



## تعیین بهینه مقدار ظرفیت رزرو چرخان و توزیع آن بین واحدها با در نظر گرفتن حوادث احتمالی در سیستم قدرت

حبیب رجبی مشهدی  
دانشیار گروه برق  
h\_mashhadi@um.ac.ir

مهدی صمدی  
دانشجوی دکتری برق - قدرت  
mahdi.samadi@stu-mail.um.ac.ir

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

واژه‌های کلیدی: بهره برداری بهینه و ایمن، رزرو چرخان،  
قیود بارگیری، ارزش بار از دست رفته، حوادث سیستم

### چکیده

تعیین ظرفیت رزرو چرخان مورد نیاز سیستم از مهمترین وظایف بهره بردار شبکه برای بهره برداری ایمن و مطمئن از سیستم قدرت است. تا کنون روشهای متنوعی با معیارهای قطعی یا احتمالی برای تعیین ظرفیت رزرو پیشنهاد شده است.

بخاطر در نظر گرفتن طبیعت تصادفی حوادث سیستم، روشهای احتمالی از نظر قابلیت اطمینان و هزینه، بر روشهای قطعی ارجحیت دارند. تأثیر متفاوت هر حادثه بر وضعیت شبکه ایجاب می کند در تعیین مقدار رزرو مورد نیاز شبکه، علاوه بر سطح کل رزرو، به توزیع مناسب آن توجه شود.

در این مقاله روشی جدید برای تعیین مقدار ظرفیت رزرو چرخان و توزیع آن بین ژنراتورهای سیستم جهت بهره برداری بهینه و ایمن از شبکه به کمک یک روش بهینه سازی، ارائه شده است. در نظر گرفتن خروج واحدها و خطوط و احتمال رخداد آنها در تابع هدف بکار رفته، رعایت محدودیتهای نرخ بارگیری ژنراتورها و نیز در نظر گرفتن ارزش بار از دست رفته متفاوت در هر باس، از مزایای روش پیشنهادی می باشد. نتایج شبیه سازی این روش بر روی شبکه ۱۴باسه IEEE کارایی آن را نشان می دهد.



## تعیین بهینه مقدار ظرفیت رزرو چرخان و توزیع آن بین واحدها با در نظر گرفتن حوادث احتمالی در سیستم قدرت

حبيب رجبي مشهدي  
دانشيار گروه برق  
h\_mashhadi@um.ac.ir

مهدی صمدی  
دانشجوی دکتری برق- قدرت  
mahdi.samadi@stu-mail.um.ac.ir

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

واژه‌های کلیدی: بهره برداری بهینه و ایمن، رزرو چرخان، قیود بارگیری، ارزش بار از دست رفته، حوادث سیستم

### چکیده

تعیین ظرفیت رزرو چرخان مورد نیاز سیستم از مهمترین وظایف بهره بردار شبکه برای بهره برداری ایمن و مطمئن از سیستم قدرت است.

تا کنون روشهای متنوعی با معیارهای قطعی یا احتمالی برای تعیین ظرفیت رزرو پیشنهاد شده است. بخاطر در نظر گرفتن طبیعت تصادفی حوادث سیستم، روشهای احتمالی از نظر قابلیت اطمینان و هزینه، بر روشهای قطعی ارجحیت دارند. تأثیر متفاوت هر حادثه بر وضعیت شبکه ایجاب می کند در تعیین مقدار رزرو مورد نیاز شبکه، علاوه بر سطح کل رزرو، به توزیع مناسب آن توجه شود.

در این مقاله روشی جدید برای تعیین مقدار ظرفیت رزرو چرخان و توزیع آن بین ژنراتورهای سیستم جهت بهره برداری بهینه و ایمن از شبکه به کمک یک روش بهینه سازی، ارائه شده است. در نظر گرفتن خروج واحدها و خطوط و احتمال رخداد آنها در تابع هدف بکار رفته، رعایت

محدودیتهای نرخ بارگیری ژنراتورها و نیز در نظر گرفتن ارزش بار از دست رفته متفاوت در هر باس، از مزایای روش پیشنهادی می باشد. نتایج شبیه سازی این روش بر روی شبکه ۱۴باسه IEEE کارایی آن را نشان می دهد.

### ۱- مقدمه

رعایت امنیت و قابلیت اطمینان سیستم از مهمترین وظایف بهره بردار یک سیستم قدرت است. یکی از مهمترین ابزارهای حفظ امنیت و قابلیت اطمینان سیستم، مانیتورینگ و کنترل رزرو موجود در شبکه می باشد [۱].

افزایش غیر منتظره بار و خروج ناگهانی ژنراتورها یا خطوط از حوادث احتمالی است که امنیت سیستم را در معرض خطر قرار می دهد. لذا برای بهره برداری ایمن و مطمئن<sup>۱</sup> از سیستم قدرت، در نظر گرفتن مقداری از ظرفیت تولید ژنراتورها بعنوان رزرو ضروری است [۲].

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

هدف اصلی روشهای قطعی نگهداری ریسک سیستم در کمترین سطح ممکن می باشد. فهم معیارهای قطعی برای برنامه ریز و بهره بردار سیستم نسبت به شاخصهای احتمالی ساده تر است. بخاطر این سهولت و سادگی اعمال، معمولاً از معیارهای قطعی برای تعیین رزرو استفاده می شود. البته گاهی فقدان اطلاعات لازم برای محاسبه شاخص ریسک، استفاده از روشهای احتمالی را با مشکل مواجه می کند [۱].

در متداولترین معیارهای قطعی، رزرو بصورت درصد ثابتی از پیک بار یا برابر بزرگترین واحد تولیدی سیستم تعیین می شود. ضعف اصلی معیارهای قطعی منعکس نکردن عدم قطعیت در پیش بینی بار و خروج غیرقابل پیش بینی واحدها است. لذا این معیارها با اصول اقتصادی بطور کامل سازگار نیستند.

با توجه به طبیعت تصادفی رفتار سیستم و خطاهای احتمالی بخشهای مختلف آن، استفاده از معیارهای احتمالی تعیین رزرو منجر به وضعیت بهتری از نظر قابلیت اطمینان و هزینه مؤثر می گردد [۲]. اساس اکثر روشهای احتمالی تعیین رزرو، بر مبنای در نظر گرفتن نرخ خروج اجباری<sup>۵</sup> ژنراتورها و خطوط در مسئله است. در واقع با لحاظ نمودن احتمال از دست رفتن بار<sup>۶</sup> و مقدار بار از دست رفته، رزرو مورد نیاز سیستم تعیین می شود [۳].

در عمل رزرو نمی تواند بصورت لحظه ای استفاده شود زیرا تغییرات خروجی واحدهای در مدار بوسیله قیود نرخ بارگیری محدود شده است [۱].

در اکثر روشهای موجود برای تعیین رزرو، این محدودیتهای افزایش و کاهش توان در نظر گرفته نمی شود.

همچنین در مقالاتی که هزینه بار از دست رفته را مورد توجه قرار داده اند، ارزش بار در تمام باسها یکسان فرض شده است؛ در حالی که در واقعیت، ارزش برق برای مصرف کنندگان بسته به نوع مصرف آنها بصورت متفاوتی ارزیابی می شود.

در برنامه ریزی سیستم قدرت علاوه بر هزینه تولید، ارزش بار از دست رفته یا هزینه خروج هم در نظر گرفته می شود. در نظر نگرفتن رزرو در شبکه منجر به از دست رفتن مقدار زیادی بار و تحمیل هزینه هنگفتی بر سیستم می شود. بنابراین کاهش ریسک در برابر خرابی های غیر منتظره و کمترین مقدار بار تأمین نشده، با داشتن رزرو مناسب میسر می شود.

برای جبران عدم تعادل تولید- بار ناشی از خروج ژنراتورها رزرو عملیاتی<sup>۱</sup> مناسب در سیستم در نظر گرفته می شود. رزرو عملیاتی به دو دسته رزرو چرخان و رزرو غیر چرخان دسته بندی می شود [۳].

رزرو چرخان بخش بارگذاری نشده ژنراتورهای سنکرون است که همزمان با وقوع حادثه و با توجه به قیود نرخ بارگیری<sup>۲</sup> توانایی پاسخگویی سریع به تغییرات بار را دارد [۴-۵]. رزرو مورد نظر در این مقاله، رزرو چرخان می باشد. در جدول ۱ تقسیم بندی کامل انواع رزرو در شبکه و ویژگیهای آنها دیده می شود.

جدول ۱- تقسیم بندی انواع رزرو [۶]

وضعیت سنکرون بودن	Start time	نوع رزرو
سنکرون	کمتر از ۱۰ دقیقه	۱۰ دقیقه ای چرخان <sup>۳</sup>
غیر سنکرون	کمتر از ۱۰ دقیقه	۱۰ دقیقه ای غیر چرخان <sup>۴</sup>
غیر سنکرون	بین ۱۰ تا ۳۰ دقیقه	۳۰ دقیقه ای
غیر سنکرون	بین ۳۰ تا ۶۰ دقیقه	۶۰ دقیقه ای
غیر سنکرون	بزرگتر از ۶۰ دقیقه	سرد

در مقالات گوناگون روشهای متنوعی برای تعیین سطح رزرو مورد نیاز سیستم قدرت ارائه شده است. با این حال روشهای موجود را می توان به دو دسته کلی تکنیکهای قطعی و احتمالی تقسیم بندی نمود.

1 Operating reserve

2 ramp rate

3 TMSR: Ten minutes Spinning Reserve

4 TMNSR: Ten minutes No-Spinning Reserve

5 Force Outage Rate (FOR)

6 Loss Of Load Probability (LOLP)

روش استاندارد است که در آن واحدهای تولیدی در مدار، احتمال خروج آنها و مقدار بار در نظر گرفته می‌شود.

ایراد وارد بر این روش این است که امکان ارزش گذاری متفاوت برای خاموشی در هر باس وجود ندارد. زیرا در محاسبه انرژی تأمین نشده با استفاده از این جدول، تفکیکی بین باسها صورت نگرفته و تنها کل انرژی تأمین نشده در سیستم محاسبه می‌شود.

در مرجع [۵] یک UC مقید به قیود امنیتی برای حراج انرژی و سرویسهای جانبی مدلسازی شده است. بهره بردار مستقل سیستم می‌تواند از این مدل برای بهینه سازی نیازمندیهای رزرو استفاده کند. در این مدل هم بجای در نظر گرفتن شرایط سیستم بصورت ثابت، تعیین رزرو با توجه به حوادث محتمل در سیستم انجام می‌شود.

مرجع [۷] با ترکیب هزینه های تولید و هزینه خروج مشتریان روشی جدید برای تعیین مقدار رزرو بر پایه ارزیابی ریسک پیشنهاد داده است. در این روش با در نظر گرفتن نرخ خروج واحدهای تولیدی سعی می‌شود سطح ریسک سیستم همواره مقدار قابل قبولی باشد.

در مرجع [۸] یک بازار انرژی و سرویس رزرو با رویکرد کاهش هزینه و رعایت قیود امنیتی سیستم طراحی شده است. حوادث در نظر گرفته شده فقط شامل خروج واحدهای تولیدی می‌باشد. برخلاف روشهای متعارف بر پایه معیارهای قطعی، این روش بازار انرژی و رزرو را با در نظر گرفتن عدم آمادگی ژنراتورها و هزینه خاموشی مشتری تسویه می‌کند. در نظر نگرفتن احتمال رخداد حوادث از ایرادات وارد بر این مقاله می‌باشد.

مرجع [۹] به ارائه مدلی برای مسئله توزیع اقتصادی بار<sup>۵</sup> با در نظر گرفتن قیود رزرو پرداخته است. در این مقاله تخصیص هزینه ها و پرداختها نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. قیود رزرو در نظر گرفته شده بصورتی است که عدم تعیین آن باعث از دست رفتن مقدار مشخصی بار در نتیجه خروج واحدهای تولیدی می‌شود.

در این مقاله برای تعیین میزان رزرو مورد نیاز در هر باس تولید، برای بهره برداری بهینه و ایمن از شبکه روشی جدید ارائه شده است.

در نظر گرفتن خروج واحدها و خطوط شبکه و احتمال رخداد آنها در تابع هدف پیشنهادی، رعایت محدودیتهای نرخ بارگیری و نیز در نظر گرفتن ارزش بار از دست رفته (VOLL)<sup>۱</sup> متفاوت در هر باس، از مزایای روش پیشنهادی می‌باشد.

## ۲- مروری بر بعضی روشهای موجود

در مرجع [۱] با مصالحه بین هزینه انرژی تأمین نشده و هزینه آماده سازی رزرو، به مسئله تعیین رزرو برای سطوح مختلف بار پرداخته شده است.

مرجع [۲] به تعیین رزرو بهینه در مسئله در مدار قرار گرفتن نیروگاهها (UC)<sup>۲</sup> می‌پردازد. در نظر گرفتن طبیعت احتمالی واحدهای تولیدی و استفاده از آنالیز هزینه-فایده در تعیین مقدار رزرو بهینه در بازار برق از مزایای روش بکار رفته در این مقاله می‌باشد. در این روند، سود ناشی از دسترس پذیری تولید، بوسیله کاهش هزینه خروج مشتریان سنجیده شده است.

تعیین رزرو چرخان قطعاً تأثیرات قابل توجه بر بازار انرژی دارد. مرجع [۴] به معرفی ساختار یک بازار رزرو چرخان برای استفاده از منابع موجود برای دستیابی به تأمین نیازمندیهای بار و رزرو پرداخته است. در نظر گرفتن محدودیتهای تراکم انتقال، احتمال رخداد حوادث ممکن در سیستم، ارزش بار از دست رفته و حفظ امنیت سیستم از ویژگیهای روش پیشنهادی این مرجع می‌باشد.

انرژی تأمین نشده مورد انتظار<sup>۳</sup> در مرجع [۴]، از جدول COPT<sup>۴</sup> محاسبه شده است. محاسبه EENS از این جدول

1 Value of Lost Load

2 Unit Commitment

3 Expected Energy Not Supplied (EENS)

4 Capacity outage probability table

$$P_0 = 1 - \sum_{k=1}^K P_k$$

$$C_0 = \sum_{i=1}^{N_g} C(P_{gi}^0) + \sum_{j=1}^{N_d} VOLL_j \cdot UP_j^0$$

$$C_k = \sum_{i=1}^{N_g} C(P_{gi}^k) + \sum_{j=1}^{N_d} VOLL_j \cdot UP_j^k$$

$P_k$ : احتمال رخداد حادثه  $k$

$C_0$ : هزینه کل در حالت نرمال (قبل از حادثه)

$C_k$ : هزینه کل در هنگام وقوع حادثه  $k$

$VOLL_j$ : ارزش بار از دست رفته در باس  $j$ ام

$UP_j^k$ : توان تأمین نشده<sup>۲</sup> در باس  $j$ ام در حادثه  $k$ ام

قیود مسئله عبارتند از:

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{gi}^k + \sum_{j=1}^{N_d} UP_j^k = \sum_{j=1}^{N_d} P_{dj}^k$$

$$B^k \theta^k = P_g^k - P_d^k + UP^k$$

$$P_l = P_{mn} = \frac{\theta_m - \theta_n}{x_{mn}}$$

$$P_{gi\_min}^k \leq P_{gi}^k \leq P_{gi\_max}^k$$

$$UP_{j\_min}^k \leq UP_j^k \leq UP_{j\_max}^k$$

$$P_{l\_min}^k \leq P_l^k \leq P_{l\_max}^k$$

$$P_{gi}^k \geq P_{gi}^0 - down\_ramp_i$$

$$P_{gi}^k \leq P_{gi}^0 + up\_ramp_i$$

$P_{gi}$ : توان تولیدی ژنراتور  $i$ ام

$P_{dj}$ : توان مصرفی باس  $j$ ام

$P_l$ : توان عبوری از خط  $l$ ام

$down\_ramp_i$  و  $up\_ramp_i$ : به ترتیب حداکثر

قابلیت کاهش و افزایش توان ژنراتور  $i$ ام (پس از وقوع حادثه)

برای تعیین رزرو مورد نیاز در هر باس تولید، از فرمول

پیشنهادی مطابق رابطه زیر استفاده شده است:

$$Reserve_i = \min\{\max_k P_{gi}^k - P_{gi}^0, up\_ramp_i\} \quad i \in N_g$$

در مرجع [۱۰] مدل جامعی برای پخش بار بهینه با رعایت

قیود امنیت سیستم ارائه شده است. این مرجع مدل خود را

ESCOF نامیده است. در این مدل برنامه پخش بار بهینه با

در نظر گرفتن همزمان دو حالت نرمال و حادثه، به همراه

محدودیت‌های نرخ بارگیری اجرا می‌شود. حوادث در نظر

گرفته شده شامل خروج خطوط پر بار بوده و خروج

واحدهای تولیدی در نظر گرفته نشده است.

در روش پیشنهادی در این مقاله، حوادث خروج واحدهای

تولیدی به مجموعه حوادث ممکن در مدل پخش بار بهینه

مرجع [۱۰] اضافه شده است. در نهایت با توجه به چگونگی

بهره برداری از واحدها در حالت نرمال و همچنین قیود نرخ

بارگیری، رزرو مورد نیاز در هر باس با فرمول جدید ارائه

شده تعیین می‌گردد. با اجرای تابع هدف و استفاده از فرمول

پیشنهادی، رزرو لازم برای تأمین امنیت سیستم و پرداخت

کمترین هزینه خاموشی معین می‌شود.

### ۳- روش پیشنهادی

برای پرهیز از پیچیدگی غیر ضروری از پخش بار بهینه

مستقیم استفاده شده است و منظور از OPF در متن همان

DCOPF است. اندیسهای بکار رفته در مدل پیشنهادی

عبارتند از:

$i$ : اندیس مربوط به هر ژنراتور ( $N_g$ : تعداد کل ژنراتورها)

$j$ : اندیس مربوط به هر بار ( $N_d$ : تعداد کل بارها)

$l$ : اندیس مربوط به هر خط ( $N_L$ : تعداد کل خطوط)

$k$ : اندیس مربوط به هر حادثه، اندیس صفر مربوط به حالت

نرمال است. ( $K$ : تعداد کل حوادث)

تابع هدف پیشنهادی برای بهره برداری بهینه و مطمئن از

شبکه بصورت زیر می‌باشد:

$$\text{Min} \{p_0 C_0 + \sum_{k=1}^K p_k C_k\}$$

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۳- اطلاعات بارهای شبکه ۱۴ باسه

شماره باس	D(MW)	UPmin (MW)	UPmax (MW)	VOLL (\$/MWh)
1	0	-	-	-
2	50	0	50	600
3	120	0	120	700
4	90	0	90	400
5	40	0	40	400
6	20	0	20	600
7	0	-	-	-
8	0	-	-	-
9	40	0	40	800
10	15	0	15	400
11	10	0	10	400
12	25	0	25	400
13	20	0	20	500
14	20	0	20	400

$UP_{min}$  و  $UP_{max}$  در این جدول حداقل و حداکثر بار قابل قطع را نشان می دهند. نرخ خروج اجباری ژنراتورها و خطوط برابر ۰.۰۱ و توانایی اضافه بار خطوط در هنگام حادثه به اندازه ۲۰٪ در نظر گرفته شده است.

۵- نتایج شبیه سازی

مجموعه حوادث فرض شده، شامل خروج دو خط که خروج آنها منجر به خاموشی می شود و خروج پنج واحد تولیدی می باشد. در جدول ۴ خلاصه نتیجه اجرای تابع هدف پیشنهادی با خروجی برنامه پخش بار بهینه معمولی مقایسه شده است.

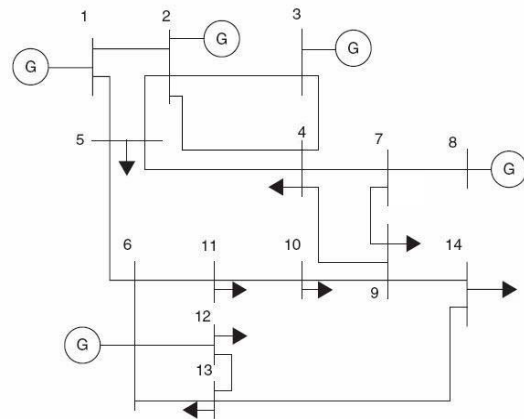
جدول ۴- مقایسه خروجی روش پیشنهادی و opf معمولی

	تولید g1 (MW)	تولید g2 (MW)	تولید g3 (MW)	تولید g4 (MW)	تولید g5 (MW)	هزینه تولید (\$/h)
opf معمولی	94.5	123.2	100	100	32.1	7124
روش پیشنهادی	94.3	129.5	86.1	100	40	7261

مقادیر  $P_{gi}^k$  پس از یافتن نقطه بهینه تابع هدف پیشنهادی بدست می آیند. با استفاده از فرمول فوق رزرو لازم در شبکه بصورت توزیع شده در هر باس تعیین می شود و مجموع آن کل رزرو شبکه را نشان می دهد. با آماده سازی رزرو در سیستم، مطابق رابطه پیشنهادی، علاوه بر تأمین شدن قیود امنیتی لازم، میزان هزینه پرداختی بابت انرژی تأمین نشده انتظاری حداقل خواهد بود.

۴- شبکه مورد مطالعه

برای آزمایش مدل پیشنهادی از شبکه ۱۴ باسه IEEE استفاده شده است. در شکل ۱ دیاگرام تک خطی این شبکه رسم شده است. این شبکه شامل ۵ ژنراتور، ۱۱ باس دارای مصرف و ۲۰ خط ارتباطی بین باسها می باشد. اطلاعات مربوط به ژنراتورها و بارهای این شبکه در جداول ۲ و ۳ آمده است.



شکل ۱- دیاگرام تک خطی شبکه ۱۴ باسه IEEE

جدول ۲- اطلاعات ژنراتورهای شبکه ۱۴ باسه

ژنراتور	Pgmin (MW)	Pgmax (MW)	Offer (\$/MWh)	down ramp (MW)	Up ramp (MW)
1	0	200	10	40	40
2	0	150	10	30	30
3	0	100	20	20	20
4	0	100	15	20	20
5	0	50	45	10	10

**بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق**

بر بهینگی اقتصادی، امنیت شبکه نیز تأمین می‌شود. نتایج کامل اجرای برنامه در جدول ۵ گردآوری شده است.

همانطور که در نتایج جدول ۴ دیده می‌شود، هزینه تولید در opf معمولی از روش پیشنهادی کمتر است؛ ولی بهره برداری از واحدها به صورت اول ایمن و مطمئن نیست (بخاطر عدم رعایت قیود بارگیری). در حالیکه در روش پیشنهادی علاوه

جدول ۵- نتایج اجرای تابع هدف ارائه شده

حادثه	Pg1 (MW)	Pg2 (MW)	Pg3 (MW)	Pg4 (MW)	Pg5 (MW)	PG (MW)	UP (MW)
نرمال	94.39	129.50	86.10	100	40	450	0
خروج G1	0	150	100	100	50	400	50
خروج G2	90.55	0	100	100	50	340.55	109.44
خروج G3	108.56	145.54	0	100	50	404.11	45.88
خروج G4	119.36	145.30	100	0	50	414.66	35.33
خروج G5	113.24	135.78	100	100	0	449.02	0.97
خروج L4 (خط ۲-۴)	82.36	99.50	100	100	50	431.87	18.12
خروج L7 (خط ۴-۵)	89.09	104.81	100	100	50	443.91	6.08

جدول ۶- مقایسه رزرو پیشنهادی و روش معمول تعیین رزرو

	رزرو g1 (MW)	رزرو g2 (MW)	رزرو g3 (MW)	رزرو g4 (MW)	رزرو g5 (MW)	رزرو کل (MW)
رزرو پیشنهادی	25.55	20.49	13.89	0	10	69.94
روش معمول	40.0	26.4	0	3.53	0	69.94

در نظر گرفتن رزرو مطابق روش معمول اگر چه ممکن است هزینه کمتری داشته باشد، ولی بخاطر عدم رعایت قیود بارگیری، امنیت سیستم را به مخاطره می‌اندازد. همچنین مشخص کردن سطح رزرو از قبل و بدون در نظر گرفتن حوادث محتمل از معایب روش متداول تعیین رزرو است.

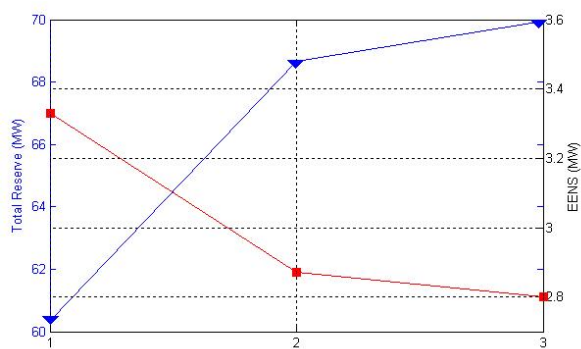
ردیف اول در جدول ۵ وضعیت بهره برداری ایمن و بهینه از شبکه را نشان می‌دهد. ردیفهای دوم تا هشتم چگونگی بهره برداری بهینه از شبکه در هنگام بروز حوادث محتمل در سیستم را مشخص می‌کنند. ستون آخر این جدول مقدار بار تأمین نشده در هر حادثه را نشان می‌دهد.

در جدول ۶ میزان رزرو مشخص شده برای هر ژنراتور که از فرمول پیشنهادی بدست آمده، نشان داده شده است. مجموع رزرو لازم برای شبکه برابر 69.94 MW می‌باشد، که حدود ۱۵٪ بار کل سیستم است. در ردیف دوم جدول ۶، نتیجه شبیه سازی روش ساده و معمول تعیین رزرو مطابق مرجع [۱۲] ارائه شده است.

در پیاده سازی این روش لازم است که حداقل میزان رزرو شبکه، پیش از اجرای برنامه مشخص شود که برای آن همان مقدار 69.94 MW در نظر گرفته شده است.



### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۳- تغییرات رزرو کل و EENS در سه حالت

این نتایج نشان می‌دهد با افزایش VOLL، میزان رزرو سیستم افزایش و مقدار انرژی تأمین نشده انتظاری کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش خسارت خاموشی، باید سطح رزرو سیستم افزایش یابد که روش پیشنهادی میزان رزرو لازم را بصورت کمی ارزیابی و مشخص می‌کند. واضح است که افزایش رزرو منجر به EENS کمتری خواهد شد. نتایج شکل ۲ همچنین نشان می‌دهد که توزیع رزرو در شبکه، با تغییر ارزش بار از دست رفته تغییر می‌کند.

### ۶- نتیجه گیری

در این مقاله روش مناسبی برای تعیین ظرفیت رزرو چرخان مورد نیاز سیستم برای بهره برداری اقتصادی از شبکه بصورت ایمن و مطمئن ارائه شده است.

در تابع هدف پیشنهادی هزینه تولید واحدها، هزینه بار از دست رفته در هر باس و همچنین احتمال حوادث ممکن در شبکه در نظر گرفته شده است. با رعایت قیود بارگیری واحدهای تولیدی و دیگر قیود لازم در این تابع هدف، علاوه بر حداقل شدن هزینه تولید و خسارت خاموشی، امنیت بهره برداری از شبکه تضمین می‌شود.

از مهمترین مزایای این روش تعیین سطح رزرو چرخان مورد نیاز سیستم، به عنوان یک نتیجه جانبی از حل مسئله بهینه سازی می‌باشد. علاوه بر این توزیع رزرو بین واحدها بر پایه شاخصهای اقتصادی و قابلیت اطمینان سیستم بطور ضمنی صورت می‌گیرد.

تعریف تابع هدف پیشنهادی به گونه ای است که با حداقل سازی آن سعی می‌شود هزینه انتظاری کل با در نظر گرفتن احتمال رخداد حوادث و همچنین رعایت قیود محدودیت افزایش و کاهش توان ژنراتورها، حداقل شود. با جمع مقدار بار تأمین نشده در هر حادثه ضرب در احتمال رخداد آن می‌توان میزان شاخص مهم و متداول ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه یعنی EENS را محاسبه کرد. مقدار بدست آمده برای این شاخص برابر است با:

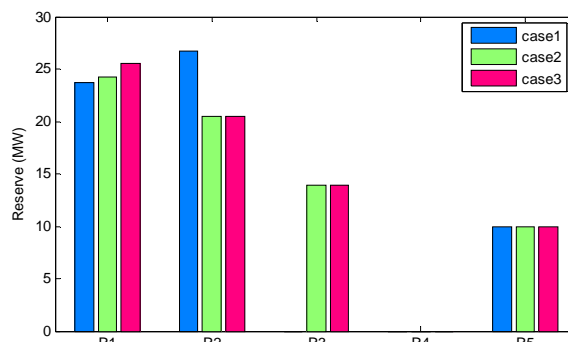
$$EENS = 2.8009 \text{ MW}$$

برای نشان دادن تأثیر مقدار VOLL بر مقدار رزرو و انرژی تأمین نشده مورد انتظار، برنامه برای سه مقدار مختلف آن در باسهای ۹ تا ۱۴، مطابق جدول ۷ اجرا شده است.

جدول ۷- مقایسه رزرو پیشنهادی و روش معمول تعیین رزرو

	Case1	Case2	Case3
VOLL	٪۱۵	حالت	٪۱۵
باسهای ۹-۱۴	کاهش	پایه	افزایش

نتایج شبیه سازی در شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود. شکل ۲ توزیع رزرو تعیین شده هر ژنراتور در هر حالت را نشان می‌دهد. در شکل ۳ مقدار کل رزرو و همچنین مقدار EENS برای این سه حالت رسم شده است.



شکل ۲- تغییرات رزرو هر ژنراتور در هر حالت



Engineering, CCECE, Canadian Conference on May 2008 Page(s): 000535 - 000540

[9] Jaime Misraji, Antonio J. Conejo, Juan M. Morales, "Reserve-constrained economic dispatch: Cost and payment allocations", *Electric Power Systems Research*, Volume 78, Issue 5, May 2008, Pages 919-925

[10] John Condren, Thomas W. Gedra and Parnjit Damrongkulkamjorn, "Optimal Power Flow With Expected Security Costs", *IEEE Transaction on Power Systems*, vol 21, no.2, November 2006

[11] A. Wood, B.F. Wollenberg, "Power generation, operation and Control", 2nd edition, Wiley, 1996.

[12] دنیل اس کرشن. گوران استریک، "اقتصاد سیستمهای

قدرت"، ترجمه کارشناسان دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق ایران. تابستان ۱۳۸۶

الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه ۱۴ باسه IEEE تست شده و نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج شبیه سازیهای انجام شده نشان می دهد؛ تفاوت در VOLL باسهای شبکه، علاوه بر تغییر در سطح رزرو کل، توزیع رزرو متفاوتی را نتیجه می دهد.

## ۷- مراجع

[1] Amir Abiri-Jahromi, Mahmud Fotuhi-Firuzabad and Ehsan Abbasi, "Optimal Scheduling of Spinning Reserve Based on Well-Being Model", *IEEE Transaction on Power Systems*, vol.22, no. 4, November 2007

[2] K. Afshar, M. Ehsan, M. Fotuhi-Firuzabad, N. Amjady, "Cost-benefit analysis and MILP for optimal reserve capacity determination in power system", *Applied Mathematics and Computation* 196 (2008) 752-761

[3] M. Shahidehpour, H. Yamin, Z. Li, "Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting, Scheduling, and Risk Management". NY, John Wiley & Sons, 2002

[4] S. Porkar, M. Fotuhi-Firuzabad, A. Abbaspour-Tehrani fard, B. Porkar, "An Approach to Determine Spinning Reserve Requirements in a Deregulated Electricity Market", *Power Systems Conference and Exposition, PSCE 2006*, Page(s):1341 - 1344

[5] Jianhui Wang, Mohammad Shahidehpour, and Zuyi Li, "Contingency-Constrained Reserve Requirements in Joint Energy and Ancillary Services Auction", *IEEE Transaction on Power Systems*, vol. 24, Issue3, Aug. 2009 Page(s):1457 - 1468

[6] Wang Jianxue, Wang Xifan, Song Yonghua, Zhangxiar, "Study on Reserve Problem in Power Market", *Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. International Conference*, vol.4, Oct. 2002 Page(s):2418 - 2422

[7] J. Zhong, Member, IEEE, and F. F. Wu, "Operating Reserve Value at Risk", *Power Engineering Society General Meeting, 2006 IEEE*

[8] H. Hajian-Hoseinabadi, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Hajian. "Optimal Allocation of Spinning Reserve in a Restructured Power System Using Particle Swarm Optimization", *Electrical and Computer*