

## روش پیشنهادی به منظور تطبیق معاملات خارج از بازار و بازار عمده فروشی برق ایران

ایمان رحمتی - رضا طهماسبی - سید میثم عزتی - حسین محمدی - حسن غریب پور

مدیریت نظارت و کنترل بر عملکرد بازار برق

شرکت مدیریت شبکه برق ایران

تهران، ایران

بار پیک آغاز گردید. در ادامه و به دنبال علاقمندی نیروگاه‌های خصوصی، مطابق انتظار حجم معاملات برق افزایش یافت؛ به گونه ای که در سال ۱۳۹۴ حدود ۷ درصد از برق تولیدی کشور در بورس انرژی عرضه گردید [۱]. رقابت نیروگاه‌ها در فروش بسته‌های انرژی از یک ماه قبل و همزمان با گشایش نمادهای بار میان‌باری، پیک و کم باری به رقابت پرداخته و تا سه روز قبل از تحویل فیزیکی چانه‌زنی بر سر حراج ازسوی خریداران و فروشندگان ادامه می‌یابد. در سال ۱۳۹۴ و در راستای اجرای ماده ۴ بند "و" قانون برنامه پنجم توسعه، عرضه کنندگان بازار برق امکان یافتند تا قرارداد ترانزیت با مشترکین داخلی عقد نمایند [۲]. این روش نیز همانند فروش در بورس هم در سمت عرضه و هم در سمت تقاضا متقاضیانی پیدا کرد و موجب تنوع بخشی روش‌های معامله انرژی و نیز ریسک قیمت دهی کمتر در بازار برق برای فروشندگان گردید. به طوری که در سال ۱۳۹۴ فروش حدود ۱۱ درصد از برق تولیدی کشور از طریق انعقاد قراردادهای دوجانبه صورت گرفت. از طرفی مصرف کنندگان نیز تا حدی از نوسانات قیمت بازار برق در امان بوده و با بازی آگاهانه می‌توانند قیمت تمام شده انرژی را در صورتحساب خود کاهش دهند.

تعهدات فروشنده و خریدار در بورس انرژی و قراردادهای دوجانبه که در روز بازار به مدیر بازار اعلام شده است، قطعی بوده بدین معنا که امکان تغییر حجم تعهدات خریدار یا فروشنده از معامله انجام شده وجود ندارد [۳]. در مورد تعهدات خارج از بازار، اطلاعات معاملات برق در

چکیده — معاملات خارج از بازار بنا به ضرورت رقابت و ایجاد تنوع در روش‌های فروش برق توسعه یافته و از سوی تولیدکنندگان با استقبال بسیار خوبی در بازار برق ایران مواجه شده است. از طرفی اضافه شدن این معاملات موجب بروز مشکلاتی در فرآیند صدور صورتحساب و تعیین آرایش تولید بازار برق شده است. این مقاله، روشی به منظور تطبیق معاملات خارج از بازار و معاملات بازار عمده فروشی برق ایران ارائه می‌کند که در آن تلاش شده تا شرایط اضطراری و یا کمبود تولید در بخش نیروگاه‌ها پوشش داده شود و تحت عنوان خرید از بازار به صورتحساب فروشندگان بازار برق اضافه گردد.

واژه‌های کلیدی — بازار برق؛ خرید از بازار؛ معاملات خارج از بازار

### ۱. مقدمه

از سال ۱۳۸۲ و با ایجاد ساختار جدید در صنعت برق، بازار برق ایران تاسیس و نیروگاه‌ها در قالب فروشندگان این بازار به رقابت پرداختند. این بازار عمده فروشی یک بازار نقدی، یک طرفه و روز-پیش است. فروشندگان روز قبل از تحویل فیزیکی (روز بهره‌برداری)، پله‌های توان-قیمت پیشنهادی را به منظور فروش ارائه می‌نمایند و مدیر بازار به نیابت از خریداران بازار برق نسبت به کمینه سازی هزینه تأمین انرژی در تابع هدف مسئله تعیین آرایش تولید واحدهای نیروگاهی اقدام می‌نماید. با افتتاح رسمی بورس انرژی در سال ۱۳۹۱، معاملات برق در روز اول بورس با ۵ معامله به حجم ۲۰ مگاوات

Formatted: Head2, Indent: Before: 2.5 mm

Formatted: Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: 11 pt, (none), Check spelling and grammar

بورس انرژی از طریق شرکت سپرده‌گذاری مرکزی و تسویه وجوه، و

اطلاعات مربوط به معاملات دوجانبه مانند حجم قرارداد و خریدار طرف قرارداد از طریق فروشنده، به منظور ثبت در پایگاه داده شرکت مدیریت شبکه برق ایران در اختیار مدیر بازار قرار میتبی گیرند.

در ادامه این مقاله روش پیشنهادی به منظور پشتیبانی از معاملات خارج از بازار ارائه شده است. در بخش ۲، به شرح مسئله و تبیین زوایای مختلف پشتیبانی از معاملات خارج از بازار و تطبیق آن با ساز و کار بازار عمده فروشی پرداخته شده می‌شود. بخش ۳ با ارائه یک مدل نمونه و نمایش نتایج شبیه سازی نحوه پیاده سازی این روش را نمایش می‌دهد. در نهایت در بخش ۴، جمع بندی و نتیجه گیری بحث ارائه می‌شود.

۲. تطبیق معاملات خارج از بازار و بازار عمده

فروشی برق ایران

پس از دریافت اطلاعات معاملات خارج از بازار مشتمل بر معاملات بورس انرژی و قراردادهای دوجانبه، مدیر بازار سیستم ظرفیت اعلام شده را به بازیگران متناظر نسبت می‌دهد. این تخصیص در دو بخش آرایش تولید و صورتحساب نمود پیدا می‌کند.

۲.۱. تعیین آرایش تولید با در نظر گرفتن معاملات

خارج از بازار

در فرآیند تعیین آرایش تولید واحدهای نیروگاهی که روز قبل از بهره‌برداری توسط مدیر بازار به منظور ارائه برنامه بهینه و اقتصادی (فنی-اقتصادی) تامین بار شبکه سراسری اجرا می‌شود، معاملات خارج از بازار توسط کاربر مربوطه برای هر نیروگاه ثبت و از ظرفیت ابراز شده واحدهای آن نیروگاه کسر می‌گردد. فرایند تخصیص ظرفیت نیروگاه بر اساس یک برنامه بهینه سازی و با در نظر گرفتن میزان ظرفیت ابراز شده و قیمت هر واحد نیروگاه استوار است. در این فرایند ابتدا مطابق ظرفیت ابراز شده هر واحد نیروگاهی، حداکثر ظرفیت قابل اختصاص به منظور انجام تعهدات خارج از بازار در هر ساعت مطابق رابطه زیر به دست می‌آید. [۳]

$$E_{Co\_Max,pp,ppg,h} = P_{Dec\_Grsp,ppg,h} \times \left(1 - \rho_{IC_{pp,ppg}}\right) \times \left(1 - \%L_{G_{pp,h}}\right) \quad (1)$$

که در آن:

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: 11 pt, (none), Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: B Lotus, 11 pt, Not Bold, Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: 11 pt, (none), Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: 11 pt, (none), Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: 11 pt, (none), Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: 11 pt, (none), Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: B Lotus, 11 pt, Not Bold, Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: B Lotus, 11 pt, Not Bold, Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: B Lotus, 11 pt, Not Bold, Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: B Lotus, 11 pt, Not Bold, Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: B Lotus, 11 pt, Not Bold, (Complex) Persian, Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: B Lotus, 11 pt, Not Bold, Check spelling and grammar

**Formatted:** Font: 10 pt, Not Bold, No underline, Font color: Auto, Complex Script Font: B Lotus, 11 pt, Not Bold, (Complex) Persian, Check spelling and grammar

- میزان "پشتیبانی از معاملات خارج از بازار" برای نیروگاه  $pp$  در ساعت  $h$  در روز بازار  $(E\_Support_{Run,pp,h})$  برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

- میزان ظرفیت تخصیص داده شده به واحد  $ppg$ م نیروگاه  $pp$  در ساعت  $h$ م بابت تعهدات خارج از بازار روز فروش  $(PE\_Co_{pp,ppg,h})$  از طریق حل یک مسئله بهینه‌سازی مشخص می‌گردد. در نتیجه حل این مسئله، کل میزان ظرفیت تخصیص داده شده به نیروگاه بابت تعهدات خارج از بازار روز فروش براساس اولویت قیمت، میان واحدهای نیروگاه توزیع می‌گردد و مجموع میزان ظرفیت تخصیص داده شده به واحدهای نیروگاه  $pp$ م در ساعت  $h$ م بابت تعهدات خارج از بازار روز فروش  $(PE\_Co_{pp,ppg,h})$  برابر با کل میزان ظرفیت تخصیص داده شده به نیروگاه  $pp$ م در ساعت  $h$ م بابت تعهدات خارج از بازار روز فروش  $(PE\_Co\_Total_{pp,h})$  می‌گردد. به عبارتی دیگر:

$$\begin{aligned}
 & Nppgpp \\
 & If \sum_{ppg=1} E\_Co_{Max,pp,ppg,h} \leq E\_Co\_Total_{pp,h} \\
 & Then \ E\_Co_{pp,ppg,h} = E\_Co_{Max,pp,ppg,h} \\
 & E\_Support_{Run,pp,h} = E\_Co\_Total_{pp,h} - \sum_{ppg=1}^{Nppgpp} E\_Co_{Max,pp,ppg,h} \\
 & ElseIf \sum_{ppg=1}^{Nppgpp} E\_Co_{Max,pp,ppg,h} > E\_Co\_Total_{pp,h} \\
 & Then \ E\_Support_{Run,pp,h} = 0 \\
 & Minimizing \left\{ \sum_{ppg=1}^{Nppgpp} \int_0^{E\_Co_{pp,ppg,h}} \pi\_offer_{pp,ppg,h}(E) \times dE \right\} \\
 & Subject \ to \sum_{ppg=1}^{Nppgpp} E\_Co_{pp,ppg,h} = E\_Co\_Total_{pp,h} \\
 & And \\
 & E\_Co_{pp,ppg,h} \leq E\_Co_{Max,pp,ppg,h} \\
 & \forall \ ppg \in \{1, 2, \dots, Nppgpp\} \text{ and } pp \in \{1, 2, \dots, Npp\} \\
 & (2)
 \end{aligned}$$

که در آن:

- $PE\_Co_{pp,ppg,h}$ : میزان ظرفیت تخصیص داده شده به واحد  $ppg$ م نیروگاه  $pp$ م در ساعت  $h$ م بابت تعهدات خارج از بازار روز فروش (در نقطه مرجع شبکه)  $[MW]$ .

- $PE\_Co\_Total_{pp,h}$ : کل میزان ظرفیت تخصیص داده شده به نیروگاه  $pp$ م در ساعت  $h$ م بابت تعهدات خارج از بازار روز فروش (در نقطه مرجع شبکه)  $[MW]$ .

$Nppgpp$ : تعداد واحدهای نیروگاه  $pp$ م.

$(E\_offer_{pp,ppg,h}, \pi)$ : تابع قیمت انرژی پیشنهادی مالک نیروگاه برای واحد  $ppg$ م نیروگاه  $pp$ م در ساعت  $h$ م قبل از اصلاح مربوط به حجم انرژی تخصیص داده شده به معاملات خارج از بازار (نقطه مرجع)  $[Rial/MWh]$ .

$E\_Support_{Run,pp,h}$ : میزان پشتیبانی از معاملات خارج از بازار نیروگاه  $pp$ م در ساعت  $h$ م در روز بازار (در نقطه مرجع شبکه)  $[MWh]$ .

قبل از حل معادلات فوق، بایستی پیش‌بینی تعمیرات اعلام شده از سوی بهره‌بردار شبکه و وضعیت قراردادهای واحدهای نیروگاهی لحاظ گردد.

از جمله معادلات فوق می‌توان این گونه جمع‌بندی نمود که چنانچه نیروگاهی در قراردادهای خارج از بازار که معمولاً در بازه پیش از روز بهره‌برداری (از چند روز پیش تا چند ماه پیش) منعقد شده است، بیش از میزان مجموع حداکثر ظرفیت قابل تخصیص به واحدهای آن نیروگاه به فروش انرژی مبادرت نموده باشد، این میزان اختلاف به عنوان خرید از بازار برای این نیروگاه محاسبه شده و ظرفیت قابل تخصیص به واحدها برابر حداکثر میزان قابل تخصیص خواهند بود. از سوی دیگر چنانچه میزان فروخته شده از سرجمع حداکثر ظرفیت قابل تخصیص به واحدها کمتر باشد مساله تخصیص بهینه ظرفیت قابل تخصیص به واحدها حل شده و جواب مساله مشخص می‌گردد. از دلایل این اختلاف می‌توان به احتمال خروج نیروگاه، محدودیت‌های برنامه ریزی نشده، برنامه تعمیرات و ... اشاره کرد که از جمله اتفاقات غیر قابل پیش‌بینی می‌باشند. در نهایت آنچه در نرم‌افزار آرایش تولید به عنوان ظرفیت واحد جهت حضور در بازار برق شناخته شده را می‌توان میزان اختلاف ظرفیت اختصاص یافته به بورس و ابراز واحد دانست. این بدان معنی است که واحد نیروگاهی به میزان فروش در

معاملات خارج از بازار، در خراج بازار عمده فروشی با قیمت صفر شرکت داده شده و قطعاً برنده می‌شود.

## ۲,۲. پشتیبانی از معاملات خارج از بازار

➔ با توجه به ضرورت لحاظ معاملات خارج از بازار در تعیین آرایش و نیز صدور صورتحساب فروشندگان و خریداران، مقادیر خرید از بازار نیز به بخش صورتحساب منتقل شده تا محاسبات نهایی صورت پذیرد. پس از روز بهره برداری و تعیین مقادیر واقعی انرژی تولیدی بحث دیگری نیز پیش می‌آید و آن عدم تطابق میزان برنامه ریزی شده در روز بازار و اتفاقات روز بهره‌برداری است. در مواردی که به دفعات پیش می‌آید نیروگاه در معاملات خارج از بازار به فروش انرژی پرداخته و مطابق برنامه‌ریزی آرایش تولید میزانی کمتر از آن را به بازار ابراز نموده است. از این رو این واحد مشمول خرید از بازار نیست. حال چنانچه این واحد در روز بهره‌برداری و پس از تعیین آرایش تولید بازار، با خروج، محدودیت انتقال یا محدودیت‌های فنی دیگر مواجه شود به زمره مشمولان خرید از بازار پیوسته و مدیر بازار نسبت به محاسبه هزینه تحمیلی به بازار اقدام می‌نماید.

از آنجایی که میزان معاملات خارج از بازار کمتر در مقابل بار شبکه میزان اندکی است، بهره بردار به ندرت در برآوردن نیاز بار شبکه در روز بهره برداری در صورت وقوع اتفاقات فوق با چالش مواجه می‌شود. از این رو کافی است تا هزینه پشتیبانی از معاملات خارج از بازار را از صورتحساب فروشندگان کسر نمود. به این ترتیب خلأ قانونی پیش فروش انرژی در معاملات خارج از بازار پوشش داده شده و به لحاظ بار مالی، فروشندگان خاطی با هزینه پشتیبانی از معاملات خارج از بازار مواجه می‌شوند.

هزینه پشتیبانی از معاملات خارج از بازار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} Cost\_Support_{Fin,pp,h} &= \left( [E\_Support_{Run,pp,h} + A_{pp,h}] \right. \\ &\times \max \left( \frac{E_{pp,h}}{F_{pp,h}}, \frac{C_h}{D_h} \right) \left. \right) \\ &+ \left( E\_Support_{Run,pp,h} \times \frac{CPF_h \times BAR}{1 - \%L\_G_{pp,h}} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن:

$A_{pp,h}$  : میزان پشتیبانی از معاملات خارج از بازار نیروگاه  $pp$ ام در ساعت  $h$ ام در روز بهره‌برداری (در نقطه مرجع شبکه) [MWh].

$E_{pp,h}$  : میزان درآمد نیروگاه  $pp$ ام در ساعت  $h$ ام روز بهره‌برداری (در نقطه مرجع شبکه).

$F_{pp,h}$  : میزان مگاوات تولیدی نیروگاه  $pp$ ام در ساعت  $h$ ام روز بهره‌برداری با کسرس معاملات خارج از بازار (در نقطه مرجع شبکه) [MWh]

$C_h$  : میزان مجموع درآمد نیروگاه‌ها در ساعت  $h$ ام روز بهره‌برداری (در نقطه مرجع شبکه) [MWh].

$D_h$  : میزان مجموع مگاوات تولیدی نیروگاه‌ها در ساعت  $h$ ام روز بهره‌برداری با کسرس معاملات خارج از بازار (در نقطه مرجع شبکه) [MWh]

$CPF_h$  : ضریب بهای آمادگی ظرفیت در ساعت  $h$ ام .

$BAR$  : نرخ پایه بهای آمادگی ظرفیت که در هر سال توسط هیأت تنظیم بازار برق تعیین می‌شود [Rial/MW].

از آن جایی که به ازای فروش در معاملات خارج از بازار بهای آمادگی ظرفیت پرداخت نمی‌شود، هزینه پشتیبانی از معاملات بازار در برگیرنده بهای آمادگی پرداخت شده به فروشندگانی است که در روز بهره برداری به جای فروشنده ای که در آرایش تولید ظرفیت کافی جهت برآوردن معاملات خارج از بازار خود نداشته است می‌شود. بخش دیگر این هزینه عبارت است از مکانیزمی که برای تنبیه و جریمه این دسته از فروشندگان اتخاذ شده است. میزان مگاوات حمایت شده شامل بخش تعیین شده در روز برنامه‌ریزی آرایش تولید و نیز بخش برآورده نشده در روز بهره برداری است. نرخ این میزان مگاوات برابر حداکثر نرخ انرژی خریداری شده از آن بازیگر و یا تمامی بازیگران (هر کدام که بیشتر باشد) در ساعات مشمولیت در نظر گرفته شده است. توضیح آن که به دلایل غیر قابل پیش بینی بودن وقوع این حالات، امکان دقیق محاسبات صورتحساب عملی نبوده و نرخ در نظر گرفته شده تقریب مناسبی از نرخ خرید انرژی در بازار برق می‌باشد. به عبارت دیگر این نرخ تقریبی از نرخ انرژی خریداری شده از فروشندگان بازار برق به عنوان حمایت از معاملات خارج از بازار است.

## ۳. شبیه سازی

به منظور نمایش حالات و نحوه کارکرد روش پیشنهادی، در این بخش یک سیستم نمونه آورده شده است. این سیستم متشکل از نیروگاه‌ها و مصرف کنندگان شبکه است. از آن جا که تمرکز این مقاله بر روی معاملات خارج از بازار است، حالت‌های مختلف معاملات خرید از بازار و حضور در بازار عمده

مختلف کمبود ظرفیت جهت برآوردن تعهدات مذکور بررسی و نتایج آن مورد بحث قرار گرفت. در پایان نشان داده شد که علیرغم احتمال کمبود ظرفیت تولیدکنندگانی که مبادرت به فروش انرژی در قالب معاملات خارج از بازار نموده‌اند، مدیر بازار نسبت به پشتیبانی از مگاوات معامله شده اقدام نموده و تبعات مالی آن در صورتحساب فروشندگان مذکور انعکاس می‌یابد.

## ۵. منابع

- [۱] تارنمای شرکت بورس انرژی <http://www.irenex.ir/Site.aspx>
- [۲] دستورالعمل بند "و" ماده ۱۳۳ قانون برنامه پنجم توسعه، معاونت، ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱
- [۳] دستورالعمل اجرایی نحوه تسویه مالی تعهدات خارج از بازار در بازار روزفروش، معاونت بازار برق شرکت مدیریت شبکه برق ایران، ۱۳۹۴
- [۴] دستورالعمل کمیته‌های پایه‌ای صورتحساب تولید، معاونت بازار برق شرکت مدیریت شبکه برق ایران، ۱۳۹۴

فروشی و نیز بهره‌برداری شبکه لحاظ شده است. روش پیشنهادی بر روی شبکه نمونه اجرا شده و نتایج شبیه سازی برای چهار نیروگاه انتخاب و نمایش داده شده است. نیروگاه ۱ در روز بازار، نیروگاه ۲ در روز بهره‌برداری و نیروگاه ۳ در هر دو روز مشمول خرید از بازار شده است. این در حالی است که نیروگاه ۴ به دلیل ایفای کامل تعهدات خارج از بازار خود، مشمول هزینه حمایت از معاملات خارج از بازار نشده است. مشخصات سیستم نمونه و نتایج شبیه سازی در جدول شماره (۱) آمده است. مقادیر انرژی در این جدول بر حسب مگاوات و مقدار هزینه پشتیبانی از بازار بر حسب ریال بیان شده است. همانطور که از نتایج جدول مشهود است نیروگاه‌هایی که به دلایل مختلف تولید مطابق پیش بینی نداشته و یا در ظرفیت ابرازی قادر به برآوردن تعهدات خود در معاملات خارج از بازار نبوده اند (نیروگاه‌های ۱ تا ۳) با هزینه پشتیبانی این معاملات مواجه شده‌اند. این هزینه از صورتحساب فروش برق فروشندگان به مدیر بازار کسر می‌گردد.

## ۶. جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، روش ابتکاری به منظور تطبیق معاملات خارج از بازار و معاملات بازار عمده فروشی برق ارائه شد. با توسعه و تنوع بخشی به روش‌های فروش تولید کنندگان در بازار برق ایران، ضرورت مطالعه و بررسی اثرات آن‌ها در تعیین آرایش تولید و صدور صورتحساب بیش از پیش احساس شد. از آن جایی که مدیر بازار با توجه به سه اصل اساسی امنیت پایدار، رقابت منصفانه در بازار و دسترسی آزاد به شبکه ساز و کاری مدیر بازار و بهره بردار شبکه به عنوان پشتیبان معاملات خارج از بازار شناخته شده‌اند، جی‌والتا-غالبج شبیه‌سازی سیستم نمونه ایفای تعهدات فروشندگان به عهده ایشان می‌باشد. در این مقاله حالات

نیروگاه	$\sum_{ppg=1}^{Nppg} E.TG.Bill_{ppppgh}$	$E.Co.Total_{pph}$	$\sum_{ppg=1}^{Nppg} P.Dec.Grs_{ppppgh}$	$E.Support_{Runpph}$	$A_{pph}$	$E.Support_{pph}$	$Cost.Support_{Fin,pph}$
1	99/9	75	75	30	0	30	15889135
2	1115/3	1200	1296/5	0	82/5	82/5	29515253
3	1104/5	1158	1158	122/6	1/4	124	61969572
4	1107/2	641	1286/8	0	0	0	0