4969
3	6.365	168.5429	49.5671
4	4.1568	70.924	51.0943
5	10	63.9	50.7954
6	0	136	51.9236
7	431.5	123.0946	51.1107
8	0	171	52.5132
9	10	157.5	50.5371
10	3.1107	188.9342	50.826
11	0	0	50.4575
12	0	0	50.3825
13	10	238.5	50.1479
14	0.1544	193.7004	49.5326
15	0	317	47.589
16	9.3894	90.6106	47.7817
17	0	0	46.7881
18	9.1053	302.6795	46.4704
19	4.3349	173.1538	48.0782
20	3.4782	123.5479	47.9329
21	0	0	46.3239
22	0	0	45.1576
23	0	0	47.7027
24	0	0	48.9144
$\sum_{i=1}^{n \text{ bus}} P_i^0$		$\bar{\pi}_1 = 49.1912$	
= 2711.9			

## ۶- نتیجه گیری

اگرچه روش‌های مبتنی بر جریمه تا حد زیادی از جهش قیمت‌های ایجاد شده جلوگیری می‌کند اما باید توجه داشت که جریمه نمی‌تواند برای بازگشت سریع تر بخشی که دچار عیب اساسی شده، به سیستم کمک کند. چه بسا واحدی که با هماهنگی بهره‌بردار مستقل سیستم جهت تعمیرات دوره‌ای متوقف و بهره‌بردار ضمن خروج واحد مذکور راهی از طریق تولید بیشتر برای جبران افزایش قیمت نمی‌یابد، در این مقاله با استفاده از قطع بار بهینه بر اساس الگوریتم تکامل تفاضلی سعی در کاهش بار جهت جلوگیری از جهش قیمت ضمن کمترین تغییر در بار شده است. روش پیشنهادی روی شبکه ۲۴ شینه IEEE\_RTS اجرا شده است و نتایج بدست آمده کارایی قطع بار بهینه برای کنترل جهش قیمت در شرایط بحرانی را نشان می‌دهد.

## مراجع

- [1] Yi. Ding, Peng. Wang, Lalit. Goel, Luonan. Chen and Poh. Chiang Loh, "A Penalty Scheme for Reducing Electricity Price Volatility", IEEE Transactions. Power Systems., Vol. 25, No. 1, pp. 223 - 233, Nov. 2009.
- [2] M. Simab, K. Alvehag, L. Soder, M.R. Haghifam, "Designing Reward and Penalty Scheme in Performance-Based Regulation for Electric Distribution Companies", IET. Generation, Transmission & Distribution., Vol. 6, No. 9, pp. 893 - 901, Sep. 2012.
- [3] Gil. Hugo A, Galiana. Francisco D, and Da Silva. Edson L, "Nodal Price Control: A Mechanism for Transmission Network Cost Allocation", IEEE Trans. Power Systems., Vol. 21, No. 1, pp. 3-10, Feb. 2006.
- [4] Y.X.P. Wang and Yi. Ding, "Nodal Price Uncertainty Analysis Considering Random Failures and Elastic Demand", IEEE PES. Power Systems Conference and Exposition, Vol. 1, No. 1, pp. 174 - 178, Oct. 2004.
- [5] Paul M. Sotkiewicz and Jesus M. Vignolo, "Nodal Pricing for Distribution Networks: Efficient Pricing for Efficiency Enhancing DG", IEEE Transactions. Power Systems., Vol. 21, No. 2, pp. 1013 - 1014, May. 2006.
- [6] L. Goel, Qiuwei. Wu and Peng. Wang, "Reliability Enhancement and Nodal Price Volatility Reduction of Restructured Power Systems with Stochastic Demand Side Load Shift", IEEE. Power Engineering Society General Meeting., pp. 1 - 8, June. 2007.
- [7] Yi. Ding and Peng. Wang, "Reliability and Price Risk Assessment of a Restructured Power System With Hybrid Market Structure", IEEE

جدول ۹: قیمت، توان باقیمانده و درصد کاهش بار هر باس با

$\Delta P_{min} = 0\%$  و  $\frac{K_1}{K_2} = 1$  برای حالت ج

NO.Bus	$-\Delta P(\%)$	$P^1(mw)$	$\pi_1^{new}(\$/mw)$
1	10	97.2	49.6276
2	5.6865	91.4841	49.6612
3	6.6854	167.9663	49.7303
4	4.0998	70.9661	51.3591
5	4.834	67.5679	51.0712
6	10	122.4	52.0739
7	10	112.5	50.9093
8	10	153.9	52.3539
9	10	157.5	50.8647
10	10	175.5	51.1303
11	0	0	50.7476
12	0	0	50.708
13	10	238.5	50.6973
14	10	174.6	49.6681
15	10	285.3	47.6488
16	0	100	47.8867
17	0	0	46.8704
18	10	299.7	46.5415
19	10	162.9	48.2156
20	0	128	48.1209
21	0	0	46.3905
22	0	0	45.2277
23	0	0	47.9118
24	0	0	49.0164
$\sum_{l=1}^{n \text{ bus}} P_l^0 = 2606$			$\bar{\pi}_1 = 49.3514$

جدول ۱۰: قیمت، توان باقیمانده و درصد کاهش بار هر باس با

$\Delta P_{min} = 0\%$  و  $\frac{K_1}{K_2} = 10$  برای حالت ج

NO.Bus	$-\Delta P(\%)$	$P^1(mw)$	$\pi_1^{new}(\$/mw)$
1	4.9511	102.6529	55.3518
2	8.5005	88.7546	55.3797
3	3.1563	174.3187	55.565
4	0.5415	73.5993	57.2601
5	6.1548	66.6301	56.9353
6	5.7414	128.1918	58.1521
7	1.8141	122.7323	53.9074
8	1.729	168.0434	56.8166
9	8.7687	159.6548	56.6104
10	6.5031	182.3189	56.988
11	0	0	56.5268
12	0	0	56.469
13	5.1915	251.2425	56.5142
14	6.8908	180.6319	55.383
15	6.5571	296.2139	53.1959
16	7.1788	92.8212	53.4343
17	0	0	52.3215
18	7.8342	306.9123	51.9646
19	6.6361	168.9886	53.7855
20	0.8996	126.8485	53.6516
21	0	0	51.794
22	0	0	50.4929
23	0	0	53.4048
24	0	0	54.725
$\sum_{l=1}^{n \text{ bus}} P_l^0 = 2690.6$			$\bar{\pi}_1 = 54.8596$

Transactions. Power Systems., Vol. 21, No. 1, pp. 108 - 116, Feb. 2006.

- [8] Carlos Rocha- Alicano, David Covarrbias-Rosales,calos Brizula-Rodriguez, "Differential Evolution Algorithm Applied to Sidelob Level Reduction on a Planar Array", AEU-International Journal of Electronics and Communications, Vol. 61, No. 5, pp. 286 - 290, May. 2007.

[۹] سعید جاذبی، حمید رضا بقائی، گئورک قره پتیان، " بهبود پایداری گذرا توسط UPFC به کمک روش کنترلی مبتنی بر الگوریتم تکامل تفاضلی و شبکه‌های عصبی مصنوعی"، بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق، ایران، ۱۳۸۷.

- [10] I.Jacob.Raglend,Sowjanya.Veeravallib, Kas anur. Sailajab, B. Sudheerab and D.P. Kothari, "Comparison of AI techniques to solve combined economic emission dispatch problem with line flow constraints", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 32, No. 6, pp. 592 - 598, July. 2010.