

## تنظیم و تخمین بودجه متوسط سالانه شرکت‌های برق منطقه‌ای در محیط بازار برق ایران مبتنی بر استراتژی قیمت‌دهی

**مرتضی رحیمیان، حبیب رجبی مشهدی، رضا مسعودی**  
**دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق**  
**با همکاری دفتر بازار برق شرکت برق منطقه‌ای خراسان**

واژه‌های کلیدی: بودجه، استراتژی قیمت‌دهی، بازار برق، درخت تصمیم، برنامه‌ریزی غیرخطی، عدم قطعیت

### چکیده

همراه با تغییر در ساختار اقتصادی صنعت برق ایران و راه‌اندازی بازار برق، مسأله تنظیم و تخمین بودجه سالانه شرکت‌های برق منطقه‌ای با چالش‌ها و مشکلات ویژه‌ای مواجه شد. بهترین دلیل برای این وضعیت وجود عدم قطعیت‌های مختلف تأثیرگذار بر درآمدها و هزینه‌های این شرکت‌ها در فرایند فروش انرژی به بازار برق می‌باشد. در این مقاله مسأله تنظیم و تخمین بودجه متوسط یک شرکت برق منطقه‌ای به صورت یک مسأله برنامه‌ریزی میان‌مدت، مدل‌سازی گردیده است. روش پیشنهادی به گونه‌ای است که تخمین درآمدها و هزینه‌های سالانه شرکت برق را مبتنی بر استراتژی قیمت‌دهی وی در افق زمانی میان‌مدت انجام می‌دهد. با بهره‌گیری از درخت تصمیم و مدل‌سازی عدم قطعیت‌های موجود در پارامترها، کلیه سناریوهای ممکن تشکیل و به کمک روش بهینه‌سازی برنامه‌ریزی غیرخطی، تابع امید ریاضی سود مبتنی بر استراتژی قیمت‌دهی بهینه حداکثر شده است. نتایج شبیه‌سازی، عملکرد مناسب روش پیشنهادی و کاربردی بودن آن را در حل مسأله کنترل درآمدها و هزینه‌های شرکت‌های برق تأیید می‌کند.

### ۱- مقدمه

مسأله تنظیم و تخمین بودجه متوسط و برنامه‌ریزی جهت تحقق آن از جمله مهمترین مسائل مطرح در افق زمانی میان-مدت برای هر بنگاه اقتصادی است. حل دقیق این مسأله، نقشی کلیدی در جهت نیل به اهداف مورد نظر بنگاه اقتصادی و رشد و توسعه اقتصادی آن دارد. در فضای سنتی صنعت برق، حل مسأله برنامه‌ریزی بودجه با توجه به عدم قطعیت نه چندان قابل توجه موجود در درآمدها و هزینه‌ها با مشکل چندانی مواجه نبود. اما با ایجاد فضای رقابتی در صنعت برق و جداسازی بخش‌های تولید، انتقال و توزیع و در نتیجه تصمیم‌گیری مستقل بنگاه‌های اقتصادی، مسأله تخمین بودجه در فضای سنتی به مسأله کنترل هزینه‌ها و درآمدهای بنگاه‌های اقتصادی تغییر یافت. از طرف دیگر مسأله تخمین و تنظیم درآمدها و هزینه‌های بنگاه‌های اقتصادی به علت تغییر رفتار بازیگران بازار با توجه به اطلاعات ناقصشان از محیط بازار برق دارای عدم قطعیت محسوس می‌باشد. همچنین تخمین درآمدها و هزینه‌های هر بنگاه اقتصادی در افق زمانی

## بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

تولید که از واحدهای آبی و حرارتی تشکیل شده، ارائه شده است. در این مرجع عدم قطعیت‌های جریان آب ورودی به سد برای واحد آبی و قیمت سوخت در مورد نیروگاه حرارتی در نظر گرفته شده است. در مرجع [۶] با استفاده از درخت تصمیم، مدلی به منظور ماکزیم کردن درآمد با توجه به وجود قراردادهای میان‌مدت برای واحدهای آبی ارائه شده است.

در این مقاله مسأله تنظیم بودجه متوسط شرکت برق شرکت-کننده در بازار برق ایران به صورت یک مسأله برنامه‌ریزی میان‌مدت مدل‌سازی شده است. کنترل درآمدها و هزینه‌های شرکت برق ناشی از شرکت در فضای رقابتی بازار منطبق بر استراتژی قیمت‌دهی بهینه وی صورت می‌گیرد. در جهت نیل به این هدف، در بخش دوم به تعریف مسأله تنظیم بودجه شرکت برق در فضای رقابتی صنعت برق ایران پرداخته شده است. بخش سوم لزوم تطبیق مسأله تنظیم و تخمین بودجه در افق زمانی میان‌مدت با استراتژی قیمت‌دهی شرکت برق را بیان می‌کند. سپس با معرفی تابع هدف مسأله و قیود آن، عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسأله شناسایی و چگونگی مدل‌سازی آن در افق زمانی میان‌مدت تشریح شده است. در بخش چهارم روش درخت تصمیم به عنوان روشی کاربردی و کارا جهت حل مسأله تخمین بودجه معرفی شده و مسأله مذکور طبق آن فرمول‌بندی و به کمک روش برنامه‌ریزی غیرخطی حل گردیده است. در بخش پنجم نتایج شبیه‌سازی مورد بحث و تفسیر قرار گرفته است. در بخش ششم نتایج کار تحقیقاتی انجام شده در این مقاله به طور خلاصه ارائه شده است.

## ۲- تعریف مسأله تنظیم بودجه در بازار برق ایران

به علت حرکت تدریجی صنعت برق ایران به سمت فضای تجدیدساختار شده، درآمدها و هزینه‌های شرکت‌های برق به دو بخش اساسی تقسیم می‌گردد. بخش اول همان هزینه‌ها و درآمدهایی هستند که شرکت برق در فضای سنتی نیز با آنان روبرو بوده است. این بخش از عدم قطعیت چندانی برخوردار نمی‌باشد و از تصمیم‌گیری‌های موجود در بازار ایران تأثیر چندانی نمی‌پذیرد و در مسأله تنظیم بودجه تقریباً ثابت فرض

میان‌مدت باید به گونه‌ای صورت گیرد که اهداف موجود در استراتژی قیمت‌دهی را نیز برآورده سازد و بالعکس. به عنوان مثال در مرجع [۱] رفتار بهینه مصرف‌کننده‌ها جهت خرید انرژی از بازار برق با توجه به قید بودجه آنها که محدود کننده میزان هزینه خرید انرژی می‌باشد تعیین شده است. استراتژی تعیین میزان تعرفه توسط بهره‌بردار شبکه انتقال بلژیک برای مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگانی که از خدمات آن بهره می‌گیرند با در نظر گرفتن قید بودجه بهره‌بردار تنظیم می‌گردد [۲]. قید بودجه به گونه‌ای عمل می‌کند که سود بهره‌بردار ناشی از ارائه خدمات انتقال و هزینه سرمایه‌گذاری آن از حد معینی بیشتر باشد. در این شرایط نیاز به روشی کارا جهت مدل‌سازی عدم قطعیت‌های موجود در مسأله تخمین درآمدها و هزینه‌ها در افق زمانی میان‌مدت و هماهنگ با استراتژی‌های قیمت‌دهی و با در نظر گرفتن اهداف و قیود بنگاه اقتصادی ضروری به نظر می‌رسد.

حل مسائل برنامه‌ریزی میان‌مدت مستلزم مدل‌سازی عدم قطعیت‌های موجود در متغیرهای مسأله و بکارگیری روش‌های بهینه‌سازی است. با توجه به اینکه در زمینه مسأله تنظیم بودجه بنگاه‌های اقتصادی در فضای رقابتی صنعت برق تحقیقات چندانی انجام نشده است حل مسأله تنظیم بودجه مستلزم آشنایی با برخی تحقیقات انجام شده در زمینه برنامه‌ریزی میان‌مدت در صنعت برق مانند هماهنگی نیروگاه‌های آبی و حرارتی، تعیین قراردادهای میان‌مدت بهینه شرکت برق در محیط بازار برق و غیره می‌باشد. آشنایی با چگونگی مدل‌سازی عدم قطعیت‌های موجود در اینگونه مسائل و روش‌های حل آنها می‌تواند الگوی مناسبی جهت حل مسأله تخمین بودجه در این مقاله باشد. در مرجع [۳] مدلی جهت مدیریت ریسک ناشی از قیمت سوخت، تقاضا، دبی آب و قیمت برق که نیروگاه‌های آبی-حرارتی در بازار برق با آنها مواجه هستند ارائه شده است. در مرجع [۴] از درخت تصمیم به منظور مینیم کردن هزینه‌های بهره‌برداری هفتگی واحدهای تولیدی با توجه به عدم قطعیت تقاضا استفاده شده است. در [۵] مدلی ریاضی به منظور بهره‌برداری بهینه برای سیستم

## بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

جهت حداکثرسازی سود شرکت برق طبق رابطه (۱) صورت می‌گیرد.

$$profit = revenue - cost \quad (1)$$

در این مسأله قیمت و تولید شرکت برق به طور ماهانه تعیین می‌گردند و به این ترتیب کلیه هزینه‌ها و درآمدهای شرکت برق ناشی از تعامل وی با بازار برق ایران تخمین زده می‌شود. رابطه (۲) تابع سود و مؤلفه‌های درآمدها و هزینه‌های شرکت برق در ارتباط با بازار برق را نشان می‌دهد.

$$profit(G_1, \rho) = \rho G_1(\rho) - (\alpha G_1(\rho) + fc) \quad (2)$$

$$G_1(\rho) = \begin{cases} G & \rho \leq \rho_m \\ 0 & \rho > \rho_m \end{cases} : 0 \leq G_1 \leq G_{max} \quad (3)$$

$$\rho \geq ACP(G_1) \quad (4)$$

$$ACP(G_1) = cost / G_1 \quad (5)$$

که  $\rho_m$  قیمت تسویه بازار برق و  $G_1$  میزان تولید انرژی شرکت برق است که تابعی از قیمت پیشنهادی وی به بازار می‌باشد. برای شرکت برق فاقد قدرت بازار، میزان تولید انرژی شرکت برق بر حسب قیمت پیشنهادی وی مطابق رابطه (۳) نشان داده می‌شود. هزینه تحویل انرژی توسط شرکت برق به بازار شامل دو بخش هزینه ثابت ( $fc$ ) مانند هزینه سرمایه‌گذاری و نیروی انسانی و بخش هزینه متغیر که به صورت تابعی خطی بر حسب میزان تولید در نظر گرفته شده است می‌باشد.  $\alpha$  هزینه حدى تولید که عمدتاً ناشی از هزینه سوخت می‌باشد. جهت نیل به سود مثبت، قیمت پیشنهادی همواره بزرگتر از هزینه متوسط تولید ( $ACP$ ) می‌باشد که رابطه (۴) آن را تأیید می‌کند. هزینه متوسط تولید طبق رابطه (۵) از تقسیم کل هزینه تولید انرژی بر میزان تولید به دست می‌آید. البته می‌توان مؤلفه‌های دیگر تابع هدف مانند درآمد ناشی از آمادگی، هزینه تعمیرات و کاهش تولید متأثر از آن و همچنین سایر قیود فنی و اقتصادی را نیز جهت مدل‌سازی مسأله‌ای پیچیده‌تر در نظر گرفت.

می‌شوند. بخش دیگر هزینه‌ها و درآمدهایی است که تحت تأثیر رفتار بازار برق است و دارای عدم قطعیت محسوسی می‌باشد. این بخش از حساسیت بالایی نسبت به تصمیم‌ها و رفتار شرکت برق که در ارتباط با فضای بازار صورت می‌گیرد برخوردار است. تخمین دقیق این مؤلفه از درآمدها و هزینه‌ها، اتخاذ تصمیم‌های مناسب و کارا برای مدیریت شرکت برق را در جهت افزایش رشد مالی و بهره‌وری از سرمایه‌های موجود میسر می‌سازد. بنابراین تمرکز روش پیشنهادی روی تخمین این بخش حساس از درآمدها و هزینه‌های شرکت برق می‌باشد.

با توجه به اینکه تنظیم بودجه توسط شرکت‌ها و اعلام آن به دولت باید به صورت سالانه انجام شود مسأله تخمین بودجه در افق زمانی میان‌مدت مورد مطالعه قرار می‌گیرد. از طرفی تنظیم بودجه بایستی به گونه‌ای انجام شود که با رفتار شرکت برق در فرایند قیمت‌دهی نیز همخوانی داشته باشد. بنابراین تخمین دقیق درآمدها و هزینه‌ها به صورت هماهنگ با رفتار قیمت‌دهی شرکت برق، مستلزم مدل‌سازی و تحلیل مسأله قیمت‌دهی در افق زمانی میان‌مدت است.

## ۳- تنظیم بودجه مبتنی بر استراتژی قیمت‌دهی

بودجه سالانه شرکت برق باید به گونه‌ای تنظیم گردد که اهداف مطرح در مسأله قیمت‌دهی را نیز پاسخ‌گو باشد. همچنین قیمت‌دهی شرکت برق در فضای رقابتی بازار بایستی با توجه به قید بودجه سالیانه کنترل شود. به عبارت دیگر تنظیم بودجه سالیانه و قیمت‌دهی شرکت برق به طور متقابل بر یکدیگر اثرگذارند و هر بخش، اهداف موجود در دیگری را تحت پوشش قرار می‌دهد.

## ۳-۱ استراتژی قیمت‌دهی

جهت تطبیق دو مسأله تخمین بودجه و استراتژی قیمت‌دهی با یکدیگر، مسأله قیمت‌دهی شرکت برق در افق زمانی کوتاه-مدت به صورت مسأله برنامه‌ریزی میان‌مدت سالیانه با همان تابع هدف مدل‌سازی می‌شود. در این مسأله، کنترل هزینه‌ها و درآمدها با تعیین قیمت ( $\rho$ ) و تولید پیشنهادی ( $G$ ) بهینه در

## ۳-۲ مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در مسأله تنظیم بودجه

به علت عدم قطعیت‌های موجود در بازار برق، شناسایی و مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها در درآمدها و هزینه‌های شرکت برق منطقه‌ای در افق زمانی میان‌مدت امری ضروری است. عدم قطعیت در قیمت تسویه بازار برق و قیمت سوخت در پارامترهای  $\alpha$  و  $p_m$  مسأله تنظیم و تخمین بودجه نهفته است. با توجه به اینکه عدم قطعیت‌ها در افق زمانی میان‌مدت مدل‌سازی می‌شوند و به علت اینرسی بالای قیمت سوخت در ایران از عدم قطعیت موجود در قیمت سوخت صرف‌نظر می‌شود. بنابراین تنها نیاز به مدل‌سازی رفتار قیمت تسویه بازار به طور ماهانه می‌باشد. البته می‌توان عدم قطعیت ناشی از وقوع پیشامدهای اتفاقی در سیستم قدرت و تغییرات تقاضا را نیز جهت مدل‌سازی دقیق‌تر مسأله در نظر گرفت که در این مقاله از آنها صرف‌نظر شده است. با جمع‌آوری اطلاعات قیمت تسویه بازار برق برای هر ماه در سال‌های گذشته و انتخاب بازه‌های تغییر قیمت تسویه بازار (تعیین بازه‌های پیشامدهای قیمت پایین، متوسط و بالا) و بهره‌گیری از مدل فرکانسی، احتمال وقوع پیشامدهای مختلف برای مقدار قیمت تسویه بازار در هر ماه تعیین می‌گردد. حال با تعیین احتمال پیشامدهای مختلف قیمت تسویه بازار در هر ماه، تابع هدف سود طبق رابطه (۲) و قید میزان تولید و قیمت پیشنهادی (روابط (۳) و (۴))، مدل‌سازی مسأله تخمین بودجه انجام می‌گیرد. در گام بعدی جهت حل مسأله تخمین بودجه سالانه روش درخت تصمیم بکار گرفته می‌شود.

## ۵- بکارگیری روش درخت تصمیم جهت حل مسأله تنظیم بودجه

درخت تصمیم از جمله روش‌های مطرح جهت حل مسائل برنامه‌ریزی می‌باشد که با توجه به سادگی آن در بکارگیری متغیرهای مسأله و حل مسائل کاربردی، در این مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد. درخت تصمیم شامل گره‌های تصمیم و گره‌های پیشامد یا سناریو می‌باشد. گره‌های تصمیم در مسأله برنامه‌ریزی و تنظیم بودجه، توسط متغیرهای قیمت و تولید

پیشنهادی شرکت برق تعیین می‌شوند. پیشامدهای ممکن قیمت تسویه بازار برق که احتمال وقوع آنها با استفاده از اطلاعات گذشته محاسبه شده است، معرف گره‌های پیشامد مسأله مذکور می‌باشند. با کنار هم قرار دادن گره‌های تصمیم و پیشامد هر ماه در یک ردیف، مسأله تخمین بودجه سالیانه در طول ۱۲ بازه زمانی ماهیانه در جهت حداکثرسازی تابع امید ریاضی سود سالیانه شرکت برق حل می‌شود. همچنین با در نظر گرفتن سه پیشامد برای قیمت تسویه بازار در هر ماه، مسأله شامل  $3^{12}$  پیشامد یا سناریو می‌باشد.

با استفاده از رابطه (۳) در مسأله برنامه‌ریزی بودجه، می‌توان تعداد متغیرهای تصمیم را به عدد یک کاهش داد. بنابراین با انتخاب قیمت پیشنهادی به عنوان تنها متغیر تصمیم و تقسیم حد فاصل حداقل و حداکثر قیمت پیشنهادی ممکن به چند بازه، طرح‌های ممکن برای قیمت پیشنهادی در هر بازه زمانی ماهیانه در سناریوهای مختلف مورد مطالعه قرار می‌گیرد. حال با توجه به رابطه (۵) تابع امید ریاضی سود شرکت برق برای (طبق رابطه  $\forall s \in S$  کلیه سناریوهای ممکن در طول سال) (۶) محاسبه شده و با اعمال برنامه‌ریزی غیرخطی، مسأله تخمین بودجه در جهت حداکثرسازی این تابع حل می‌گردد.

$$EP = \sum_{s \in S} \text{Prob}^s \sum_{t=1}^{12} (G_{it}^s(\rho_t^s) \rho_t^s - (G_{it}^s(\rho_t^s) \alpha + fc)) \quad (6)$$

که  $\text{Prob}^s$  احتمال وقوع سناریو  $s$  از درخت تصمیم می‌باشد و با ضرب احتمال وقوع پیشامدهای موجود در آن سناریو محاسبه می‌گردد. با حل مسأله برنامه‌ریزی سالیانه، هزینه‌ها و درآمدهای سالیانه مورد انتظار شرکت برق ناشی از شرکت وی در بازار خرید و فروش انرژی تخمین زده می‌شود. با محاسبه قیمت‌ها و تولیدهای بهینه برای کلیه سناریوها در هر ماه و به کمک روابط (۷) و (۸) می‌توان امید ریاضی قیمت پیشنهادی بهینه و امید ریاضی میزان تولید واقعی شرکت برق منطقه‌ای را برای هر ماه محاسبه نمود.

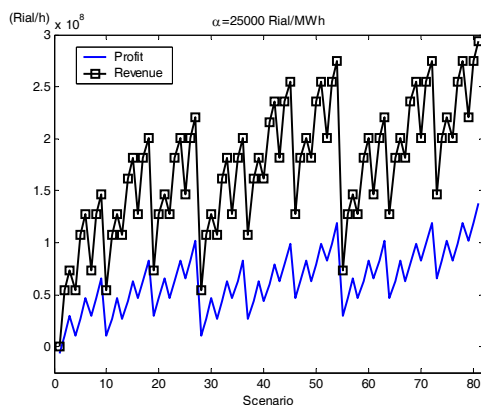
$$E\rho_t = \sum_{s \in S} \text{Prob}^s \times \rho_t^s \quad (7)$$

$$EG_{it} = \sum_{s \in S} \text{Prob}^s \times G_{it}^s \quad (8)$$

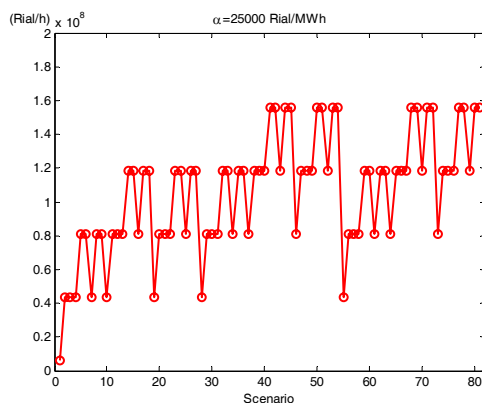
بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

۵- نتایج شبیه‌سازی

قیمت تسویه مورد انتظار برای هر بازه برابر متوسط قیمت هر بازه یعنی به ترتیب ۲۲۰۰۰ Rial/MWh، ۳۶۰۰۰ Rial/MWh و ۴۹۰۰۰ Rial/MWh می‌شود. حال با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی، حداکثر مقدار امید ریاضی سود سالیانه شرکت برق (رابطه (۶)) محاسبه می‌گردد. شکل‌های (۲) و (۳) درآمد، سود و هزینه محاسبه شده در هر سناریو از درخت تصمیم را نشان می‌دهد.



شکل (۲): درآمد و سود متعلق به ۸۱ سناریو



شکل (۳): هزینه متعلق به ۸۱ سناریو

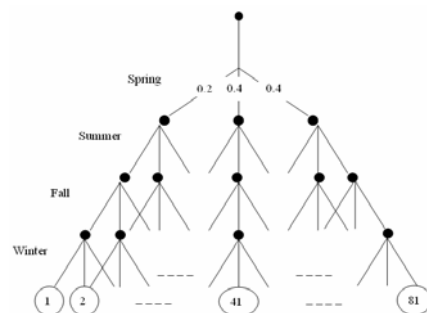
سپس با توجه به احتمال وقوع هر سناریو ( $Prob^s$ ) امید ریاضی درآمد (ER)، امید ریاضی هزینه (EC) و امید ریاضی سود (EP) سالیانه شرکت برق طبق جدول (۲) محاسبه می‌گردد. همچنین با بهره‌گیری از روابط (۷) و (۸) امید ریاضی قیمت پیشنهادی بهینه ( $Ep^*$ ) و میزان تولید (EG) در هر فصل تعیین می‌گردد. به این ترتیب شرکت برق علاوه بر کنترل درآمدها و هزینه‌ها، قادر خواهد بود استراتژی قیمت‌دهی بهینه خود را نیز تحت مطالعه و بررسی قرار دهد.

جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی در این مقاله، بودجه سالیانه شرکت برق با مشخصات  $G_{max} = 1500$  MWh،  $fc = 1500000$  Rial/h،  $\alpha = 25000$  Rial/MWh با تشکیل احتمال وقوع پیشامدهای قیمت تسویه بازار در هر فصل از سال تخمین زده می‌شود. البته تشکیل پیشامدهای قیمت تسویه بازار به صورت ماهانه، تنها بر پیچیدگی و ابعاد مسأله می‌افزاید و در اساس حل مسأله تغییری اعمال نمی‌کند. با توجه به حداقل و حداکثر قیمت پیشنهادی پذیرفته شده در فصول سال‌های گذشته، بازه [۱۵۰۰۰ ۲۹۰۰۰] معادل پیشامد قیمت پایین، بازه [۲۹۰۰۰ ۴۳۰۰۰] معادل پیشامد قیمت متوسط و بازه [۴۳۰۰۰ ۵۵۰۰۰] معادل پیشامد قیمت بالا در نظر گرفته می‌شود. سپس با محاسبه میزان تکرار قیمت‌های تسویه بازار سال‌های گذشته در هر بازه، احتمال وقوع هر پیشامد برای فصول مختلف سال تحت برنامه‌ریزی مطابق جدول (۱) تعیین می‌گردد.

جدول (۱): احتمال وقوع پیشامدهای قیمت تسویه بازار برق

	Spring	Summer	Fall	Winter
Prob. of LOW MCP	0.2	0.05	0.2	0.3
Prob. of Mean MCP	0.4	0.1	0.5	0.6
Prob. of High MCP	0.4	0.85	0.3	0.1

با در نظر گرفتن سه پیشامد برای قیمت تسویه بازار در هر فصل، کل سناریوهای درخت تصمیم برابر  $3^4 = 81$  می‌شود (شکل (۱)). احتمال وقوع هر سناریو از درخت تصمیم ( $Prob^s$ ) با ضرب احتمال وقوع پیشامدهای موجود در آن سناریو محاسبه می‌گردد.



شکل (۱): درخت تصمیم برای ۸۱ سناریوی قیمت تسویه بازار برق

### بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

تا استراتژی قیمت‌دهی بهینه تا جایی که ممکن است به قیمت تسویه بازار نزدیک شود. اما با توجه به اینکه هزینه متوسط تولید در برخی پیشامدها از قیمت تسویه بازار بزرگتر بود شرکت برق در برخی حالات بازنده و امید ریاضی قیمت پیشنهادیش بزرگتر از امید ریاضی قیمت تسویه بازار بود.

جدول (۳): اطلاعات حاصله از حل مسأله تخمین بودجه

شرکت برق در شبیه‌سازی دوم

	Spring	Summer	Fall	Winter
$E_p^*$ (Rial/MWh)	۳۸۴۰۰	۴۶۳۵۰	۳۷۱۰۰	۳۳۱۰۰
EG (MWh)	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰
ER (Rial/h)	$۲/۳۲۴۲ * ۱۰^A$			
EC (Rial/h)	$۰/۶۶ * ۱۰^A$			
EP (Rial/h)	$۱/۶۶۴۲ * ۱۰^A$			

### ۶- نتیجه‌گیری

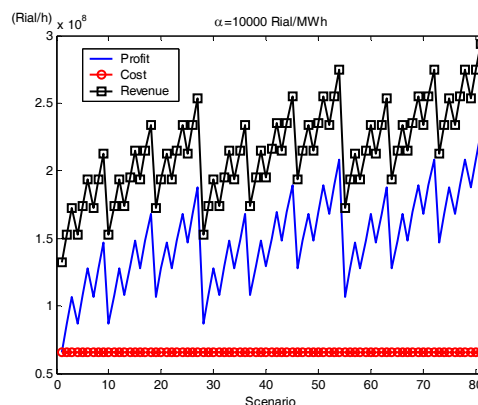
با ارائه روشی نوین در این مقاله، تخمین بودجه شرکت برق در محیط بازار برق ایران به صورت مسأله تخمین درآمدها و هزینه‌ها مبتنی بر استراتژی قیمت‌دهی بهینه مدل‌سازی و حل شد. نتایج حاصل شده به طور خلاصه به شرح زیر بیان می‌گردد:

- با توجه به عدم قطعیت‌های زیاد موجود در فضای رقابتی صنعت برق، مسأله تخمین بودجه شرکت‌های برق بایستی به صورت مسأله کنترل درآمدها و هزینه‌ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.
- مدل‌سازی مسأله تخمین بودجه مبتنی بر استراتژی قیمت‌دهی بهینه، اهداف شرکت برق از فروش انرژی به بازار ایران را برآورده خواهد کرد.
- تخمین درآمدها و هزینه‌ها در جهت تأمین اهداف قیمت‌دهی، الگویی مناسب جهت تنظیم استراتژی قیمت‌دهی در افق زمانی میان‌مدت ارائه می‌دهد.
- انعطاف‌پذیری روش پیشنهادی به گونه‌ای است که امکان مطالعه تأثیر پارامترهای مختلف بر درآمدها،

جدول (۲): اطلاعات حاصله از حل مسأله تخمین بودجه شرکت برق

	Spring	Summer	Fall	Winter
$E_p^*$ (Rial/MWh)	۳۹۲۰۰	۴۶۵۵۰	۳۷۹۰۰	۳۴۳۰۰
EG (MWh)	۱۲۰۰	۱۴۲۵	۱۲۰۰	۱۰۵۰
ER (Rial/h)	$۲/۰۷۶۷ * ۱۰^A$			
EC (Rial/h)	$۱/۲۷۸۷۵ * ۱۰^A$			
EP (Rial/h)	$۰/۷۹۸ * ۱۰^A$			

حال جهت بررسی تأثیر هزینه متوسط تولید انرژی در میزان درآمدها و هزینه‌های سالیانه و همچنین استراتژی قیمت‌دهی بهینه در افق زمانی میان مدت، شبیه‌سازی دوم با تغییر مقدار متغیر  $\alpha$  به  $10000 \text{ Rial/MWh}$  انجام می‌شود. با انتخاب این مقدار برای متغیر  $\alpha$  و هزینه ثابت مفروض در شبیه‌سازی اول، هزینه متوسط تولید برابر  $11000 \text{ Rial/MWh}$  می‌شود که از هر سه مقدار پیشامد قیمت تسویه بازار کوچکتر می‌باشد. شکل (۴) نمودار درآمد، هزینه و سود متناظر هر سناریو را نشان می‌دهد. هزینه ثابت در همه سناریوها نشان می‌دهد که استراتژی قیمت‌دهی بهینه به گونه‌ای انتخاب گردیده است که شرکت برق در همه حالات در حراج برنده شود.



شکل (۴): درآمد، هزینه و سود شرکت برق با کاهش متغیر  $\alpha$

سایر نتایج شبیه‌سازی دوم در جدول (۳) آورده شده است. نکته قابل توجه در این شبیه‌سازی آن است که امید ریاضی قیمت پیشنهادی در هر فصل با امید ریاضی قیمت تسویه بازار در همان فصل از سال برابر است. به عبارتی شرکت برق فاقد قدرت بازار در حراج تمایزی سعی می‌کند قیمت پیشنهادی خود را به نزدیکی قیمت تسویه بازار برساند تا به این ترتیب به سود حداکثر نائل آید. البته در شبیه‌سازی اول نیز سعی شد

## بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

هزینه‌ها، استراتژی قیمت بهینه و میزان تولید شرکت برق را میسر می‌سازد.

- نتایج شبیه‌سازی نشان داد که شرکت برق فاقد قدرت بازار شرکت‌کننده در حراج تمایزی، استراتژی قیمت‌دهی خود را در نزدیکی قیمت تسویه بازار حفظ می‌کند.
- شرکت‌های برق با هزینه متوسط تولید پایین‌تر به سود و درآمد بیشتری در افق زمانی میان‌مدت دست خواهند یافت و از انعطاف‌پذیری بیشتری در کنترل درآمدها، هزینه‌ها و استراتژی قیمت‌دهی برخوردار خواهند بود.

## ۷- مراجع

- [1] S. C. Anderson, "Analyzing strategic interaction in multi settlement electricity markets: A closed-loop supply function equilibrium model", PHD Thesis, May 2004.
- [2] B. Willems, "Electricity networks and generation market power", PHD Thesis, January 2004.
- [3] Jordi Cabero, Alvaro Baillo, Santiago Cerisola, "A medium term integrated risk management model for a hydrothermal generation company". *IEEE* 2005.
- [4] Karl fraundorfer, jens gussow, georg ostermaier, "stochastic optimization in dispatching of complex power systems", *Ifu-Hsg , university of st.gallen, Switzerland*
- [5] S. Bbrignol , A . Renaud , "a new model for stochastic optimization of weekly generation schedules" , *Hong Kong*, November 1997, pp 656 –661.
- [6] G. B. Shrestha, BK pokharel, TT lie, S-E fleten , "Medium-Term Power Planning with Bilateral Contracts", *IEEE Transaction on Power System*, Vol. 20, pp. 627-633, May 2005.