# ارائه یک روش جدید برای تصمیم‌گیری جهت شرکت واحدهای تولیدی در بازار رزرو از دیدگاه مالک با استفاده از محاسبه هزینه فرصت

تکتم شریفیان عطار[1و2] و محمد حسین جاویدی دشت بیاض[3]

۱. کارشناس استاندارد تجهیزات، شرکت برق منطقه‌ای خراسان toktam_sharifian@yahoo. com
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد،
آزمایشگاه مطالعات سیستم و تجدید ساختار
۳. استاد گروه برق دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

واژه‌های کلیدی: بازار رزرو، ذخیره چرخان، هزینه فرصت

**چکیده**

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی استراتژی قیمت‌دهی در بازار رزرو انجام پذیرفته است. با این حال در مورد تصمیم‌گیری جهت شرکت در بازار رزرو کار چندانی صورت نپذیرفته است. ذخیره چرخان یکی از خدمات جانبی مهم به شمار می‌آید که نقش به سزایی در حفظ قابلیت اطمینان سیستم ایفا می‌نماید. به عنوان یکی از خدمات جانبی، واحدهای ارائه‌دهنده ذخیره چرخان می‌توانند در یک بازار مستقل ظرفیت رزرو شرکت نمایند و پیشنهاد قیمت دهند. در این بازار، هر واحد تولیدی شانس قیمت‌دهی برای ارائه خدمات ذخیره چرخان را دارد تا سود خود را بیشینه نماید. در این مقاله، یک روش جدید برای تصمیم‌گیری جهت شرکت واحدهای تولیدی در بازار رزرو با استفاده از محاسبه هزینه فرصت ذخیره چرخان از دیدگاه مالک ارائه شده است که بر مبنای دیسپچ متوالی می‌باشد. با کمک روش ارائه شده، مالک می‌تواند برای شرکت در بازار رزرو تصمیم‌گیری نماید. عمده‌ترین مزیت این روش بر سایر روش‌ها عدم نیاز به اطلاع از قیمت پیشنهادی سایر شرکت‌کنندگان در بازار رزرو برای شرکت‌کننده جهت تصمیم‌گیری برای شرکت در بازار رزرو می‌باشد.





# فروش توان نیروگاه بادی در بازار کوتاه‌مدت برق با استفاده از روش‌های پیش‌بینی تصادفی ARMA وARIMA

وحید ملکی، شهرام جدید

قطب علمی اتوماسیون و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت
دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران
تهران، ایران

واژه‌های کلیدی: بازار برق، پیش‌بینی تصادفی، روش ARMA،

روش ARIMA، نیروگاه بادی

**چکیده**

در این مقاله، نحوه فروش انرژی نیروگاه بادی در بازار کوتاه مدت انرژی براساس پیش‌بینی تصادفی تولید توان بادی و قیمت‌های بازار ارائه می‌گردد. ازآنجائیکه بازارهای برق کنونی برای خرید و فروش تولیدات نیروگاه‌های متداول طراحی شده‌اند از اینرو نیروگاه‌های بادی به علت عدم قطعیت در تولید، همواره با جریمه‌هایی را از طرف اپراتور سیستم قدرت مواجه بوده‌اند. در این مقاله روشی برای افزایش سود نیروگاه بادی بر اساس کاهش هزینه عدم تعادل ارائه می‌گردد. ابتدا سناریوهای توان تولیدی نیروگاه بادی برای بازار روز قبل به صورت تصادفی توسط روش اتورگرسیو میانگین متحرک(ARMA) و همچنین سناریوهای قیمت سیستم نیز به صورت تصادفی با استفاده از روش اتورگرسیو میانگین متحرک تلفیقی(ARIMA) تولید می‌گردد و سپس توان بهینه پیشنهادی نیروگاه بادی در بازار که منجر به بیشترین سود و کمترین جریمه می‌شود، محاسبه می‌گردد. در انتها نیز نتایج شبیه‌سازی با استفاده از برنامه‌های MATLAB وGAMS صحت و دقت روش را نشان می‌دهد.

# ارائه یک روش جدید برای تصمیم‌گیری جهت شرکت واحدهای تولیدی در بازار رزرو از دیدگاه مالک با استفاده از محاسبه هزینه فرصت

**تکتم شریفیان عطار[۱و۲] و محمد حسین جاویدی دشت بیاض[۳]**

**۱کارشناس استاندارد تجهیزات, شرکت برق منطقه‌ای خراسان toktam_sharifian@yahoo.com**

**۲دانشجوی کارشناسی ارشد, دانشکده مهندسی, دانشگاه فردوسی مشهد, آزمایشگاه مطالعات سیستم و تجدید ساختار**

**۳استاد گروه برق دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد**

واژه‌های کلیدی: بازار رزرو، ذخیره چرخان، هزینه فرصت.

**چکیده**

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی استراتژی قیمت‌دهی در بازار رزرو انجام پذیرفته است. با این حال در مورد تصمیم‌گیری جهت شرکت در بازار رزرو کار چندانی صورت نپذیرفته است. ذخیره چرخان یکی از خدمات جانبی مهم به شمار می‌آید که نقش به سزایی در حفظ قابلیت اطمینان سیستم ایفا می‌نماید. به عنوان یکی از خدمات جانبی، واحدهای ارائه دهنده ذخیره چرخان می‌توانند در یک بازار مستقل ظرفیت رزرو شرکت نمایند و پیشنهاد قیمت دهند. در این بازار، هر واحد تولیدی شانس قیمت‌دهی برای ارائه خدمات ذخیره چرخان را دارد تا سود خود را بیشینه نماید. در این مقاله، یک روش جدید برای تصمیم‌گیری جهت شرکت واحدهای تولیدی در بازار رزرو با استفاده از محاسبه هزینه فرصت ذخیره چرخان از دیدگاه مالک ارائه شده است که بر مبنای دیسپچ متوالی می‌باشد. با کمک روش ارائه شده، مالک می‌تواند برای شرکت در بازار رزرو تصمیم‌گیری نماید. عمده‌ترین مزیت این روش بر سایر روش‌ها عدم نیاز به پیش‌بینی قیمت پیشنهادی سایر شرکت‌کنندگان در بازار رزرو برای شرکت‌کننده جهت تصمیم‌گیری برای شرکت در بازار رزرو می‌باشد.

## ۱- مقدمه

پس از تجدید ساختار صورت گرفته در صنعت برق، بهره‌برداری ایمن[۱] از سیستم قدرت یکی از مسائل چالش برانگیز بهره‌بردار مستقل سیستم[۲] می‌باشد [۱].

بهره‌بردار مستقل سیستم با موضوعات سخت و پیچیده‌ای در ارتباط با تأمین امنیت و قابلیت اطمینان سیستم مواجه است که یکی از آن‌ها تأمین رزرو سیستم است [۲]. یکی از انواع رزرو، ذخیره چرخان است که به میزانی از تولید اطلاق می‌گردد که در صورت وقوع خروج یکی از واحدهای تولیدی سیستم، بلافاصله فرکانس سیستم را به حالت اولیه باز می‌گرداند [۳].

بهره‌بردار مستقل سیستم یا سایر ارگان‌های مسئول تأمین امنیت سیستم، میزان کلی نیاز ظرفیت ذخیره چرخان را برای

[۱] Secure

[۲] Independent System Operator

افق بلند مدت و کوتاه مدت محاسبه می‌نمایند [۴]. همچنین، باید از در دسترس بودن میزان نیاز رزرو در هر لحظه اطمینان حاصل نمایند [۵]. در صورت وجود یک بازار مستقل برای رزرو، ارگان نظارتی باید توجه بیشتری به استراتژی‌های قیمت‌دهی واحدهای تولیدی داشته باشد تا بتواند فعالیت‌های آنان را به طور دقیق‌تر تحت نظر گیرد.

به عنوان یکی از مهم‌ترین خدمات جانبی[۱]، واحدهای ارائه دهنده ذخیره چرخان می‌توانند در یک بازار مستقل ظرفیت رزرو[۲] شرکت نمایند و پیشنهاد قیمت دهند [۶-۸]. در این بازار، هر واحد تولیدی شانس قیمت‌دهی برای ارائه خدمات رزرو را به جهت بیشینه نمودن سود خود، دارد [۹]. با توجه به این که واحدها برای ظرفیت تولیدی خود می‌توانند، هم در بازار انرژی الکتریکی و هم در بازار رزرو پیشنهاد قیمت دهند، شرکت در بازار رزرو از دیدگاه مالک باید دارای سود مناسب و منطقی باشد تا هزینه فرصت[۳] از دست رفته ناشی از عدم تولید در بازار انرژی را جبران نماید.

## ۲- تعریف هزینه فرصت ظرفیت ذخیره چرخان

برای کاهش بازی با قیمت‌ها از سوی واحدهای تولیدی و کم کردن قدرت بازار در بازار رزرو از دیسپچ متوالی[۴] استفاده می‌شود [۱۰]. در دیسپچ متوالی، میزان ظرفیت ذخیره چرخان واحدهای تولیدی پس از بسته شدن بازار انرژی، با توجه به تقاضای بار کل سیستم، قابلیت ردیابی بار[۵] واحدهای تولیدی و میزان اضافی ظرفیت واحدها که قابل استفاده برای تأمین رزرو سیستم می‌باشد، تعیین می‌گردد [۱۱].

از مشکلات اصلی در تصمیم‌گیری جهت شرکت در بازار رزرو، چگونگی مدل کردن هزینه فرصت ذخیره چرخان است. هزینه فرصت ذخیره چرخان متشکل از یک هزینه ثابت و سود از دست رفته ناشی از عدم فروش انرژی در بازار است. واحدهای تولیدی تأمین کننده ذخیره چرخان به واحدهایی اطلاق می‌شود که در مدار قرار دارند و بلافاصله می‌توانند به تغییرات بار پاسخ دهند. معمولاً، هزینه فرصت ظرفیت ذخیره چرخان تنها به سود از دست رفته اطلاق می‌گردد و از هزینه ثابت صرفه نظر می‌شود [۱۱].

واحدهای تولید انرژی الکتریکی می‌توانند ظرفیت تولید خود را، هم در بازار انرژی الکتریکی و هم در بازار رزرو ارائه نمایند. با این حال، بخشی از ظرفیت واحد که به عنوان رزرو برگزیده می‌شود، نمی‌تواند در بازار انرژی شرکت نماید [۱۲]. لذا، هزینه فرصت ذخیره چرخان به صورت میزان سودی که واحد تولیدی در صورت شرکت در بازار انرژی به دست می‌آورد، تعریف می‌گردد. بنابراین، اگر از ظرفیت واحدهای تولیدی در زمان بهره‌برداری به طور کامل استفاده نشود، بهره‌برار مستقل سیستم باید ملاحظات اقتصادی را در رابطه با این واحدها لحاظ نماید [۱۳]. زمانی که واحدهای تولیدی تصمیم به قیمت‌دهی در بازار انرژی می‌نمایند، باید هزینه فرصت ذخیره چرخان را نیز در نظر گیرند. هزینه فرصت ظرفیت رزرو با توجه به تفاوت بین قیمت تسویه بازار ($P_{MCP}$) و هزینه حدی واحد به دست می‌آید [۱۴].

## ۳- فرمول‌بندی هزینه فرصت ظرفیت ذخیره چرخان

با فرض وجود N واحد تولیدی که تمامی آن‌ها واحدهای حرارتی باشند، تابع هزینه واحد iام به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود [۱۵]:

$$C(P_i) = a_i P_i^{\,2} + b_i P_i + c_i \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، $a_i$، $b_i$ و $c_i$ ضرایب تابع هزینه می‌باشند. $P_i$ ظرفیت پیشنهاد داده شده واحد iام در بازار انرژی است. با این حال، هنگامی که یک واحد تولیدی تصمیم می‌گیرد صرفاً در بازار انرژی شرکت نماید، نیاز سیستم به ذخیره چرخان را در نظر نمی‌گیرند. زمانی که میزان تقاضای رزرو سیستم برآورده نشود، توان خروجی برخی ژنراتورها باید کاهش یابد تا نیاز ذخیره چرخان سیستم تأمین گردد [۱۶]. در

[۱] Ancillary Service

[۲] Spinning Reserve Capacity Market

[۳] Opportunity Cost

[۴] Sequential Dispatch

[۵] Load Following

این حالت، هزینه فرصت از دست رفته واحد iام به صورت زیر تعریف خواهد شد:

«سودی که واحد می‌توانست از فروش انرژی حاصل نماید. این سود برابر است با درآمد ناشی از کاهش تولید منهای هزینه ناشی از کاهش تولید».

### ۳-۱. محاسبه کاهش درآمد ناشی از کاهش تولید

اگر فرض نماییم واحد تولیدی i با ظرفیت $P_i$ ($P_i > P_i^*$) می‌توانسته در بازار شرکت و انرژی تولید نماید و قیمت پیشنهادی آن به میزان هزینه حدی آن باشد، کاهش درآمد ناشی از کاهش تولید آن واحد به میزان $P_i^*$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$IC_i = \frac{\partial C(P_i)}{\partial P_i} = 2a_i P_i + b_i$$

$$= (P_i - P_i^*) IC_i$$

$$= (P_i - P_i^*)(2a_i P_i + b_i)$$

$$= 2a_i P^2{}_i + b_i P_i - b_i P_i^* - 2a_i P_i^* P_i$$

که در آن، $P_i^*$ توان تولیدی توسط واحد iام و $P_i$ توانی که واحد i می‌تواند در بازار انرژی تولید نماید، می‌باشد.

### ۳-۲. محاسبه کاهش هزینه ناشی از کاهش تولید

با توجه به رابطه (۱) هزینه ناشی از توان تولیدی $P_i^*$ به صورت زیر می‌باشد (۳):

$$C(P_i^*) = a_i P_i^{*2} + b_i P_i^* + c_i \quad (۳)$$

کاهش هزینه ناشی از عدم تولید با ظرفیت کامل نیز مطابق رابطه (۴) می‌باشد:

$$C(P_i) - C(P_i^*) = a_i P^2{}_i + b_i P_i + c_i - a_i P_i^{*2} - b_i P_i^* - c_i$$

$$= a_i (P^2{}_i - P_i^{*2}) + b_i (P_i - P_i^*) \quad (۴)$$

حال، با توجه به موارد فوق، سودی که واحد می‌توانست از فروش انرژی در بازار حاصل نماید از کسر رابطه (۴) از (۲) قابل محاسبه است (۵):

(۲)-(۴)=

$$= 2a_i P^2{}_i + b_i P_i - b_i P_i^* - 2a_i P_i^* P_i$$

$$- a_i (P^2{}_i - P_i^{*2}) - b_i (P_i - P_i^*) \quad (۵)$$

$$= a_i (P_i - P_i^*)^2$$

رابطه (۵) هزینه فرصت از دست رفته واحد iام را نشان می‌دهد و می‌توان نوشت:

$$C_o(P_i) = a_i (P_i - P_i^*)^2 \quad (۶)$$

## ۴- مدل استراتژی تصمیم‌گیری واحدهای تولیدی جهت شرکت در بازار رزرو

با توجه به آن که واحدها برای ظرفیت تولیدی خود می‌توانند هم در بازار انرژی الکتریکی و هم در بازار رزرو پیشنهاد قیمت دهند، شرکت در بازار رزرو از دیدگاه مالک باید دارای سود مناسب و منطقی باشد تا هزینه فرصت از دست رفته ناشی از عدم تولید در بازار انرژی را جبران نماید [۱۷].

با توجه به رابطه (۶)، اگر درآمد واحد تولیدی iام از بازار رزرو به میزان هزینه فرصت از دست رفته آن واحد به دلیل عدم تولید در بازار انرژی باشد، ضرری متوجه این بنگاه اقتصادی به دلیل عدم شرکت در بازار انرژی با ظرفیت دلخواه نشده است. برای به دست آوردن سود توسط هر واحد، هزینه فرصت از دست رفته ناشی از عدم تولید در بازار انرژی باید کوچکتر از میزان درآمد ناشی از شرکت در بازار رزرو باشد (۷)، یعنی:

$$C_o(P_i) \le R_{rm}(P_{ri}) \quad (۷)$$

در رابطه فوق، $R_{rm}(P_{ri})$ تابع درآمد ناشی از شرکت در بازار رزرو است.

مالک با توجه به پیش‌بینی قیمت بازار انرژی میزان ظرفیتی که می‌تواند برای این بازار ارائه نماید را با توجه به قیمت حدی خود ($P_{MCP} > IC_i$) تخمین زده و بر اساس رابطه (۶)

می‌تواند برای ارائه ظرفیت باقی مانده خود به بازار رزرو تصمیم‌گیری نماید.

## ۵- شبیه‌سازی

برای بررسی روش پیشنهادی، این روش بر روی برخی از نیروگاه‌های شرکت برق منطقه‌ای خراسان، برای تصمیم‌گیری جهت شرکت در تأمین رزرو، اعمال شده است. لازم به ذکر است منحنی‌های هزینه تولید واحدهای نیروگاه‌های مختلف بر اساس قرائت نقاط کاری متفاوت در هنگام استفاده از سوخت گاز صورت پذیرفته است [۱۸]. با توجه به بازه تولید توان توسط هر یک از واحدها، منحنی‌های هزینه تولیدی آن‌ها متغیر می‌باشند. لذا، ضرایب و بازه تولیدی توان هر یک از واحدهای تولیدی در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱: اطلاعات نیروگاه‌های شرکت برق منطقه‌ای خراسان [۱۹]

| نیروگاه | $P_{min}$ | $P_{max}$ | تعداد واحد | a |
|---|---|---|---|---|
| قاین گاز | ۳ | ۲۰ | ۳ | ۹۷,۶۷ |
| شریعتی گاز | ۳ | ۱۸ | ۶ | ۴۸,۸۳ |
| شریعتی سیکل | ۲۱۰ | ۳۰۰ | ۱ | ۱۰,۷۷ |
| مشهد بخار | ۳۵ | ۶۰ | ۳ | ۴۶,۵۵ |
| مشهد گاز | ۳۵ | ۶۰ | ۲ | ۹۸,۰۸ |
| شیروان گاز | ۶۰ | ۱۲۱ | ۶ | ۵۸,۳۴ |
| نیشابور سیکل | ۲۱۰ | ۳۰۰ | ۳ | ۱۹,۸۹ |
| توس | ۷۵ | ۱۵۰ | ۴ | ۰,۸۲ |
| قائنات سیکل | ۶۰ | ۱۱۹ | ۴ | NA |
| فردوسی | ۶۰ | ۱۲۲ | ۶ | NA |

† منحنی‌های هزینه واحدهای نیروگاهی برای بازه‌های مختلف تولید توان متفاوت می‌باشند. لذا، در این جا ضریب a برای قسمتی از منحنی که هر واحد در آن بازه در حال تولید می‌باشد آورده شده است.

در جدول ۲، $P_i^*$ میزان کل توان تولیدی در بازار انرژی توسط هر نیروگاه می‌باشد. $P_{ri}^*$ میزان رزرو قابل ارائه توسط هر یک از واحدها را با توجه به حداقل و حداکثر مقدار توان قابل تولید هر واحد نشان می‌دهد، $P_{rtotal}$ میزان رزرو تولیدی توسط تمام واحدهای تولیدی در مدار هر نیروگاه است.

اطلاعات جدول ۲، بر اساس روز اول شهریور ماه سال ۱۳۸۹ ساعت ۱۹ می‌باشد. کل توان تولیدی توسط نیروگاه‌های خراسان ۲۷۵۶ مگاوات است. میزان ذخیره گردان در نظر گرفته شده به طور کلی به صورت انتخاب بزرگترین مقدار بین بزرگترین واحد تولیدی در مدار و یا ۶٪ بار کل در آن ساعت محاسبه می‌گردد. در این جا ۶٪ بار کل (۱۶۵,۳۶ مگاوات) بزرگتر از بزرگترین واحد تولیدی در مدار (۱۵۰ مگاوات) است لذا، مقدار رزرو برابر ۱۶۵,۵ مگاوات در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: اطلاعات روز ۸۹/۶/۱ ساعت ۱۹ نیروگاه‌های شرکت برق منطقه‌ای خراسان [۱۹]

| نیروگاه | $P_i^*$(MW) | $P_{ri}^*$(MW) | $P_{rtotal}$ (MW) |
|---|---|---|---|
| قاین گاز | ۱۲ | ۵ | ۱۵ |
| شریعتی گاز | ۴۸ | ۲ | ۱۲ |
| شریعتی سیکل | ۲۱۳ | ۸ | ۸ |
| مشهد بخار | ۱۰۸ | ۲ | ۶ |
| مشهد گاز | ۸۰ | ۳ | ۶ |
| شیروان گاز | ۴۳۸ | ۱۰ | ۶۰ |
| نیشابور سیکل | ۶۸۸ | ۴,۵ | ۱۳,۵ |
| توس | ۳۹۰ | ۱۵ | ۴۵ |
| جمع | ۲۷۵۶ | | ۱۶۵,۵ |

برای محاسبه $R_{rm}(P_{ri}^*)$، از قیمت رزرو معادل ارزش آمادگی که به نیروگاه‌ها پرداخت می‌گردد، استفاده شده است. مقادیر محاسبه شده به همراه هزینه فرصت ذخیره چرخان که بر اساس روش پیشنهادی محاسبه شده در جدول ۳ آورده شده‌اند و برای نیروگاه‌های مختلف جهت شرکت در رزرو تصمیم‌گیری شده است.

جدول ۳: نتایج به دست آمده

| تصمیم‌گیری جهت شرکت در بازار رزرو | $R_{rm}(P_{ri}^*)$ | $C_o(P_i^*)$ | نیروگاه |
|---|---|---|---|
| ❋ | ۱۷۸ | ۲۴۴۱,۷۵ | قاین گاز |
| ❋ | ۱۷۸ | ۱۹۵,۳۲ | شریعتی گاز |
| ✓ | ۷۱۲ | ۶۸۹,۲۸ | شریعتی سیکل |
| ❋ | ۱۷۸ | ۱۸۶,۲ | مشهد بخار |
| ❋ | ۱۷۸ | ۸۸۲,۷۲ | مشهد گاز |
| ❋ | ۸۹۰ | ۵۸۳۴ | شیروان گاز |
| ❋ | ۴۴۵ | ۴۰۲,۷۷ | نیشابور سیکل |
| ✓ | ۴۴۵ | ۱۸۴,۵ | توس |

† تمامی ارقام جدول بر حسب هزار ریال می‌باشد.

†† هزینه فرصت و قیمت رزرو دریافتی از بازار برای یک واحد نیروگاهی محاسبه شده است. (برای محاسبه هزینه کل برای هر نیروگاه باید اعداد فوق را برای تمام واحدهای مختلف در مدار نیروگاه محاسبه و با یکدیگر جمع نمود.)

بر اساس نتایج حاصل در جدول ۳ مشاهده می‌شود که با در نظرگیری ارزش آمادگی برای قیمت رزرو و با توجه به محاسبه هزینه فرصت، مشارکت در تأمین ذخیره چرخان سیستم، برای اکثر واحدهای تولیدی، مقرون به صرفه نمی‌باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده، مشاهده گردید که در شرایط قیمتی مفروض در بالا، مشارکت در تأمین رزرو از دیدگاه مالک برای اکثر واحدهای تولیدی مقرون به صرفه نیست. لذا، برای بررسی بیشتر قیمت رزرو را به میزان ۱۰٪ افزایش دادیم (جدول ۴). با مشاهده نتایج به دست آمده در این حالت، دیده می‌شود که اکثر واحدها با مشارکت در تأمین رزرو می‌توانند هزینه فرصت از دست رفته به دلیل عدم تولید در بازار انرژی را جبران نمایند و این مشارکت برای اکثر واحدها مقرون به صرفه خواهد بود.

جدول ۴: نتایج به دست آمده با در نظرگیری قیمت رزرو به میزان ۱,۱ برابر ارزش آمادگی

| تصمیم‌گیری جهت شرکت در بازار رزرو | $R_{prm}(P_{ri}^*)$ | $C_o(P_i^*)$ | نیروگاه |
|---|---|---|---|
| ❋ | ۴۸۹,۵ | ۲۴۴۱,۷۵ | قاین گاز |
| ✓ | ۱۹۵,۸ | ۱۹۵,۳۲ | شریعتی گاز |
| ✓ | ۷۸۳,۲ | ۶۸۹,۲۸ | شریعتی سیکل |
| ✓ | ۱۹۵,۸ | ۱۸۶,۲ | مشهد بخار |
| ❋ | ۲۹۳,۷ | ۸۸۲,۷۲ | مشهد گاز |
| ❋ | ۹۷۹ | ۵۸۳۴ | شیروان گاز |
| ✓ | ۴۴۰,۵۵ | ۴۰۲,۷۷ | نیشابور سیکل |
| ✓ | ۱۴۶۸,۵ | ۱۸۴,۵ | توس |

† تمامی ارقام جدول بر حسب هزار ریال می‌باشد.

## ۶- نتیجه‌گیری

در صورت عدم اجبار واحدهای تولیدی به شرکت در تأمین رزرو در یک سیستم قدرت، مالک با استفاده از روش فوق می‌تواند در ارتباط با شرکت در تأمین رزرو تصمیم‌گیری نماید.

مزیت عمده این روش بر سایر روش‌ها این است که واحد تولیدی، بدون نیاز به پیش‌بینی قیمت پیشنهادی سایر واحدهای تولیدی، می‌تواند برای شرکت در بازار رزرو تصمیم‌گیری نماید. دیگر مزیت استفاده از این روش در آن است که، مالک بدون توجه به اجرا شدن بازار انرژی و رزرو به صورت همزمان یا غیر همزمان می‌تواند در ارتباط با شرکت در بازار رزرو تصمیم‌گیری کند.

با توجه به اجباری بودن شرکت در تأمین رزرو برای برخی از واحدهای تولیدی در ایران، این واحدها با استفاده از روش فوق می‌توانند میزان ظرفیتی که به تأمین ذخیره چرخان اختصاص می‌دهند را به نحوی تعیین نمایند که سود به دست آمده از شرکت در بازار رزرو، هزینه فرصت از دست رفته

ناشی از عدم تولید با ظرفیت کامل در بازار انرژی را پوشش دهد.

## ۷- مراجع

1- M. Madrigal and V. H. Quintana, "A security-constrained energy and spinning reserve markets clearing system using an interior-point method", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No. 4, Nov. 2000 pp. 1410- 1416.

2- M. Flynn, W. P. Sheridan, J. D. Dillon and M. J. O'Malley, "Reliability and reserve in competitive market scheduling", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No. 1, Feb. 2001, pp. 78-87.

۳- رجبی مشهدی مصطفی، محمدحسین جاویدی، صادق قاضی‌زاده، "تخصیص ظرفیت معین مشارکت در کنترل فرکانس با ارائه یک الگوریتم اصلاحی درحلقه کنترل فرکانس نیروگاه شریعتی مشهد" بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق. تهران ۱۳۸۸

4- Jin Zhong, Kankar Bhattacharya. " Design of Competitive Markets for Spinning Reserve Services", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2002

5- Y. Q. Song, Z. J. Hou, F. S. Wen, Y. X. Ni, and F. F. Wu, "Analysis of market power in oligopglistic electricity market based on game theory," presented at the 1st Proceeding of international Institute for Critical infrastructures (CRIS'2002), Beijing, China, Sep. 2002.

6- R. Ford, "Ancillary services in England and Wales," presented at IEE Colloquium, London (UK), June 1996.

7- C. A. Berry, B. F. Hobbs, W. A. Meroney, R. P. O'Neill and W. R. Stewart Jr, "Understanding how market power can arise in network competition: a game theoretic approach," Utilities Policy, vol.8, no.3, pp. 139-158, Sep. 1999.

8- C. J. Day, B. F. Hobbs, and J. Pang, "Oligopolistic competition in power network: a conjectured supply function approach, " IEEE Transactions on Power System, vol. 17, no.3, pp. 597-607, Aug. 2002.

9- F. S. Wen and A. K. David, "A genetic algorithm based method for bidding strategy coordination in energy and spinning reserve markets," International Journal of Artificial Intelligence in Engineering, vol.15, no.1, pp. 71-79, Jan. 2001.

**10-** Cheung, K.W.; Shamsollahi, P.; Sun, D.; Milligan, J.; Potishnak, M.; "Energy and ancillary service dispatch for the interim ISO New England electricity market" Power Systems, IEEE Transactions on Volume: 15, 2000

11- Xudong Jia; Ming Zhou; Gengyin Li; "Study on Conjectural Variation Based Bidding Strategy in Spinning Reserve Markets" Power System Technology, 2006. PowerCon 2006.

12- F. S. Wen and A. K. David, "Optimal bidding strategies for competitive generators and large consumers," International Journal of Electrical Power and Energy System, vol.23, no. 1, pp.37-43, Jan. 2001.

۱۳- دنیل اس کرشن. گوران استربک، "مبانی اقتصاد سیستم قدرت" ترجمه کارشناسان دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق ایران. تابستان ۱۳۸۶

14- F. S. Wen and A. K. David, "Optimal bidding strategies for competitive generators and large consumers," International Journal of Electrical Power and Energy System, vol.23, no. 1, pp.37-43, Jan. 2001.

15- Wood Allen J. Wollenberg Bruce F. "Power Generation, Operation, And Control" John Weiley & Sons 1996

16- Shahidehpour M. Yamin H. Li Z. "Market Operations in Electric Power Systems" John Wiley & Sons, March 2002

17- Stacke, F.; Cuervo, P.; "Integrated Pool-Bilateral and Reserve Electricity Markets through Pay-as-Bid Pricing"; Power Engineering Society General Meeting, 2007.

۱۸- رجبی مشهدی مصطفی، "تعیین استراتژی بهینه قیمت گذاری کوتاه مدت برق واحدهای تولیدی تحت پوشش شرکت برق منطقه ای خراسان و تهیه نرم افزار آن"؛ شرکت برق منطقه‌ای خراسان ۱۳۸۹

۱۹- سایت بازار برق شرکت برق منطقه‌ای خراسان