

## استفاده از الگوریتم بهینه ساز گروهی برای تعیین بهینه پیشنهاد ژنراتورها در بازار برق در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته

سید جوادزبردست گشتی<sup>۱</sup> و کاظم زارع<sup>۲</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر ، zebardast\_sj@yahoo.com

عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز، kazem.zare@tabrizu.ac.ir

چکیده- در این مقاله مسئله استراتژی پیشنهاد دهی بهینه برای یک تولید کننده بررسی شده است. هدف اصلی افزایش سود تولید کننده در یک بازه زمانی ۲۴ ساعته است. همچنین قیود فیزیکی ژنراتور در تعریف مسئله لحاظ شده است. پیشنهاد ژنراتور در ۳ پله به بازار ارائه می شود. برای حل مسئله از الگوریتم جست و جو گر گروهی استفاده شده است. کلیه قیود مسئله با استفاده از روش ضرایب جریمه در الگوریتم لحاظ شده اند. قیمت بازار به عنوان یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال و انحراف معیار مشخص فرض شده است. در نهایت نتایج شبیه سازی در این مقاله نشان دهنده تأثیر زیاد استراتژی پیشنهاد دهی بهینه بر سود تولید کننده در ۲۴ ساعت است. همچنین نتایج نشان می دهد پله های قیمتی پیشنهادی نزدیک به میانگین قیمت بازار در هر ساعت است. این موضوع تأثیر پذیری قیمت پیشنهادی را از میانگین تعیین شده برای قیمت بازار نشان می دهد.

کلید واژه : optimal bidding , strategic bidding, global search optimization , GSO

صورتی که داده های تاریخی موثق و دقیق از قیمت پیشنهادی سایر بازیگران موجود نباشد، روش تئوری احتمال روش مناسبی نیست و نتایج آن قابل استناد نیست.

در مرجع [4] زیرساختی برای پیشنهاد قیمت بهینه به بازار توسط طراحی یک ردگیر قیمت ارائه شده است. در این مقاله از یک روش مناسب برای تخمین تابع چگالی احتمال قیمت تسویه بازار در روز بعد استفاده شده است.

در مرجع [5] روشی برای پیشنهاد قیمت بهینه به بازار در بازارهای رقابتی برق ارائه شده است. ابتدا مسئله به صورت یک مسئله دو سطحی بهینه سازی مدل سازی شده است. در سطح اول بازیگران بازار سعی دارند امید ریاضی سود خود را تحت قیود حاکم بر مسئله ماکزیمم کنند. سپس در سطح دوم پخش بار بهینه شبکه از دیدگاه بهره برداری مستقل سیستم برای کاهش هزینه های سیستم حل می شود. در این مقاله برای محاسبه امید ریاضی سود هر بازیگر از شبیه سازی مونت کارلو استفاده شده است و همچنین برای بهینه سازی مسئله از الگوریتم ژنتیک بهره گیری شده است.

### ۱- مقدمه

در مرجع [1] مدلسازی پیشنهاد بهینه قیمت دهی توسط تولید کنندگان در بازار برق با ساده سازی هایی بیان شده است. در این مقاله مسئله استراتژی قیمت دهی بهینه توسط معادلات دیفرانسیل تعریف و با حل آن سود پیشنهاد دهنده خاصی ماکزیمم می شود. در مرجع [2] برای حل مسئله استراتژی قیمت دهی بهینه تابع پیشنهاد قیمت ژنراتورها به صورت یک تابع خطی در نظر گرفته شده است. در این قسمت قید تأمین بار شبکه و محدودیت تولید ژنراتورها لحاظ می شود. قیود مربوط به محدودیت تولید ژنراتورها در این مقاله در نظر گرفته نشده است. در مقاله [3] روشی مبتنی بر تئوری احتمال برای حل مسئله استراتژی بهینه قیمت دهی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش ابتدا بر اساس رفتار گذشت بازیگران ، استراتژی قیمت دهی آنها به صورت توابع فازی تعریف شده است. سپس استراتژی بهینه برای یکی از تولید کنندگان در حضور سایر بازیگران حل شده است. در این مقاله اشاره شده است که در

## ۲- تعریف مسئله

### ۲-۱- تابع هدف

هدف اصلی از حل مسئله استراتژی بهینه قیمت دهی، بیشینه کردن سود بازیگر  $i$  در یک دوره ۲۴ ساعته است که مسئله استراتژی قیمت دهی بهینه برای آن حل می شود. سود بازیگر نیز بر اساس میزان توانی که از طریق بازار عرضه می کند محاسبه می شود و سایر منابع درآمدی در نظر گرفته نمی شود. برای این منظور از رابطه (۱) برای بدست آوردن سود بازیگر استفاده می شود. این رابطه با توجه به اینکه بازار به صورت پرداخت بر مبنای پیشنهاد<sup>۱</sup> اجرا می شود تعیین شده است.

$$ben_i = \sum_{t=1}^{24} (Rev_{i,t} - cost_{i,t}) * Prob(p_{i,t} < p_t^*) + cost_{i,0} \quad (1)$$

$P_{i,t}$ : قیمت پیشنهادی بازیگر  $i$  به بازار در ساعت  $t$

$p_t^*$ : قیمت تسویه بازار در ساعت  $t$

$Rev_{i,t}$ : درآمد بازیگر  $i$  حاصل از فروش برق به بازار در ساعت  $t$  است و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Rev_{i,t} = PG_{i,t} * P_{i,t} \quad (2)$$

$cost_{i,0}$ : هزینه ثابت ژنراتور  $i$  به ازای هر ساعت

$cost_{i,t}$ : هزینه بازیگر  $i$  در ساعت  $t$  که از سه بخش کلی زیر تشکیل شده است و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$cost_{i,t} = oper\_cost_{i,t} + st\_cost_{i,t} + sh\_cost_{i,t} \quad (3)$$

$PG_{i,t}$ : توان پیشنهادی بازگر  $i$  به بازار در ساعت  $t$

$\gamma, \beta, \alpha$ : ضرایب تابع هزینه بازیگر  $i$

$oper\_cost_{i,t}$ : هزینه تولید ژنراتور  $i$  در ساعت  $t$

$st\_cost_{i,t}$ : هزینه روشن شدن ژنراتور  $i$  در ساعت  $t$

$sh\_cost_{i,t}$ : هزینه خاموش شدن ژنراتور  $i$  در ساعت  $t$

با توجه به اینکه هر بازیگر می تواند توان پیشنهادی خود را در چند پله به بازار پیشنهاد کند لذا  $PG_{i,t}$  به صورت زیر تعریف می شود. [10]

$$PG_{i,t} = [\sum_k pg_{i,k,t}] * (1 - \lambda_i) \quad (4)$$

$pg_{i,k,t}$ : توان پیشنهادی بازیگر  $i$  در ساعت  $t$  و مربوط به پله  $k$

$\lambda_i$ : نرخ خروج ژنراتور  $i$

نرخ خروج ژنراتور بر اساس سوابق تاریخی آن تعیین می شود. در این حالت برخی خروج ها که از قبل برنامه ریزی شده اند مد

در مرجع [6] مسئله استراتژی قیمت دهی بهینه برای یک نیروگاه تلمبه ذخیره ای حل شده است. در این مقاله ابتدا قیمت بازار برای یک هفته آینده پیش بینی شده است. سپس برای بیشینه کردن سود نیروگاه تلمبه ذخیره ای از یک الگوریتم بهینه سازی استفاده شده است. نتایج نشان می دهد حل مسئله پیشنهاد دهی بهینه برای یک هفته بسیار در سود نهایی نیروگاه تلمبه ذخیره ای تأثیر گذار است.

در مرجع [7] مسئله استراتژی قیمت دهی بهینه برای یک شبکه با در نظر گرفتن محدودیت های شبکه انتقال ارائه شده است. ابتدا مسئله به صورت یک مسئله احتمالاتی با فرض اینکه بتوان استراتژی سایر بازیگران را به صورت یک تابع نرمال در نظر گرفت تعریف می شود. سپس برای حل مسئله بهینه سازی از روش مونت کارلو و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. روش پیشنهادی در این مقاله بر روی شبکه ۱۴ شینه IEEE آزمایش شده است و نتایج گویای تأثیر پذیری قیمت دهی بهینه بازیگران از محدودیت های شبکه انتقال است.

در مرجع [8] مسئله استراتژی قیمت دهی بهینه برای بازیگران مختلف بازار تعریف شده است. در این مقاله بازیگران در حالت کلی به دو دسته ریسک پذیر و ریسک گریز تقسیم شده اند. برای شبیه سازی، یک نیروگاه حرارتی در بازار برق آنتاریو در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می دهند که نوع رفتار بازیگران از لحاظ ریسک پذیر بودن و ریسک گریز بودن در پاسخ نهایی تأثیر گذار است.

در مرجع [9] مسئله استراتژی قیمت دهی بهینه با در نظر گرفتن محدودیت های شبکه انتقال و نیز در حالتی که اطلاعات در دسترس بازیگران ناقص است بررسی شده است. هر بازیگر برای اینکه بازی مورد نظر را از یک حالت اطلاعات ناقص به حالت اطلاعات کامل انتقال دهد از روشهایی برای کامل کردن اطلاعات استفاده می کند. مسئله در دو سطح تعریف شده است که در سطح اول اهداف هر یک از بازیگران دنبال می شود و در سطح دوم مسئله از دیدگاه بهره بردار مستقل سیستم بررسی می شود. در این مقاله یک شبکه ۸ باس برای بررسی روش بیان شده مورد استفاده قرار گرفته است. منحنی پیشنهاد قیمت در این مقاله به صورت یک منحنی سه پله ای در نظر گرفته شده است.

در این مقاله مسئله استراتژی قیمت دهی با در نظر گرفتن قیمت بازار به صورت یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال شبیه سازی شده و قیود مربوط به واحدهای تولیدی در نظر گرفته می شود. مسئله مورد نظر توسط الگوریتم GSO حل می شود.

<sup>1</sup> -pay as bid (PAB)

نظر قرار نمی‌گیرند و تنها خروجی های ناگهانی و خارج از برنامه‌ریزی در نرخ خروج اضطراری ژنراتور لحاظ می‌شوند.

## ۲-۲- قیود

### محدودیت تولید ژنراتورها

رابطه زیر چگونگی در نظر گرفتن این قید را نشان می‌دهد.

$$PG_i^{min} \leq PG_{i,t} \leq PG_i^{max} \quad (5)$$

$PG_i^{min}$ : حداقل توان مجاز تولیدی توسط ژنراتور  $i$

$PG_i^{max}$ : حداکثر توان مجاز تولیدی توسط ژنراتور  $i$

### قید حداقل زمان خاموش و روشن بودن ژنراتورها [11]

در صورتی که ژنراتوری روشن شده و به شبکه وصل شود باید حداقل تا زمان مشخصی کار کند تا بتوان دوباره آنرا خاموش کرد. و نیز هر گاه ژنراتوری خاموش شود برای روشن کردن مجدد آن باید مدت زمان مشخصی بگذرد و سپس آنرا روشن و به شبکه متصل کرد. برای تعریف این قیود در این تحقیق از روابط (۶) و (۷) استفاده می‌شود.

قید حداقل زمان روشن ماندن:

$$(X_{i,t-1}^{on} - T_i^{on}) \cdot (I_{t-1} - I_t) \geq 0 \quad (6)$$

قید حداقل زمان خاموش ماندن:

$$(X_{i,t-1}^{off} - T_i^{off}) \cdot (I_t - I_{t-1}) \geq 0 \quad (7)$$

$I_t$ : پارامتر باینری است که مقدار آن اعداد  $\{0,1\}$  است. در صورت ۰ بودن بیانگر خاموش بودن ژنراتور و در صورت ۱ بودن بیانگر روشن بودن ژنراتور است.

$T_i^{on}$ : حداقل زمان مورد نیاز برای روشن ماندن ژنراتور  $i$

$T_i^{off}$ : حداقل زمان مورد نیاز برای خاموش ماندن ژنراتور  $i$

پارامترهای  $X_{i,t}^{on}$  و  $X_{i,t}^{off}$  اعداد مثبتی هستند که به ترتیب تعداد ساعات روشن بودن و خاموش بودن ژنراتور  $i$  را تا زمان  $t$  نشان می‌دهند. با هر بار تغییر وضعیت ژنراتور مقادیر این پارامترها صفر می‌شود و از آن ساعت دوباره برای وضعیت جدید شمارش می‌شود. برای محاسبه این پارامترها از روابط (۸) و (۹) در برنامه استفاده شده است:

$$X_{i,t}^{on} = (X_{i,t-1}^{on} + 1) \cdot I_t \quad (8)$$

$$X_{i,t}^{off} = (X_{i,t-1}^{off} + 1) \cdot (1 - I_t) \quad (9)$$

### قید مربوط به نرخ تغییرات خروجی

روابط (۱۰) و (۱۱) چگونگی در نظر گرفتن این قیود را نشان می‌دهند.

محدودیت نرخ افزایش خروجی:

$$PG_{i,t} - PG_{i,t-1} \leq RU_i \quad (10)$$

$RU_i$ : حداکثر توان قابل افزایش در هر ساعت توسط ژنراتور  $i$

محدودیت نرخ کاهش خروجی:

$$PG_{i,t-1} - PG_{i,t} \leq RD_i \quad (11)$$

$RD_i$ : حداکثر توان قابل کاهش در هر ساعت توسط ژنراتور  $i$

شکل ۱ فلوچارت کلی روند حل مسئله را نشان می‌دهد.



شکل ۱: فلوچارت تعیین کننده رویه حل مسئله

## ۳- استفاده از الگوریتم GSO<sup>1</sup> برای حل مسئله

الگوریتم بهینه سازی جستجوی گروهی برای اولین بار در سال ۲۰۰۶ توسط He و همکارانش در مرجع [12] ارائه شده است. سپس در سال ۲۰۰۹ آقای He و همکارانش الگوریتم خود را تکمیل کرده و به صورت ریاضی در مرجع [13] ارائه کرده اند.

### ۳-۱- تابع برازندگی

در این تحقیق هدف مسئله استراتژی بهینه قیمت دهی افزایش سود یک تولید کننده در یک دوره ۲۴ ساعته است. با توجه به اینکه الگوریتم GSO در حالت اصلی بر پایه مینیمم

<sup>1</sup> Global search optimization (GSO)

#### ۴- مطالعات عددی

برای شبیه سازی مسئله از یک ژنراتور ۴۵۰ مگاواتی با محرک اولیه توربین بخار استفاده می شود. این ژنراتور دارای محدوده تولید بین ۵۰ تا ۴۵۰ مگاوات است. جدول ۱ مشخصات کامل این ژنراتور را نشان می دهد.

جدول ۱: مشخصات ژنراتور

Pmax	450 MW
Pmin	50 MW
	0.01 \$/MWh <sup>2</sup>
	8.5 \$/MWh
	150\$
Start cost	400\$
Shut down cost	200\$
Ramp up	100 MW/hour
Ramp down	
Minimum on time	3 hour
Minimum off time	3 hour

برای شبیه سازی مسئله فرض می شود ژنراتور در لحظه شروع از ۴ ساعت قبل روشن بوده و ۸۰ مگاوات تولید می کند. سقف قیمت مجاز برای ارائه به بازار 100 \$/MWh در نظر گرفته می شود. برای حل مسئله فرض می شود انحراف معیار قیمت بازار در تمامی ساعات باهم برابر باشند. جدول ۲ میانگین و انحراف معیار قیمت بازار را در ۲۴ ساعت نشان می دهد.

جدول ۲: مقادیر میانگین و انحراف معیار قیمت بازار در ۲۴ ساعت

ساعت	انحراف معیار (دلار)	میانگین (دلار)
1	2	15
2	2	15
3	2	15
4	2	16.5
5	2	16.7
6	2	16
7	2	18
8	2	19.5
9	2	20
10	2	24
11	2	25
12	2	26.5
13	2	28
14	2	29
15	2	30
16	2	32.5
17	2	32.5

ادامه جدول ۲

ساعت	انحراف معیار (دلار)	میانگین (دلار)
18	2	33

سازی کار می کند به منظور افزایش سود کمپانی از تابع زیر استفاده می شود:

$$fit_i = 1 - \frac{ben_i}{ben_{max}} \quad (12)$$

$fit_i$ : برازندگی فرد  $i$

$ben_i$ : سود حاصل از پاسخ فرد  $i$

$ben_{max}$ : ماکزیمم سودی که تولید کننده می تواند کسب

کند.

برای محاسبه  $ben_{max}$  فرض می شود تولید کننده در تمامی ۲۴ ساعت برق خود را با بالا ترین قیمت مجاز به فروش برساند و مقدار سود آن محاسبه می شود.

#### ۳-۲- در نظر گرفته قیود

برای در نظر گرفتن قیود در الگوریتم GSO از روش جریمه‌ای استفاده شده است.

در این روش به افرادی که قیود حاکم بر مسئله را نقض می کنند جریمه تعلق می گیرد. برای این منظور پارامتر  $a$  به گونه‌ای تعیین می شود که اگر قیود برقرار بودند مقدار صفر و اگر قیود برقرار نبودند عددی مثبت باشد. سپس تابع جریمه با استفاده از یک تابع نمایی ساخته می شود. مجموعه روابط (۱۳) چگونگی محاسبه تابع جریمه را نشان می دهند.

$$penalty\_fact = e^{K.a}$$

$$\begin{cases} \alpha = \frac{c(x)+|c(x)|}{2} & : ifc(x) \leq 0 \text{ (ineqconstraint)} \\ \alpha = |d(x)| & : ifd(x) = 0 \text{ (eqconstraint)} \end{cases} \quad (13)$$

به منظور اینکه با پیشرفت الگوریتم و بالا رفتن تعداد تکرارها، تمرکز تابع هدف بیشتر بر روی افزایش سود باشد مقدار تأثیر ضریب جریمه با تکرار الگوریتم کاهش می یابد.  $K$  ضریب کاهش تأثیر قیود است که مقدار آن با افزایش تعداد تکرارها به صورت خطی کاهش می یابد. در این مقاله مقدار  $K$  از ۰.۹ تا ۰.۴ کاهش می یابد. برای محاسبه  $K$  از رابطه (۱۴) استفاده می شود.

$$K = 0.9 - \frac{0.5*(it-1)}{maxiter-1} \quad (14)$$

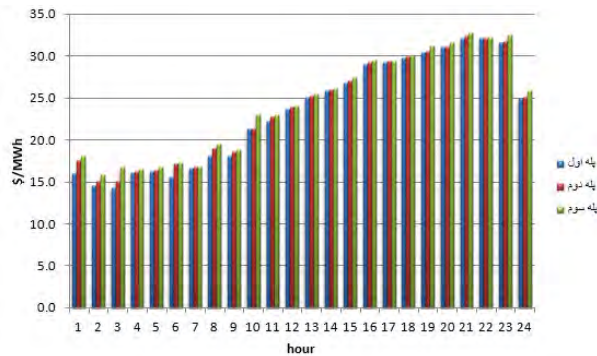
$maxiter$  تعداد تکرار تعیین شده برای الگوریتم است و  $it$  شمارنده تکرار الگوریتم است که از ۱ تا  $maxiter$  تغییر می کند. مقدار ضرایب جریمه بدست آمده در تابع برازندگی ضرب می شود و بدین ترتیب تابع برازندگی نهایی به صورت رابطه (۱۵) تعریف می شود.

$$final\_fit_i = fit_i * \prod_z penalty\_fact_{z,i} \quad (15)$$

در این رابطه  $z$  تعداد قیود حاکم بر مسئله می باشد.

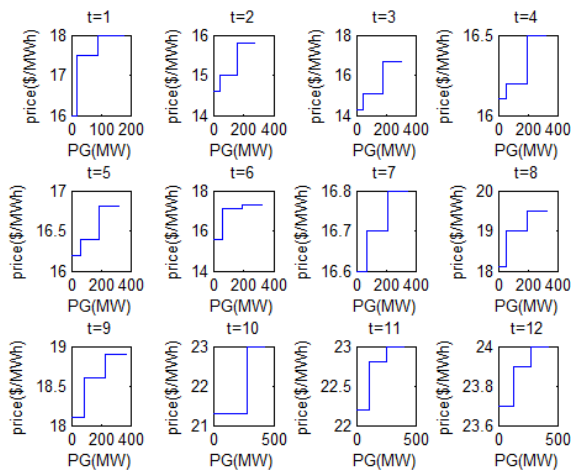
16	29.0	29.3	29.5	139.5	149.1	149.9
17	29.3	29.3	29.4	128.7	148.9	149.9
18	29.7	29.9	30.1	129.9	147.4	149.9
19	30.4	30.6	31.2	134.1	148.0	149.9
20	31.1	31.1	31.6	147.7	148.6	149.9
21	32.1	32.4	32.8	147.1	148.5	149.9
22	32.1	32.1	32.3	125.8	143.7	149.9
23	31.6	31.7	32.5	143.0	147.9	149.5
24	24.9	25.0	25.9	144.8	147.6	134.3

شکل ۲: پروفیل قیمت پیشنهادی ژنراتور را برای ۲۴ ساعت در سه پله نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در ساعات ابتدایی قیمت پیشنهادی کمتر است و در ساعات پیک بار قیمت بیشتر می شود.



شکل ۲: پروفیل قیمت پیشنهادی ژنراتور برای ۲۴ ساعت

شکلهای ۳ و ۴: پیشنهاد ژنراتور به بازار را در ۲۴ ساعت نشان می دهند.



شکل ۳: پیشنهاد ژنراتور در ۱۲ ساعت اول

19	2	34
20	2	34.5
21	2	36
22	2	35.5
23	2	35
24	2	28

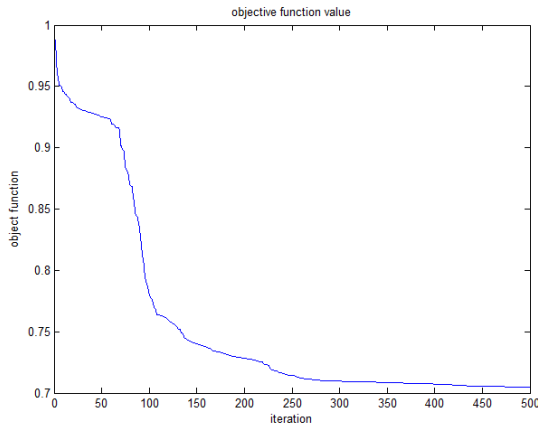
مسئله استراتژی قیمت دهی برای بازیگر مورد نظر و با استفاده از روش بیان شده در این مقاله حل می شود. جدول ۳ وضعیت خاموش و روشن بودن ژنراتور را در ۲۴ ساعت به همراه قیمت و توان پیشنهادی در هر ساعت نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود قیمت پیشنهادی در هر ساعت تقریباً برابر میانگین قیمت در هر ساعت است.

در این حالت نیز قیمت پیشنهادی در ساعات اول مقدار ناهماهنگی دارد و در ساعات پایانی پیشنهاد قیمت به بازار شکل هموارتری به خود می گیرد. ژنراتور در ساعات ابتدایی نمی تواند خروجی خود را به مقدار زیادی افزایش دهد. همچنین ژنراتور برای پوشش دادن هزینه های خود باید در بازار برنده شود. برای این منظور ژنراتور در ساعات ابتدایی، در اولین پله قیمت خود را مقدار کمتری پیشنهاد می کند که با احتمال بالایی برنده شود. سپس در پله های بعدی قیمت پیشنهادی خود را بالا می برد تا در صورت برنده شدن این پله ها، بتواند سریعتر به سود مورد نظر برسد.

جدول ۳: قیمت و توان پیشنهادی در هر ساعت و وضعیت روشن و خاموش بودن ژنراتور در هر ساعت

houe	قیمت پیشنهادی (MWh/\$)			توان پیشنهادی (MW)		
	پله اول	پله دوم	پله سوم	پله اول	پله دوم	پله سوم
1	16.0	17.5	18.0	18.9	72.7	88.4
2	14.6	15.0	15.8	47.8	111.6	120.1
3	14.3	15.1	16.7	48.2	130.6	134.7
4	16.1	16.2	16.5	57.7	141.5	126.4
5	16.2	16.4	16.8	59.1	132.0	135.1
6	15.6	17.1	17.3	63.9	131.8	131.4
7	16.6	16.7	16.8	70.5	143.1	137.0
8	18.1	19.0	19.5	55.8	141.2	138.8
9	18.1	18.6	18.9	89.1	141.8	149.0
10	21.3	21.3	23.0	133.6	149.1	149.6
11	22.2	22.8	23.0	109.8	149.4	149.9
12	23.7	23.9	24.0	129.8	148.5	149.9
13	25.0	25.2	25.5	112.0	148.5	149.9
14	25.8	25.9	26.1	142.0	149.3	150.0
15	26.7	27.0	27.4	125.3	148.0	149.9

در نهایت امید ریاضی سود کلی ژنراتور در ۲۴ ساعت برابر ۲۷۶.۹ هزار دلار خواهد بود. نتایج این قسمت نشان می دهد که ژنراتور در ساعاتی که میانگین قیمت بازار بیشتر از هزینه حدی ژنراتور در بار ماکزیمم است اقدام به تولید می کند. شکل ۷ روند کاهش تابع هدف تعریف شده در فصل چهارم را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در بهترین شرایط بدست آمده مقدار تابع هدف به حدود ۰.۷ رسیده است.



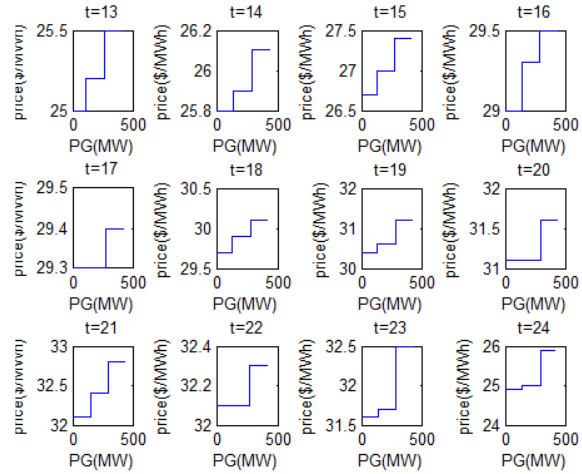
شکل ۷: روند کاهش تابع هدف در خلال تکرار الگوریتم

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله مسئله استراتژی قیمت دهی بهینه به بازار برق بررسی شد. مسئله مورد نظر از دیدگاه یک تولید کننده تعریف شد. در تعریف مسئله تغییر استراتژی سایر بازیگران بازار در تغییرات قیمت بازار لحاظ شد و در نهایت مسئله با در نظر گرفتن قیود مختلف ژنراتور با استفاده از الگوریتم GSO حل شد. بررسی نتایج نهایی نشان می دهد میزان سود هر بازیگر بستگی زیادی به استراتژی قیمت دهی او دارد. همچنین قیمت نهایی پیشنهادی هر بازیگر تقریباً نزدیک به میانگین قیمت بازار است. نتیجه نهایی همچنین بیانگر توانایی خوب الگوریتم GSO در حل مسائل بهینه سازی خطی است.

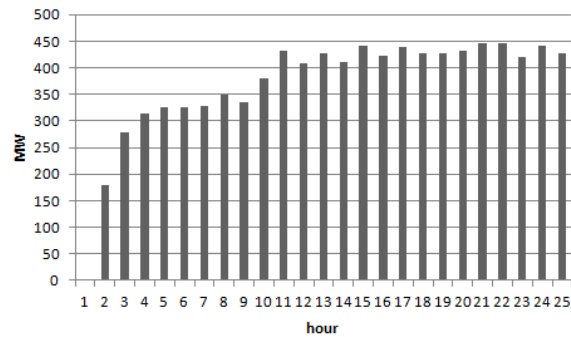
مراجع :

- [1] Shangyou Hao, "A Study of Basic Bidding Strategy in Clearing Pricing Auctions", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 15, NO. 3, AUGUST 2000
- [2] Fushuan Wen and A. Kumar David, "Optimal Bidding Strategies and Modeling of Imperfect Information Among Competitive Generators", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 16, NO. 1, FEBRUARY 2001
- [3] Li Yang, Fushuan Wen, "development of bidding strategies in electricity markets using possibility theory",
- [4] Antonio J. Conejo, Francisco Javier Nogales, and José Manuel Arroyo, "Price-Taker Bidding Strategy Under Price Uncertainty", IEEE



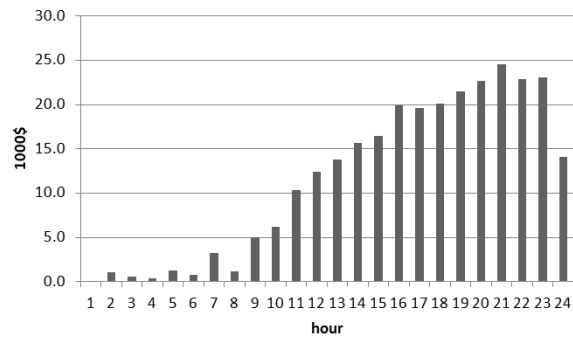
شکل ۴: پیشنهاد ژنراتور در ۱۲ ساعت دوم

شکل ۵: پروفیل تولید ژنراتور را در ۲۴ ساعت نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در ساعات ابتدایی به دلیل محدودیت نرخ تغییرات خروجی ژنراتور میزان خروجی به صورت پله ای افزایش می یابد تا اینکه در ساعت ۱۱ تولید ژنراتور از مرز ۴۰۰ مگاوات می گذرد.



شکل ۵: پروفیل تولید ژنراتور در ۲۴ ساعت

شکل ۶: پروفیل سود ژنراتور در هر ساعت را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در تمامی ساعات سود ژنراتور مثبت است. دلیل این امر این است که هزینه حدی تولید ژنراتور در تمامی ساعات کمتر از میانگین قیمت بازار است و از این رو ژنراتور همواره از فروش برق سود می برد.



شکل ۶: پروفیل سود ژنراتور در هر ساعت

TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 17, NO. 4, NOVEMBER 2002

[5] Vasileios P. Gountis, and Anastasios G. Bakirtzis "Bidding Strategies for Electricity Producers in a Competitive Electricity Marketplace, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 19, NO. 1, FEBRUARY 2004

[6] Ning Lu, Joe H. Chow, and Alan A. Desrochers, "Pumped-Storage Hydro-Turbine Bidding Strategies in a Competitive Electricity Market,

[7] Li Ma, Fushuan Wen, "Optimal Bidding Strategies for Generation Companies in Electricity Markets with Transmission Capacity Constraints Taken into Account",

[8] Claudia P. Rodriguez, George J. Anders "Bidding Strategy Design for Different Types of

Electric Power Market Participants" , IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 19, NO. 2, MAY 2004

[9] Tao Li, Mohammad Shahidehpour "Strategic Bidding of Transmission-Constrained

GENCOs with Incomplete Information, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 20, NO. 1, FEBRUARY 2005

[۱۰] میثم انصاری، مجتبی شیوایی، محمد صادق قاضی زاده، " مدلسازی

بازارهای رقابتی برق و ارزیابی پارامترهای آن مبتنی بر رویکرد پذیر بودن اطلاعات

بازیگران بازار " بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، پژوهشکده نیرو،

آبان ۱۳۸۹

[11] mohammadshahidehpur, hatimyamin, zuyi li "Market Operation in Electric Power Systems" Copyright @ 2002 by John Wiley & Sons

[29] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg "POWER GENERATION, OPERATION, AND CONTROL" Copyright by John Wiley & Sons

[12] He, S., Q.H. Wu, and J.R. Saunders. A Novel Group Search Optimizer Inspired by Animal Behavioural Ecology. in Evolutionary Computation, 2006. CEC 2006. IEEE Congress on. 2006.

[13] He, S., Q.H. Wu, and J.R. Saunders, Group Search Optimizer: An Optimization Algorithm Inspired by Animal Searching Behavior. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 2009. 13(5): p. 973-990.