



تنظیم بهینه قراردادهای پیش فروش و پیش خرید برق به کمک آنالیز سناریوهای چندگانه در بازار برق ایران

حبیب رجبی مشهدی
h_mashhadi@um.ac.ir
استادیار گروه برق

مهدی گلکانی
ma_go12@stu-mail.um.ac.ir
دانشجوی کارشناسی ارشد برق

دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد
با همکاری دفتر تحقیقات و استانداردها - شرکت برق منطقه ای خراسان

واژه‌های کلیدی: بازار برق، برنامه‌ریزی میان‌مدت، درخت سناریو، عدم قطعیت، شرکت‌های تولید و توزیع

چکیده

روزانه پردازند. برقراری مصالحه و تعیین میزان بهینه مشارکت در هر بازار سوال اساسی است که این مقاله در جهت پاسخ به آن تلاش می‌کند. با توجه به عدم قطعیت‌های^۳ متناظر با قیمت بازار لحظه‌ای، روش سناریوهای چندگانه درختی جهت مدلسازی عدم قطعیت به خدمت گرفته می‌شود. مساله برنامه‌ریزی در حراج یکنواخت^۴ و همچنین حراج تمایزی^۵ به طور جداگانه فرمولبندی و سپس در حل چند مساله به حل عددی و تفسیر نتایج پرداخته می‌شود. رویکرد انتخاب شده در این مقاله تصویری واقع‌گرایانه از مسائلی که شرکت‌های تولید و توزیع در ایران در آینده‌ای نزدیک با آن روبرو می‌شوند ارائه می‌دهد

با توجه به تدوین و تصویب آیین نامه خرید و فروش برق در بازار برق ایران و مساله واگذاری ظرفیت و ترانزیت برق در این آیین‌نامه، مساله برنامه‌ریزی میان‌مدت^۱ و تنظیم بهینه قراردادهای پیش‌فروش و پیش‌خرید در این مقاله مورد مطالعه و تحلیل قرار می‌گیرد. مساله می‌تواند از دیدگاه یک شرکت تولید (مساله پیش‌فروش انرژی) و یا یک شرکت توزیع (مساله پیش‌خرید انرژی) فرمولبندی و تنظیم شود. شرکت‌های تولید و توزیع علاوه بر تنظیم و عقد قراردادهای میان‌مدت از طریق مبادلات دو جانبه، می‌توانند به خرید یا فروش انرژی با بازار لحظه‌ای^۲ در کوتاه مدت پردازند. به عبارت دیگر شرکت‌های مختلف بازیگر در بازار بایستی با برنامه‌ریزی مناسب به خرید و فروش در هر دو بازار پیش‌فروش و بازار

3. Uncertainty
4. Uniform auction
5. Pay-as-bid auction

1. Mid-term planning
2. Spot market

۱- مقدمه

تجدید ساختار^۱ و عدم قطعیت‌های^۲ مختلف در میزان بار، قیمت و ... پیچیدگی‌های زیادی را در فرآیند برنامه‌ریزی در جهت تامین و تولید انرژی الکتریکی ایجاد کرده است. همراه با تجدید ساختار اقتصادی صنعت برق مسائل جدیدی در حوزه های مختلف مطرح شده اند. اغلب این مسائل به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات کامل در باره قیمت بازار و رفتار عوامل در بازار، مسائل پیچیده‌ای هستند که بایستی با فرضیات معقولی مدلسازی شوند. تعریف ساده‌ای از عدم قطعیت به صورت زیر قابل ارائه است [۱]:

عدم قطعیت عبارت است از مجموعه عواملی که در نتایج برنامه‌ریزی تاثیرگذار هستند و در زمان برنامه‌ریزی تغییرات آنها برای برنامه‌ریز به صورت ناشناخته باقی می‌ماند. زمینه‌های اصلی ایجاد عدم قطعیت در برنامه‌ریزی‌های میان‌مدت و بلندمدت عبارتند از:

- شناور بودن نرخ مبادلات انرژی و قیمت بازار
- میزان تقاضا برای انرژی
- هزینه سوخت و دسترسی به حاملهای اولیه انرژی
- ساختار شبکه با توجه به خروج اضطراری برخی المانها
- تغییرات در قوانین بازار برق
- تغییرات در تولید و انتقال برق
- نرخ بهره، نرخ تورم و سایر شاخصهای اقتصادی

بی‌ثباتی در قیمت سوخت منجر به افزایش عدم قطعیت در برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت گردیده است. تعاملات پیچیده بین منابع متفاوت عدم قطعیت و تاثیر آنها بر برنامه‌ریزی سیستم قدرت نیازمند توجه کافی به مدلسازی عدم قطعیتها در تصمیم‌گیری‌ها می‌باشد. عدم قطعیتها را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم کرد:

الف- متغیرهایی که در برنامه‌ریزی لحاظ می‌شوند و در برنامه‌ریزی‌ها مشخص هستند و تقریب زده می‌شوند و از قبل در برنامه پیش‌بینی می‌شوند هر چند که ممکن است مقدار

واقعی آن در آینده با آنچه تخمین زده می‌شود، متفاوت باشد. منظور از برنامه‌ریزی دقیق لحاظ نمودن مناسب این پارامترها در برنامه‌ریزی می‌باشد (قیمت بازار، در دسترس بودن واحدها و ...). ب- متغیرها یا پیشامدهایی که در برنامه‌ریزی لحاظ نشده‌اند و نمی‌توان آنها را به سادگی پیش‌بینی کرد به طور مثال تغییرات در قوانین بازار.

با توجه به انواع مختلف عدم قطعیت، لازمه بستن قراردادهای میان‌مدت ارائه مدلی مناسب از عدم قطعیتها است. یکی از روشهای مدلسازی عدم قطعیتها درخت سناریو^۳ می‌باشد که در آن شرایط و مقدار عدم قطعیتها مختلف در هر بازه زمانی به صورت احتمالی در نظر گرفته می‌شود. این روش مدلسازی عدم قطعیت در برنامه‌ریزی سیستمهای قدرت در موارد مختلفی به خدمت گرفته شده است.

در سال ۱۹۹۷ آقایان بریگنال^۴ و رناد^۵ [۲] از درخت سناریو به منظور مینیم کردن هزینه‌های بهره‌برداری هفته‌ای واحدها در فرانسه استفاده کردند.

در سال ۱۹۹۸ آقایان فرائن درفر^۶ و استرمایر^۷ [۳] مدلی ریاضی به منظور بهره‌برداری بهینه برای سیستم تولید منطقه والمانکو^۸ آلمان ارائه دادند. این مدل یک مدل کلی است که میزان پیش‌فروش، پیش‌خرید و خرید و فروش در بازار لحظه‌ای را در نظر گرفته است.

در سال ۲۰۰۴ آقایان شرستا^۹ و پخارل^{۱۰} [۴] با استفاده از درخت سناریو مدلی به منظور ماکزیم کردن درآمد حاصل از یک واحد تولیدی ارائه دادند. این مدل برای استفاده در صنعت برق نروژ به کار گرفته شده است و هدف از آن ماکزیم کردن درآمد در قرارداد های میان‌مدت می‌باشد.

هدف از این مقاله تنظیم بهینه قراردادهای پیش‌فروش و پیش-خرید شرکت‌های تولید و توزیع در محیط رقابتی است.

3. Scenario tree

4. S.Brignol

5. A.renaud

6. Karl Frauen dorfer

7. Georg Ostermaier

8. Valmalenco

9. Shrestha

10. Pokharel

1. Restructuring

2. Uncertainties

این درخت دارای ۷ سناریو ($s=7$) و ۱۱ گره است. $N = \{0,1,\dots,10\}$ هر گره دارای یک مرحله زمانی خاص نیز می‌باشد که آنرا به صورت $t(n)$ نمایش می‌دهیم مثلاً $t(3)=2$. همچنین هر گره شامل مجموعه‌ای از سناریوها است که از آن عبور می‌کنند و این مجموعه را دسته سناریو می‌نامیم و با β نمایش می‌دهیم مثلاً $\beta_2 = \{3,4,5\}$ (سناریوهای $\{\omega^3, \omega^4, \omega^5\}$ از گره ۲ عبور می‌کند). $Son(n)$ را مجموعه پسران گره n می‌نامند و $F(n)$ نشان دهنده پدر گره n است. در شکل (۲) داریم:

$$F(6) = F(7) = F(8) = 2, \quad Son(1) = \{4,5\}$$

بردار متغیرهای تصمیم‌گیری را در روی درخت سناریو با $\{X_s\}_{s \in S}$ نمایش می‌دهیم. متغیرهای تصمیم‌گیری $\{X_s\}_{s \in S}$ خود به زیر بردارهای $\{x_s^t\}_{t=1}^T$ تقسیم می‌شوند (T انتهای دوره برنامه‌ریزی است).

یکی از قیود مهمی که در هنگام استفاده از سناریوی درخت باید رعایت شود قیود *Nonanticipativity* است که به صورت زیر بیان می‌شود [۶].

$$\forall s, s' \in \beta n \quad x_{s,t}(n) = x_{s',t}(n)$$

به عنوان مثال در شکل (۲) متغیرهای تصمیم‌گیری مربوط به سناریوهای ۳ و ۴ و ۵ که متعلق به β_2 هستند در گره ۲ دارای یک مقدار یکسان می‌باشند.

۳- فرمولبندی و تعریف مساله

قبل از پرداختن به فرمولبندی مساله، نخست به معرفی پارامترهای مختلف و نمادهای به کار رفته در روابط مختلف می‌پردازیم.

Time: تعداد ساعات هر فصل ($24 \times 30 \times 3$)

t : اندیس دوره های زمانی (فصول سال)

T : تعداد دوره ها

n : تعداد واحدهای یک شرکت تولیدی

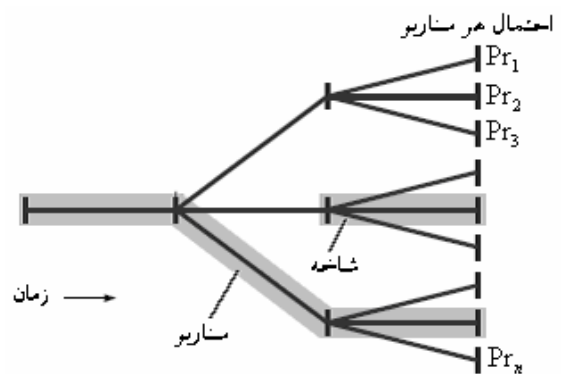
s : اندیس سناریو

S : تعداد سناریوهای مربوط به عدم قطعیت قیمت

شرکت های تولید و توزیع علاوه بر تنظیم و عقد قراردادهای میان مدت از طریق مبادلات دوجانبه، می‌توانند به خرید و فروش انرژی با بازار لحظه ای در کوتاه مدت پردازند. با توجه به اینکه در بازار برق ایران از حراج تمایزی استفاده می‌شود، فرمولبندی مساله برای این شرایط نیز ارائه می‌گردد.

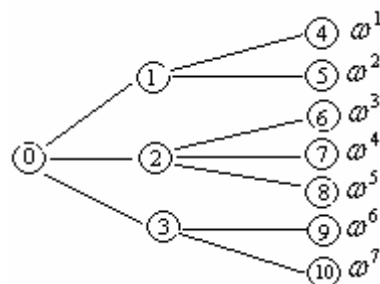
۲- مدل سازی عدم قطعیتها به کمک درخت سناریو

یک از راههای مدل کردن عدم قطعیتها درخت سناریو می‌باشد. هر شاخه درخت نشانگر آینده احتمالی است که برای عدم قطعیتها با یک احتمال خاص بوجود می‌آید. هر شاخه ممکن است بخشی از سناریوهای مختلف باشد شکل (۱) توضیحی از سناریوی درخت است [۵].



شکل ۱- تعریف سناریو و شاخه در درخت سناریو

احتمال هر سناریو برابر است با حاصلضرب احتمال شاخه‌های آن سناریو و حاصلجمع احتمال سناریوها باید مساوی یک باشد. برای توضیح بیشتر درخت سناریو شکل (۲) را در نظر بگیرید [۶].



شکل ۲- سناریوی درخت

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

S' : تعداد سناریوهای مربوط به عدم قطعیت بار

$prob^s$: احتمال هر سناریو در درخت سناریو

$E(X)$: امید X (مقدار متوسط X)

ub : کران بالای متغیرها

$\rho_{sell}^{forward,t}$: قیمت پیش فروش انرژی برای بازه زمانی t (واحد پول بر مگاوات ساعت)

$\rho_{buy}^{forward,t}$: قیمت پیش خرید انرژی برای بازه زمانی t (واحد پول بر مگاوات ساعت)

$Q_{sell}^{bilateral,t}$: میزان پیش فروش انرژی برای بازه زمانی t (مگاوات ساعت)

$Q_{buy}^{bilateral,t}$: میزان پیش خرید انرژی برای بازه زمانی t (مگاوات ساعت)

$\rho_{sell}^{spot,t}$: قیمت فروش انرژی به بازار لحظه‌ای^۱ برای بازه زمانی t (واحد پول بر مگاوات ساعت)

$\rho_{buy}^{spot,t}$: قیمت خرید انرژی از بازار لحظه‌ای برای بازه زمانی t (واحد پول بر مگاوات ساعت)

G_{sell}^s : میزان فروش انرژی به بازار لحظه‌ای برای بازه زمانی t (مگاوات ساعت)

G_{buy}^s : میزان خرید انرژی از بازار لحظه‌ای برای بازه زمانی t (مگاوات ساعت)

$p_{enduser}$: قیمت فروش انرژی به مصرف کننده نهایی (بار محلی) (واحد پول بر مگاوات ساعت)

$G_{enduser}^s$: میزان فروش انرژی به مصرف کننده نهایی (بار محلی) برای بازه زمانی t (مگاوات ساعت)

$Q_{ii}^{operation}$: میزان بهره‌برداری از واحد i ام در بازه زمانی t (مگاوات)

$G_{unit\ i}^{min}$: کران پایین تولید واحد i ام (مگاوات)

$G_{unit\ i}^{max}$: کران بالای تولید واحد i ام (مگاوات)

$C(p)$: تابع هزینه واحد (واحد پول بر ساعت)

مساله را در حراج‌های یکنواخت و تمایزی مد نظر قرار می‌دهیم و توابع هدف زیر در نظر گرفته می‌شود:

- سود
- درآمد

شرکت‌های تولید و توزیع می‌توانند انرژی مورد نیاز خود را از واحدهایی که در اختیار دارند، از بازار لحظه‌ای و همچنین از طریق معاملات دو جانبه بر اساس قراردادهای پیش‌فروش یا پیش‌خرید تامین نمایند. مهمترین پارامتری که بایستی در برنامه‌ریزی به دلیل عدم قطعیت در مقدار آن مدلسازی نمود، پارامتر قیمت بازار است. درخت سناریویی که برای عدم قطعیت قیمت در نظر گرفته‌ایم به صورت شکل (۳) می‌باشد. این درخت را به روشی مشابه مثال زیر تشکیل داده‌ایم. فرض کنید اطلاعات قیمت بازار را برای یک دوره زمانی خاص به صورت زیر داریم:

$$[۸،۶،۶،۷،۱۱،۱۲،۱۰،۸،۴،۱۰]$$

بازه قیمت‌های بزرگتر از ۱۱ بازه ماکزیمم قیمت بازار در نظر می‌گیریم. در این صورت با احتمال ۰/۲ متوسط قیمت بازار ۱۱/۵ ((۱۲+۱۱)/۲) است. قیمت‌های کمتر از ۶ را بازه مینیمم قیمت در نظر می‌گیریم. در این صورت با احتمال ۰/۳ متوسط قیمت بازار ۵/۴ است. بازه بین ۶ تا ۱۱ را به عنوان بازه متوسط قیمت بازار بررسی می‌کنیم. در این شرایط با احتمال ۰/۵ متوسط قیمت بازار ۸/۶ می‌باشد. حال احتمال و میزان قیمت بازار روی هر شاخه درخت در این دوره زمانی خاص مشخص است (بحث جامع‌تر چگونگی تولید سناریوی درخت در مراجع [۴] و [۷] و [۸] به تفصیل بیان شده است). درخت سناریوی قیمت شامل چهار دوره زمانی (چهار فصل سال) می‌باشد. حالت‌های مختلف را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

با احتمال ۰/۳ قیمت بازار بیشترین مقدار ممکن است.

با احتمال ۰/۵ قیمت بازار متوسط مقدار ممکن است.

با احتمال ۰/۲ قیمت بازار کمترین مقدار ممکن است.

1. Spot market

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

حاصل از شرکت در بازار لحظه‌ای در جمله دوم تابع هدف (خط دوم معادله (۱)) نشان داده شده است. در این جمله قیمت بازار به عنوان عدم قطعیت بازار بر روی درخت سناریو مدل شده است. احتمال وارد شده در ابتدای این جمله معرف احتمال رخداد سناریوهای مختلف است. جمله سوم (خط سوم معادله (۱)) و چهارم (خط چهارم معادله (۱)) تابع هدف بیان کننده سود ناشی از فروش انرژی به مصرف کننده نهایی و هزینه بهره‌برداری واحدها است. در جمله سوم بار مصرف کننده نهایی به عنوان یک عدم قطعیت بر روی درخت سناریو مدل می‌شود. در جمله چهارم نیز نوعی توزیع اقتصادی بار^۲ صورت می‌گیرد. ضرائب $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ بسته به نظر و امکانات شرکت‌های مختلف مقادیر صفر و یک را می‌پذیرند. در مثال این مقاله ضریب β صفر و بقیه یک در نظر گرفته شده‌اند و این بدین معنی است که شرکت تولیدی مربوطه قرارداد پیش‌خرید امضا نمی‌کند.

قیود مساله بهینه‌سازی عبارتند از:

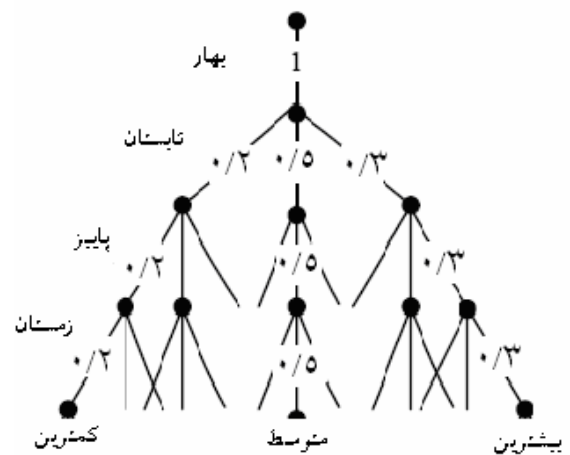
$$G_{\min}^{unit\ i} \leq Q_{ti}^{operation} \leq G_{\max}^{unit\ i} \quad (2)$$

$$ub < \text{سایر متغیرها} < \quad (3)$$

$$Nonanticipativity \quad \text{قیود} \quad (4)$$

$$(\beta Q_{buy}^{bilateral}) + \delta E(G_{buy}^t) + (\sum_{i=1}^n Q_{ti}^{operation} Time) - (\alpha Q_{sell}^{bilateral}) - \gamma E(G_{sell}^t) = E(G_{enduser}^t) \quad (5)$$

معادله (۲) بیان کننده قیود مربوط به بهره‌برداری واحدها است. در معادله (۳) کران بالا و پایین سایر متغیرهای تصمیم‌گیری به عنوان قید دیگری گنجانده شده است. معادله (۴) بیان کننده قیود *Nonanticipativity* که در بخش دوم مقاله توضیح آن گذشت. قیود تعادل تولید و مصرف نیز در معادله (۵) بیان شده است.



شکل ۳- درخت سناریوی قیمت

در ادامه دو کمیت اقتصادی سود و درآمد را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

۳-۱- سود

درحراج تمایزی قیمت فروش برابر قیمت پیشنهادی واحد می‌باشد، اما قیمت خرید برابر با متوسط موزون قیمت‌های فروش است. در حراج یکنواخت قیمت خرید و فروش یکسان است و برابر با قیمت تسویه بازار^۱ می‌باشد.

۳-۱-۱- سود در حراج یکنواخت:

تابع هدف این مساله بهینه‌سازی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Max} \{ & \sum_{t=1}^T (\alpha \rho_{sell}^{forward} Q_{sell}^{bilateral} - \beta \rho_{buy}^{forward} Q_{buy}^{bilateral}) \\ & + \sum_{s=1}^S \text{prob}^s [\sum_{t=1}^T \rho_{sell}^{spot} (\gamma G_{sell}^s - \delta G_{buy}^s)] \\ & + \sum_{s=1}^{S'} \text{prob}^s \sum_{t=1}^T (\rho_{enduser} G_{enduser}^s) \\ & - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T c(Q_{ti}^{operation}) Time \} \quad (1) \end{aligned}$$

جمله اول تابع هدف (خط اول معادله (۱)) بیان کننده سود ناشی از بستن قراردادهای پیش‌فروش و پیش‌خرید است. سود

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

۳-۱-۲- سود در حراج تمایزی:

تابع هدف این مساله بهینه‌سازی به صورت زیر بیان می‌شود و قیود آن همان معادلات (۲) تا (۵) است.

$$\begin{aligned} \text{Max} \{ & \sum_{t=1}^T (\alpha \rho_{sell}^{forward} Q_{sell}^{bilateral} - \beta \rho_{buy}^{forward} Q_{buy}^{bilateral}) \\ & + \sum_{s=1}^S \text{prob}^s [\sum_{t=1}^T \gamma \rho_{sell}^{spot} G_{sell}^s - \delta \rho_{buy}^{spot} G_{buy}^s] \\ & + \sum_{s=1}^{S'} \text{prob}^s \sum_{t=1}^T (\rho_{enduser} G_{enduser}^s) \\ & - \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T c(Q_{ti}^{operation}) \text{Time} \} \end{aligned} \quad (6)$$

معادله (۶) از همان ساختار معادله (۱) برخوردار است، با این تفاوت که قیمت خرید از بازار لحظه‌ای متفاوت از قیمت فروش به بازار لحظه‌ای است.

۳-۲- درآمد

فرمول ریاضی درآمد برای هر دو نوع حراج (یکنواخت و تمایزی) یکسان می‌باشد. تابع هدف این مساله بهینه‌سازی به صورت زیر بیان می‌شود و قیود آن همان معادلات (۲) تا (۵) است. در این تابع هدف همانطور که از اسمش پیداست، هزینه‌های بهره‌برداری واحدها در تابع هدف وارد نشده‌اند.

$$\begin{aligned} & + \sum_{s=1}^S \text{prob}^s \sum_{t=1}^n (\rho_{sell}^{spot} G_{sell}^s) \\ & + \sum_{s=1}^{S'} \text{prob}^s \sum_{t=1}^n (\rho_{enduser} G_{enduser}^s) \end{aligned} \quad (7)$$

۴- نتایج

در این بخش به حل عددی مسائل مطرح شده در بخش قبل می‌پردازیم. بدون از دست دادن کلیت مساله، مساله از دیدگاه یک شرکت تولید فرمول‌بندی می‌شود. مساله بهینه‌سازی (۱) که یک مساله غیر خطی^۱ است با استفاده از نرم افزار Matlab و دستور fmincon حل شده است (از آنجایی که برای حل دستور فوق نیاز به نقطه اولیه است، از الگوریتم GA در

جهت تعیین بهترین نقطه اولیه استفاده می‌شود). در این مطالعه برای شرکت تولید هیچ پیش‌خریدی صورت نمی‌گیرد و قیمت مصرف‌کننده نهایی (بار محلی) به صورت تعرفه‌ای در نظر گرفته شده است.

عدم قطعیت‌های موجود عبارتند از:

- بار مورد نیاز مصرف‌کننده نهایی.
- قیمت بازار (در حراج تمایزی قیمت خرید و فروش).

در این مطالعه برای عدم قطعیت بار مصرف‌کننده نهایی درخت سناریویی در نظر گرفته نشده است و بار برای هر دوره به صورت متوسط در نظر گرفته شده است. بدیهی است در یک مطالعه کاملتر می‌توان بار و قیمت و تاثیر آنها بر یکدیگر را نیز مدلسازی نمود.

به عنوان مثال کمترین، متوسط و بیشترین مقدار قیمت بازار برای فصل زمستان به ترتیب به صورت ۵۲۰۰۰، ۴۸۰۰۰، ۲۲۰۰۰ ریال بر مگاوات ساعت است

۴-۱- مشخصات شرکت تولیدی^۲

شرکت تولیدی مورد مطالعه با سه واحد زیر در نظر گرفته شده است.

واحد اول: واحد بخاری سوخت ذغال سنگ.

حداکثر خروجی: ۶۰۰ مگاوات.

حداقل خروجی: ۱۵۰ مگاوات

$$C(p_1) = 561 + 7.92 p_1 + 0.001562 p_1^2$$

واحد دوم: واحد بخاری سوخت نفتی یا گازوئیل.

حداکثر خروجی: ۴۰۰ مگاوات.

حداقل خروجی: ۱۰۰ مگاوات

$$C(p_2) = 310 + 7.85 p_2 + 0.00194 p_2^2$$

واحد سوم: واحد بخاری سوخت نفتی یا گازوئیل.

حداکثر خروجی: ۲۰۰ مگاوات.

حداقل خروجی: ۵۰ مگاوات

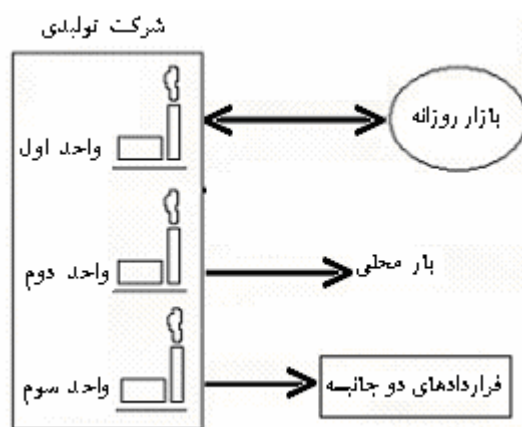
$$C(p_3) = 78 + 7.97 p_3 + 0.00482 p_3^2$$

2. Generation company

1. Nonlinear

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

شکل (۴) شرکت تولیدی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴- ارتباط شرکت تولیدی با بازار روزانه، شرکتهای طرف قرارداد و بار محلی

کند. در این حالت به دلیل بیشتر بودن قیمت پیش‌فروش از قیمت بازار لحظه‌ای، شرکت از بازار لحظه‌ای انرژی خریده و در صدد تامین قرارداد پیش‌فروش است. در چهار سطر سوم جدول ۲ متوسط قیمت هر فصل به عنوان قیمت پیش‌فروش در نظر گرفته شده است. در چهار سطر انتهایی جدول ۲ قیمت پیش‌فروش کمتر از متوسط قیمت بازار لحظه‌ای است که نتیجه عددی این حالت نیز بر درستی نتایج دلالت می‌کند. نتیجه کلی که از این جدول به دست می‌آید این است که اگر قیمت پیش‌فروش بیشتر از متوسط قیمت بازار لحظه‌ای باشد، شرکت ماکزیم مقدار پیش‌فروش را قرارداد می‌بندد. آنچه که مسلم است، باید قیمت پیش‌فروش کمتر از قیمت بازار لحظه‌ای باشد، در این حالت ممکن است درآمد کمتر باشد اما این درآمد با ریسک کمتر بدست می‌آید. این مساله را می‌توان از دید یک شرکت توزیع که دارای واحدهای تولید پراکنده (DG) است نیز بررسی نمود.

۵- نتیجه‌گیری

تنظیم بهینه قراردادهای پیش‌فروش و با هدف ماکزیم کردن درآمد و سود شرکتها در دو نوع حراج یکنواخت و تمایزی در این مقاله مورد مطالعه قرار گرفت. در روش ارائه شده شرکتها برای بدست آوردن درآمد و سود بیشتر در میان مدت (یکسال) به بستن قراردادهای پیش‌فروش و پیش‌فروش انرژی اقدام می‌کنند. لازمه بستن قراردادها در میان‌مدت داشتن اطلاعات کافی از عدم قطعیت‌های موجود است. قیمت بازار تنها عدم قطعیتی است که در این مقاله در نظر گرفته شده و این عدم قطعیت به صورت احتمالی و با درخت سناریو مدل می‌شود. بر اساس روش ارائه شده، می‌توان در فضای جدید بازار برق ایران که در آن امکان مبادله قراردادهای دو جانبه برای شرکتهای تولید و توزیع وجود دارد، به تنظیم و طراحی قراردادهای دو جانبه پرداخت. مدلسازی دقیقتر مساله و تفکیک قراردادهای پیک، غیر پیک و ... و همچنین بررسی اثر متقابل عدم قطعیت قیمت برق و بار از مواردی است که این تحقیق در جهت انجام آن تلاش می‌کند.

ظرفیت خطوط انتقال ۱۰۰۰ مگاوات است. جدول ۱ متوسط بار روزانه مصرف کننده نهایی را در هر دوره (فصل) نشان می‌دهد.

فصل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
بار	۹۰۰	۹۵۰	۸۵۰	۷۰۰

جدول ۱- متوسط بار مصرف کننده نهایی

۴-۲- نتایج عددی بدست آمده

جدول ۲ میزان پیش‌فروش و خرید و فروش در بازار لحظه‌ای برای یک ساعت از هر فصل برای قیمت‌های مختلف پیش‌فروش را نشان می‌دهد. در این جدول هر ۴ سطر نشان دهنده یکسال می‌باشند، که ۴ فصل سال در آن مشخص شده است. اگر برای یک سال قیمت پیش‌فروش را صفر در نظر بگیریم (از لحاظ منطقی درست نمی‌باشد ولی برای نشان دادن صحت نتایج لازم است) شرکت در میان‌مدت هیچ قراردادی امضا نمی‌کند و فقط در بازار لحظه‌ای شرکت می‌کند. اما اگر قیمت پیش‌فروش را ۸۰۰۰۰ ریال بر مگاوات ساعت در نظر بگیریم، شرکت ماکزیم مقدار پیش‌فروش را قرارداد بسته و علاوه بر آن در بازار لحظه‌ای نیز شرکت می‌کند.

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

	$P_{\text{forward sell } t}$	$Q_{\text{bilateral sell } t}$	$E(G_{\text{sell } t})$	$E(G_{\text{buy } t})$	$Q_{t1}^{\text{operation}}$	$Q_{t2}^{\text{operation}}$	$Q_{t3}^{\text{operation}}$
بهار	۰	۰	۳۰۰	۰	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
تابستان	۰	۰	۳۲۵/۷۷۰۵	۷۵/۷۷۰۵	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
پاییز	۰	۰	۳۰۴/۵۸۱۲	۱۲۵/۹۴۵۲	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
زمستان	۰	۰	۶۴۲/۴۱۸۳	۱۴۲/۴۱۸۳	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
بهار	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۱۶۷۷	۷۰۰/۱۶۷۷	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
تابستان	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۲۴۰۷	۷۵۰/۲۱۱۱	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
پاییز	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۲۰۵۷	۶۵۰/۲۰۵۷	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
زمستان	۸۰۰۰۰	۱۰۰۰	۵/۶۳۱۰	۵۰۵/۶۳۱۰	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
بهار	۳۶۱۰۰	۲۱۰/۸۶۰۷	۸۹/۱۰۱۹	۰	۶۰۰	۳۹۹/۹۶۲۶	۲۰۰
تابستان	۴۵۲۰۰	۰/۳۲۶	۵۹۸/۸۲۸۳	۴۲۴/۱۲۰۹	۶۰۰	۴۰۰	۱۲۵/۰۲۲۹
پاییز	۳۸۳۰۰	۳۸/۹۹۸۹	۵۸۵/۴۹۴۵	۵۹۹/۸۵۸۷	۳۹۳/۵۷۴۲	۳۹۹/۹۰۸۴	۸۱/۱۵۲۲
زمستان	۴۰۷۰۰	۵۰۵/۷۵۵۹	۵۹۸/۰۵۲۱	۶۰۳/۹۸۶	۵۹۹/۹۲۵۲	۳۹۹/۹۲۶۸	۲۰۰
بهار	۳۰۰۰۰	۰/۰۶۸۱	۳۱۹/۴۸۹۱	۱۹/۵۵۷۲	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
تابستان	۳۰۰۰۰	۰/۱۱۵۳	۳۷۰/۱۰۳۷	۱۲۰/۲۱۹۰	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
پاییز	۳۰۰۰۰	۰	۴۵۶/۱۲۳۹	۱۰۶/۱۲۳۹	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰
زمستان	۳۰۰۰۰	۱۶/۵۱۴۸	۶۴۲/۴۰۴۵	۱۵۸/۹۱۹۳	۶۰۰	۴۰۰	۲۰۰

جدول ۲ - میزان پیش‌فروش و بیش‌خرید انرژی و خرید و فروش در بازار لحظه‌ای برای یک ساعت از هر فصل از دیدگاه شرکت تولید

مراجع

- 7) Kjetil Hoyland, Michal Kaut, Stein W. Wallace, "a heuristic for moment-matching scenario generation", Computational Optimization and Applications, 24(2-3), pp.169-185, 2003
- 8) Allen J. Wood, Burce F. Wollenberg, "power generation, operation & control" 1992.

۱) مهدی گلمکانی، " کاربرد تکنیک سناریوهای چندگانه در

برنامه‌ریزی سیستمهای قدرت"، سمینار کارشناسی ارشد

مهندسی برق-قدرت دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۵.

- 1) S. B brignol, A. Renaud, "a new model for stochastic optimization of weekly generation schedules", Hong Kong, November 1997, pp 656-661
- 2) Karl Frauendorfer, Georg Ostermaier, "Stochastic optimization in dispatching of complex power system", December 1998
- 3) GB Shrestha, BK Pokharel, TT Lie, S-E Fleten, "Medium term power planning with bilateral contracts", Accepted for publication in IEEE transaction on power systems, 2004
- 4) Benedikt Krasenbrink, Branko Pribicevic, Hans-jurgen Haubrich, "Integrated planning of power generation and trading in a competitive market", IEEE, 2002, pp 1271-1277
- 5) Julia L. Higle, Brenda Rayco, Suvrajeet Sen, "Stochastic scenario decomposition for multi-stage stochastic programs", 2000
- 6) K. Høyland, S. W. Wallace. "generating scenario trees for multistage decision problems", "Management Science, 47(2), pp.295-307, 2001