

## بررسی حادثه از مدار خارج شدن واحد ۳ نیروگاه طوس در اثر تغییرات بار

یوسف پورصدیق رودی<sup>۱</sup>، محسن اصغری جعفرآباد<sup>۲</sup>، امیر طاهرپور کلانتری<sup>۱</sup>، منصور قربانزاده<sup>۳</sup>  
برق منطقه‌ای خراسان<sup>۳،۲،۱</sup> - شرکت آذرخش انتقال نیرو<sup>۲</sup>  
دفتر فنی انتقال<sup>۲،۱</sup> - دفتر فنی نظارت بر تولید<sup>۳</sup>

### چکیده

پس از پایان عملیات PM خط ۴۰۰ کیلوولت طوس - فردوسی به کد دیسپاچینگ ST912 در تاریخ ۱۳۹۲/۰۴/۲۷، بعد از وصل بریکر در پست بلافصل فردوسی، وصل بریکر در پست ۴۰۰ طوس به دلیل عدم سنکرون شدن صورت نگرفت. در ادامه با هماهنگی مرکز دیسپاچینگ شمال شرق جهت برق دار نمودن خط ارتباطی دو پست، ابتدا وصل بریکر در پست طوس و سپس در پست فردوسی صورت گرفت. هم‌زمان با وصل بریکر در پست بلافصل فردوسی با رعایت دستورالعمل‌ها توسط اپراتور، نوسان بار در هر ۴ واحد نیروگاه طوس ثبت و به دلیل تغییرات زیاد بار در واحد ۳، این واحد از مدار خارج می‌شود. در این مقاله، حادثه از طریق شکل موج‌های ثبت شده بررسی و راه‌حل‌های مناسبی با توجه به امکان بروز مجدد نوسان به منظور جلوگیری از حادثه ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** نیروگاه طوس، نیروگاه فردوسی، موازی کردن ژنراتورها، گاورنر

### ۱- مقدمه

از روش‌های موازی کردن ژنراتورها، می‌توان روش‌های کلاسیک دستی، کلاسیک اتوماتیک و غیر کلاسیک اتوماتیک نام برد. در روش کلاسیک دستی شرایط موازی کردن ژنراتورها (البته به استثنای توالی فاز) توسط دستگاه سنکروسکوپ بررسی می‌شود. در این روش محدوده مجاز اختلاف دامنه ولتاژ و فرکانس توسط اپراتور می‌تواند بصورت دستی تنظیم شود. عیب این روش این است که بایستی به منظور داشتن اختلاف فاز صفر در فازهای هم نام، زمان بسته شدن کلید نیز در نظر گرفته شود [۲].

در روش اتوماتیک محدوده مجاز اختلاف دامنه ولتاژ و فرکانس توسط سیستم‌های الکترونیکی تنظیم می‌شود این دستگاه از سه قسمت تنظیم ولتاژ شبکه با ژنراتور، تنظیم فرکانس از طریق گاورنر، و شناسایی زمان مناسب جهت وصل بریکر می‌باشد. سریع‌ترین روش در موازی کردن ژنراتورها،

پایداری گذرا و پایداری سیگنال کوچک دو معیار برای بررسی پایداری توان در یک سیستم قدرت می‌باشند. در پایداری گذرا در شرایط عادی سیستم پایدار است و ایجاد خطای شدید در سیستم، ممکن است نقطه کار را به مکان‌هایی منتقل می‌کند که امکان بازگشت به نقطه تعادل پایدار وجود ندارد. اما در ناپایداری سیگنال کوچک ماهیت خود سیستم ناپایدار می‌باشد. به عبارت دیگر سیستم در نقطه تعادل ناپایدار قرار می‌گیرد و با اندک اغتشاشی ناپایدار می‌گردد. این نوع ناپایداری در شبکه قدرت معمولاً با نوسان و تغییرات توان نیز همراه است. نوسانات توان خروج واحدهای نیروگاهی و ایجاد تاثیرات نامطلوب بر روی این واحدها را به دنبال دارد [۱].

۱. دامنه ولتاژ فازهای شبکه و نیروگاه‌ها یکی باشد.
۲. توالی فازها رعایت شده باشد.
۳. فرکانس نیروگاه‌ها و شبکه با یکدیگر برابر باشد.
۴. عدم وجود اختلاف فاز بین دو فاز هم نام

چنانچه اختلاف دامنه ولتاژ بین ولتاژهای سه فاز دو نیروگاه با هم کمتر از ۱۰ درصد مقدار نامی نیروگاه‌ها باشد با وصل بریکر خط مشکلی به وجود نمی‌آید و اثر جریان جاری شده از نیروگاه با ولتاژ بیشتر به نیروگاه با ولتاژ کمتر تنها در گرم شدن سیم‌پیچ‌های ژنراتور مشاهده می‌گردد. در غیر اینصورت برای تنظیم دامنه ولتاژ بایستی جریان تحریک تنظیم شود.

اتصال دو فاز غیر هم نام به یکدیگر که ممکن است در عملیات تعمیر نگهداری پیشگیرانه هنگام وصل بریکر روی دهد منجر به اختلاف فاز ۱۲۰ درجه‌ای میان فازها می‌شود که منجر به آسیب دیدن ژنراتور و عمل کردن رله‌های حفاظتی می‌شود. لذا بایستی توسط دستگاه توالی فاز قبل از وصل کردن بریکر از هم نام بودن فازها در دو طرف بریکر اطمینان حاصل شود. با استفاده از دستگاه سنکروسکوپ در نیروگاه‌ها تنها یک فاز کنترل شده و این دستگاه در مورد ترتیب فازها اطلاعی نمی‌دهد.

اختلاف فرکانس بیش از حد مجاز باعث آسیب به محور توربین‌ها و هم‌چنین گرم شدن سیم‌پیچ‌های ژنراتور می‌شود از این‌رو از اهمیت بیشتری نسبت به سایر شرایط برخوردار است. در نیروگاه گازی فردوسی تنظیم فرکانس توسط سیستم کنترل سوخت توربین و در نتیجه کنترل سرعت توربین انجام می‌گیرد. اما در نیروگاه حرارتی توسط تنظیم فرکانس توسط کنترل بخار ورودی بوسیله گاورنر انجام می‌شود.

اختلاف فاز بین دو فاز هم نام در صورتی که شرایط دیگر برقرار باشد باعث ایجاد اختلاف ولتاژ در هر لحظه و در نتیجه جاری شدن جریان و گرم شدن ژنراتور می‌شود. توان تولیدی یک ژنراتور از منحنی توان-فرکانس (دیاگرام خانه‌ای) آن قابل تعیین است. این منحنی با معادله ۱ که مشخصه گاورنر نیز می‌باشد تعیین می‌شود:

$$P = S_p(f_{nl} - f_{fl}) \quad (1)$$

در رابطه ۱، P توان تولیدی ژنراتور بر حسب KW یا MW،  $S_p$  شیب منحنی بر حسب KW یا MW بر هرتز،  $f_{nl}$  فرکانس بی‌باری خروجی ژنراتور بر حسب هرتز و  $f_{fl}$  فرکانس خروجی ژنراتور در حالت بارداری بر حسب هرتز می‌باشد. میزان تولید ژنراتورها را می‌توان با تنظیم set point گاورنر تغییر داد.

روش غیر کلاسیک اتوماتیک می‌باشد. در این روش بدون اینکه تحریک ژنراتور را وصل کنند بریکر ژنراتور را در ۲۵ درصد دورنامی توربین وصل می‌کنند. لذا ژنراتور بصورت یک موتور شروع بکار کرده و سریعاً به دور سنکرون می‌رسد. عیب این روش این است که به ژنراتور ضربات شدیدی وارد می‌آید [۳].

در سال‌های اخیر نوسانات شدیدی در شبکه خراسان به وقوع پیوسته است. این نوسانات تاثیرات جدی بر روی شبکه و نیروگاه‌ها داشته است [۴]. نزدیکی نیروگاه طوس و فردوسی به یکدیگر باعث تشدید این پدیده در سال‌های اخیر شده است. با بررسی داده‌های جمع‌آوری شده در این نیروگاه‌ها مشخص می‌شود نوسانات به گاورنر نیروگاه مربوط نبوده، بلکه نوسانات دینامیکی می‌باشد.

در این مقاله پس از بیان شرایط موازی کردن ژنراتورها، در بخش سیستم مورد مطالعه، شماتیک سیستم و پارامترهای سیستم بطور کامل معرفی شده‌اند. در ادامه به شرح حادثه تریپ واحد ۳ نیروگاه طوس با شکل‌های ثبت شده در نیروگاه پرداخته شده است. در انتها در بخش نتیجه‌گیری، راه‌حل‌های مناسبی جهت جلوگیری از بروز مجدد این پدیده آورده شده است.

## ۲- موازی کردن ژنراتورهای سنکرون

اتصال ژنراتورهای سنکرون به دو شکل مستقل از شبکه و وابسته به شبکه صورت می‌پذیرد. اتصال مستقل از شبکه معمولاً برای تامین برق اضطراری در مکان‌هایی چون بیمارستان‌ها، برج‌های تجاری، مراکز موشکی و ... کاربرد دارد. مقدار توان اکتیو و راکتیو تولیدی در این نوع اتصال توسط بار تعیین می‌شود. در شبکه‌های قدرت به منظور تامین توان مورد نیاز مصرف‌کنندگان، بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه، امکان برنامه‌ریزی برای تعمیرات اساسی و افزایش راندمان با بکارگیری نیروگاه‌های با توان تولیدی پایین‌تر به جای استفاده از نیروگاه‌های بزرگ از ژنراتورها به صورت گروهی استفاده می‌شود.

وصل بریکر یک ژنراتور جهت اتصال آن واحد نیروگاهی با شبکه قدرت، تابع شرایطی است که به علت بزرگی شبکه قدرت، بایستی پس از هماهنگ شدن ژنراتور با شبکه انجام گیرد که مورد بحث در این مقاله نمی‌باشد.

شرایط لازم جهت موازی کردن دو نیروگاه باهم توسط وصل بریکر خط ارتباطی بین دو نیروگاه به قرار زیر است [۲]:

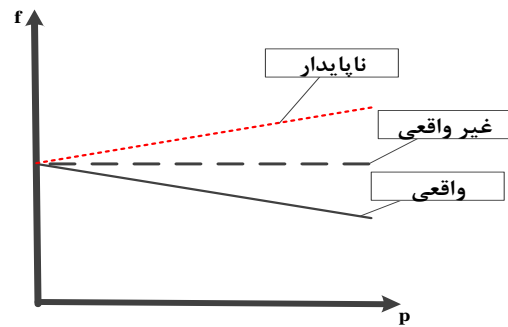
جدول ۱: مشخصات ژنراتورهای نیروگاه بخار طوس

|          |  |                     |
|----------|--|---------------------|
| ۱۸۷.۵    | توان ظاهری (MVA)                                   |                     |
| -۰.۳     | min  | توان راکتیو (PU)    |
| -۰.۵۳    | max  |                     |
| ۱۱.۵     | ولتاژ نامی (kv)                                    |                     |
| ۰.۸      | ضریب توان (Cosφ)                                   |                     |
| YN       | نوع اتصال  |                     |
| ۲        | تعداد قطبها  |                     |
| ۱.۷۱۰۱   | Xd محور طولی                                       | راکتانس سنكرون (PU) |
| ۱.۶۲۴۵   | Xq محور عرضی                                       |                     |
| ۰.۰۰۰۸۴  | مقاومت استاتور $r_{str}$ (PU)                      |                     |
| ۰.۱      | مقاومت ناشی استاتور $Xr_{lstr}$ (PU)               |                     |
| ۰.۲۴     | راکتانس کند گذر محور طولی $Xd'$ (PU)               |                     |
| ۰.۱۸۸۲۳  | راکتانس تند گذر محور طولی $Xd''$ (PU)              |                     |
| ۰.۷۷     | ثابت زمانی کند گذر مدار باز محور طولی $Td'$ (Sec)  |                     |
| ۰.۰۱۱    | ثابت زمانی تند گذر مدار باز محور طولی $Td''$ (Sec) |                     |
| ۴.۶      | ثابت زمانی اینرسی H (Sec)                          |                     |
| ۰.۱۰۴۴   | راکتانس توالی صفر $X0$ (PU)                        |                     |
| ۰.۰۰۱۰۸۳ | مقاومت توالی صفر (PU)                              |                     |

جدول ۲: مشخصات ژنراتورهای نیروگاه سیکل ترکیبی فردوسی

|         |  |                     |
|---------|--|---------------------|
| ۲۰۰     | توان ظاهری (MVA)                                   |                     |
| -۰.۳    | min  | توان راکتیو (PU)    |
| ۰.۵۵    | max  |                     |
| ۱۵.۷۵   | ولتاژ نامی (kv)                                    |                     |
| ۰.۸     | ضریب توان (Cosφ)                                   |                     |
| YN      | نوع اتصال  |                     |
| ۲       | تعداد قطبها  |                     |
| ۲.۳۸    | Xd محور طولی                                       | راکتانس سنكرون (PU) |
| ۲.۲۲    | Xq محور عرضی                                       |                     |
| ۰.۰۰۱۰۷ | مقاومت استاتور $r_{str}$ (PU)                      |                     |
| ۰.۱     | مقاومت ناشی استاتور $Xr_{lstr}$ (PU)               |                     |
| ۰.۲۳۴   | راکتانس کند گذر محور طولی $Xd'$ (PU)               |                     |
| ۰.۱۷۹   | راکتانس تند گذر محور طولی $Xd''$ (PU)              |                     |
| ۱.۰۴    | ثابت زمانی کند گذر مدار باز محور طولی $Td'$ (Sec)  |                     |
| ۰.۰۲۲   | ثابت زمانی تند گذر مدار باز محور طولی $Td''$ (Sec) |                     |
| ۶.۷     | ثابت زمانی اینرسی H (Sec)                          |                     |
| ۰.۰۶۲   | راکتانس توالی صفر $X0$ (PU)                        |                     |
| ۰.۰۰۶   | مقاومت توالی صفر (PU)                              |                     |

دیگرام خانه‌ای یک ژنراتور برای حالت‌های مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است [۲].



شکل ۱: تغییرات توان بر حسب سرعت مکانیکی گرداننده اولیه ژنراتور

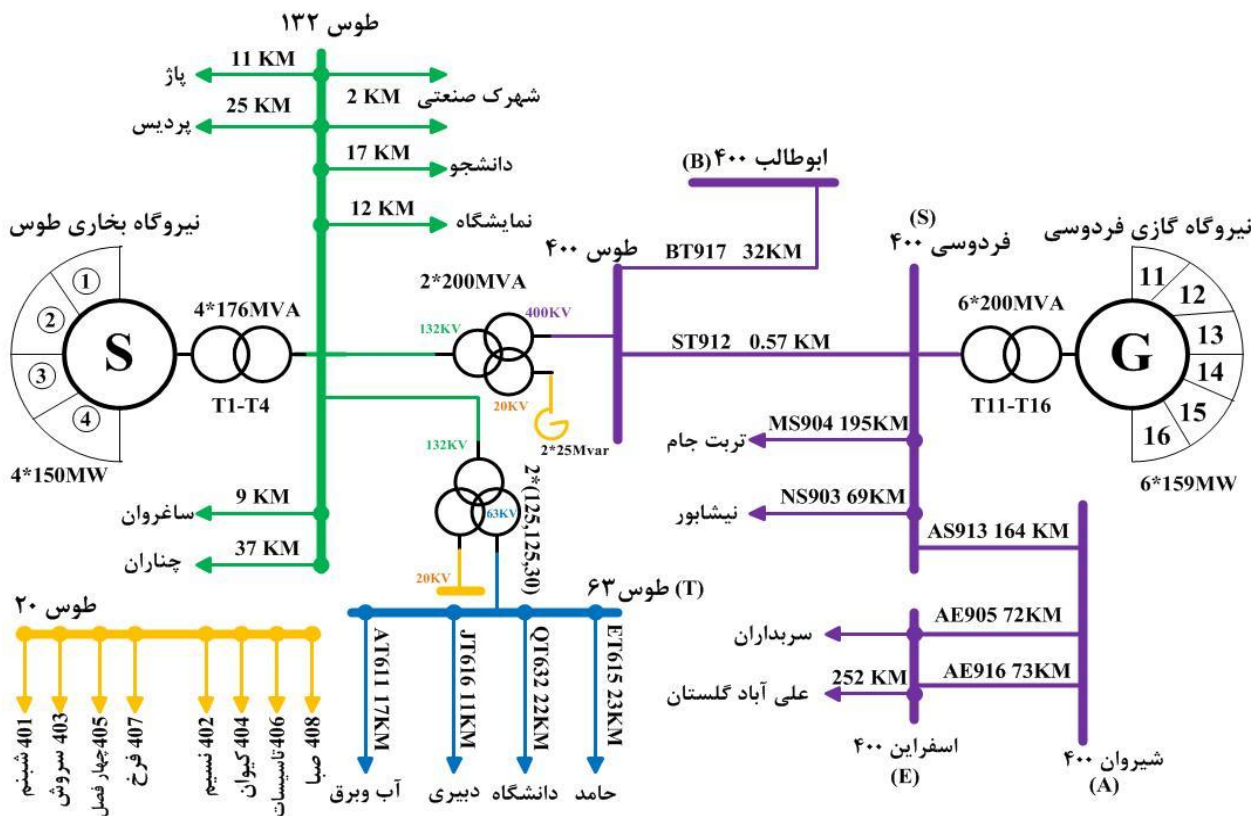
میزان توان تحویل داده شده یک ژنراتور به شبکه از روی شکل ۱ تعیین می‌شود. افت سرعت گاورنر (Speed Droop) یک ژنراتور که معمولا بین ۲ تا ۸ درصد می‌باشد از رابطه ۲ تعیین می‌شود [۲]:

$$SD = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_n} * 100\% \quad (2)$$

افت سرعت گاورنر متناسب با افزایش میزان بار می‌باشد. در صورتی که تمام پارامترهای دو ژنراتور که با یکدیگر موازی می‌شوند، برابر باشد هیچ توانی بین آنها رد و بدل نمی‌شود. با افزایش هم‌زمان نقطه تنظیم گاورنر هر دو ژنراتور، بدون اینکه تغییری در تقسیم توان تولیدی ژنراتورها روی دهد فرکانس سیستم افزایش می‌یابد. در حالی که با افزایش نقطه تنظیم گاورنر یک ژنراتور و کاهش هم‌زمان گاورنر دیگری بدون تغییر فرکانس، تنظیم تقسیم توان روی می‌دهد. تنظیم نامناسب نقطه تنظیم گاورنر دو ژنراتوری که قرار است با یکدیگر موازی شوند حالت موتوری شدن برای یکی از ژنراتورها را به دنبال دارد ( $P_{Load} = P_{G1} - P_{G2}$ ). بعد از موازی شدن ژنراتورها گاورنر تنها توان خروجی ژنراتور را کنترل می‌کند و تاثیری بر روی فرکانس ندارد [۲].

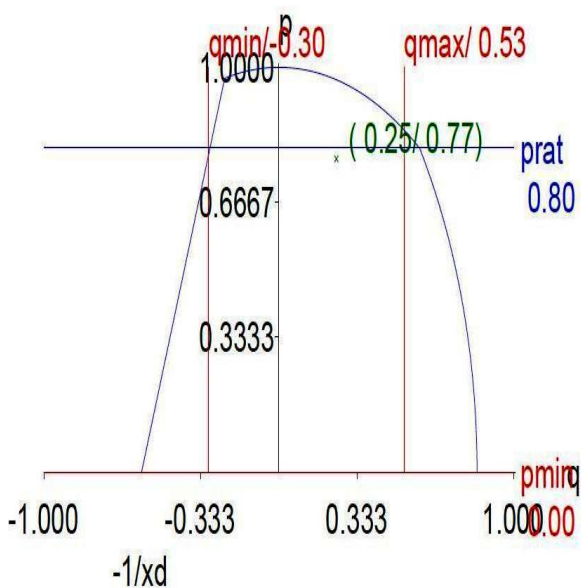
### ۳- سیستم مورد مطالعه

نیروگاه حرارتی طوس با ۴ واحد بخار ۱۵۰ مگاواتی در ۱۲ کیلومتری شمال غربی مشهد قرار دارد [۵]. نیروگاه سیکل ترکیبی فردوسی با ۶ واحد گاز ۱۵۹ مگاواتی در مجاورت نیروگاه طوس در ۱۵ کیلومتری شمال غربی مشهد قرار دارد. واحدهای نیروگاه طوس و فردوسی به ترتیب دارای گاورنر هیدرومکانیکی و الکترونیکی می‌باشند. مشخصات ژنراتور این نیروگاه‌ها به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲: سیستم مورد مطالعه

منحنی‌های ظرفیت (p-q) ژنراتورهای نیروگاه‌های تپوس و فردوسی با ضریب قدرت ۰.۸ به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ در ولتاژ ثابت باس نمایش داده شده است. محور افقی با q و محور عمودی با p نمایش داده شده است.



شکل ۳: منحنی ظرفیت ژنراتورهای نیروگاه تپوس

نخستین واحد نیروگاه تپوس در آبان ماه ۱۳۶۴ و دیگر واحدها تا پایان سال ۱۳۶۶ توسط شرکت BBC با راندمان‌های حدود ۳۷ درصد مورد بهره‌برداری قرار گرفت [۶-۷]. مطابق شکل ۲، ولتاژ خروجی ۱۳۲ کیلوولت از ترانسفورماتورهای واحدهای نیروگاهی پست تپوس، از طریق ۸ خط ۱۳۲ کیلوولت با ۷ پست در خراسان رضوی در ارتباط می‌باشد. همچنین این نیروگاه از طریق دو ترانسفورماتور سه سیم‌پیچ ۱۳۲/۶۳/۲۰ کیلوولت با ۴ پست ۶۳ کیلوولت آب و برق، دانشگاه، دبیری و حامد در ارتباط است. ارتباط این نیروگاه با نیروگاه فردوسی و پست ۴۰۰ ابوطالب از طریق دو ترانسفورماتور سه سیم‌پیچ با سطح ولتاژ ۴۰۰/۱۳۲/۲۰ کیلوولت انجام می‌گیرد.

نخستین واحد نیروگاه گازی فردوسی در سال ۱۳۸۵ و دیگر واحدها تا سال ۱۳۸۷ توسط شرکت مینا با راندمان‌های حدود ۳۳ درصد مورد بهره‌برداری قرار گرفتند [۶-۸]. قدرت عملی فصلی واحدهای این نیروگاه در فصل تابستان ۱۲۱ مگاوات می‌باشد [۹]. مطابق شکل ۲، این نیروگاه از طریق ۶ ترانسفورماتور بلافصل واحد ۴۰۰ کیلوولت با پست‌های ۴۰۰ کیلوولت تپوس، تربت‌جام، سیکل ترکیبی نیشابور و سیکل ترکیبی شیروان در ارتباط می‌باشد.

#### ۴- شرح حادثه

پس از پایان عملیات pm خط ۴۰۰ کیلوولت طوس - فردوسی در پست ۴۰۰ طوس در تاریخ ۹۲/۰۴/۲۷ در ساعت ۱۵:۴۲:۱۰، بعد از وصل بریکر در پست بلافصل فردوسی، وصل بریکر در پست ۴۰۰ طوس به دلیل عدم سنکرون شدن صورت نگرفت. با مجوز دیسپاچینگ مقرر گردید عمل سنکرون شدن خط ارتباطی دو پست فردوسی و طوس پس از وصل بریکر در پست ۴۰۰ طوس انجام گیرد. هم‌زمان با وصل بریکر توسط اپراتور پست فردوسی با رعایت دستورالعمل‌های بهره‌برداری، نوسان بار به مدت ۳ ثانیه در هر ۴ واحد نیروگاه طوس ثبت و به دلیل تغییرات زیاد بار در واحد ۳، این واحد پس از مدت ۱۵۰ ثانیه از وصل بریکر در پست بلافصل فردوسی از مدار خارج می‌شود. اگر چه سه واحد دیگر نیروگاه طوس در مدار باقی مانده، اما بدون شک میزان استرس ناشی از تغییرات شدید توان بر پره‌های توربین به صورت دمایی و بر محورهای توربین به صورت مکانیکی بسیار شدید بوده است. در زمان حادثه، نیروگاه طوس در مد کنترل فرکانس و نیروگاه فردوسی در مد کنترل بار بوده است. اطلاعات ثبت شده در نیروگاه فردوسی نوسان جزئی حدود ۱۴ مگاوات را برای شش واحد نشان می‌دهد. تنظیمات رله سنکرون چک در زمان حادثه در پست‌های طوس و فردوسی در جدول ۶ نمایش داده شده است.

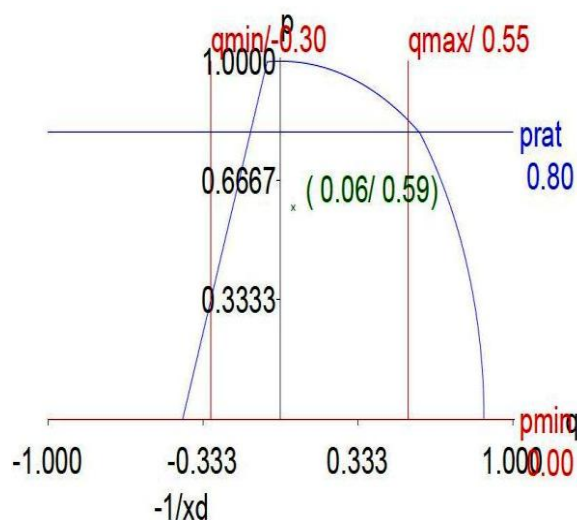
جدول ۶: تنظیمات رله سنکرون چک

| فردوسی    | طوس       | پست                                |
|-----------|-----------|------------------------------------|
| ۰.۱۵ هرتز | ۰.۰۴ هرتز | حداکثر اختلاف فرکانس               |
| ٪۱۰       | ٪۱۰       | حداکثر اختلاف ولتاژ                |
| ۱۵        | ۳۰        | حداکثر اختلاف فاز ( $\phi\Delta$ ) |

مقدار بار خط طوس - فردوسی در جدول ۷ نمایش داده شده است. بررسی‌ها در پست طوس نشان می‌دهد در روز حادثه بیشترین میزان بار در ۵ سال اخیر مشاهده گردیده است.

جدول ۷: میزان بار خط طوس - فردوسی در زمان حادثه

| تاریخ | آمپر | توان اکتیو (Mw) | توان راکتیو (Mvar) |
|-------|------|-----------------|--------------------|
| خروج  | ۲۱۵  | -۱۴۵            | -۶۰                |
| ورود  | ۵۸۰  | -۴۰۰            | -۱۱۵               |



شکل ۴: منحنی ظرفیت ژنراتورهای نیروگاه فردوسی

میزان تولید واحدهای نیروگاهی طوس و فردوسی در زمان حادثه بر گرفته از دستگاه‌های ثبت به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است. حداقل توان تولیدی واحدهای طوس و فردوسی به ترتیب ۷۵ و ۵۰ مگاوات می‌باشد.

جدول ۳: تولید واحدهای نیروگاه طوس در زمان حادثه

| واحد    | ۱   | ۲   | ۳   | ۴   |
|---------|-----|-----|-----|-----|
| P(MW)   | ۱۳۰ | ۱۳۰ | ۱۲۵ | ۱۱۰ |
| Q(Mvar) | ۷۲  | ۷۰  | ۷۲  | ۷۲  |

جدول ۴: تولید واحدهای نیروگاه فردوسی در زمان حادثه

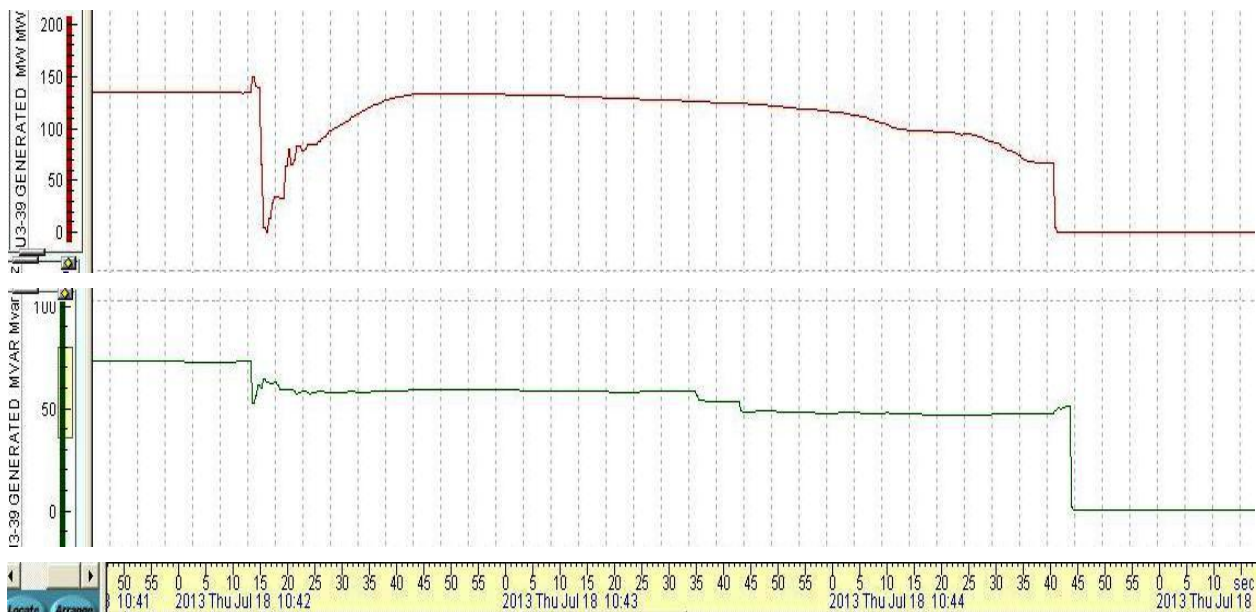
| واحد    | ۱۱  | ۱۲  | ۱۳  | ۱۴  | ۱۵  | ۱۶  |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| P(MW)   | ۱۱۶ | ۱۱۷ | ۱۱۷ | ۱۲۰ | ۱۱۵ | ۱۱۸ |
| Q(Mvar) | -۱۴ | -۱۵ | -۸  | -۱۳ | -۱۵ | -۱۱ |

اطلاعات مربوط به بارهای پست طوس در زمان حادثه، برگرفته از دفاتر ثبت شده در پست‌ها و فلو شیت دیسپاچینگ شمال شرق در جدول ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۵: اطلاعات بار پست طوس

| خروجی | P (MW) | Q (Mvar) | V (Kv) |
|-------|--------|----------|--------|
| ۱۳۲   | ۴۳۷    | ۱۰۱      | ۱۳۳    |
| ۶۳    | ۹۴     | ۶        | ۶۴     |
| ۲۰    | ۴۰     | ۱۶       | ۲۰.۷   |





شکل ۵: تغییرات توان واحد ۳ نیروگاه طوس

نوسانات توان می‌گردد. پیشنهاد می‌گردد در زمان وصل کلید خط رابط طوس - فردوسی، نیروگاه طوس از مد کنترل فرکانس به مد کنترل بار تغییر کند و با رعایت شرایط سنکرون کلید وصل و پس از وصل کلید به مد کنترل فرکانس باز گردد.

شکل ۵ تغییرات توان اکتیو و راکتیو تولیدی واحد ۳ نیروگاه طوس در هنگام وصل بریکر در پست طوس را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست واحد ۳ در ساعت ۱۰:۴۴:۴۲ از مدار خارج شده است.

## ۵- نتیجه‌گیری

بررسی‌ها بر طبق آمارهای ثبت شده در دفاتر روزانه پست ۴۰۰ طوس، نشان می‌دهد که در زمان بروز حادثه، بیشترین میزان بار در هنگام وصل خط ۴۰۰ رابط طوس - فردوسی در ۵ سال اخیر مشاهده گردیده است. با توجه به بار زیاد این خط مخصوصاً هنگام پیک بار که نوسان توان در نیروگاه‌های طوس، فردوسی و شبکه را در هنگام وصل خط به دنبال دارد پیشنهاد می‌گردد خط مذکور جهت کاهش توان انتقالی، دو مداره شود یا عملیات وصل خط در ساعتی غیر از بار پیک یا بار کمتر صورت پذیرد. همچنین بررسی شکل موج‌های ثبت شده در نیروگاه‌ها نشان می‌دهد در هنگام وصل خط رابط طوس - فردوسی، نوسانات توان در نیروگاه فردوسی بر خلاف نیروگاه طوس به دلیل متصل بودن به شبکه سراسری از طریق پست اسفراین بسیار جزئی می‌باشد پیشنهاد می‌گردد با تحلیل شبکه و در نظر گرفتن نوسانات واحدهای تولیدی، پست ۴۰۰ طوس نیز به شبکه سراسری متصل گردد. با توجه به اختلاف تنظیمات رله‌های سنکرون پیشنهاد می‌گردد با هماهنگی با شرکت مدیریت شبکه، تنظیمات رله‌های سنکرون چک بازنگری شود زیرا وجود اختلاف فرکانس دو نیروگاه موجب انتقال توان بین ژنراتورها پس از موازی شدن و در نتیجه

## مراجع

- [1] P. Kundur, "Power System Stability and Control", Mc Graw Hill, 1994for Patients", IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol. 48, No. 12, pp. 1424-1433, Dec. 2001.
- [2] S. J. Chapman, "Electric Machinery Fundamentals", ver. 5, 2012
- [3] S.Hasanzadeh, M.Yazdani and M. Rajabi, "Investigation and Simulation Loss of Generator Excitation in Different Power Network Structures", PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 7a/2012
- [4] اصیلی، م.، رجبی مشهدی، م. و یزدان پناه، د، "بررسی و تحلیل اثر توان انتقالی بین شبکه خراسان و شبکه سراسری کشور در وقوع نوسانات توان الکتریکی"، بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۲۰۰۹.
- [5] <http://www.tousspowerstation.ir>
- [6] Statistical report on 44 years of activities of iran electric power industry (1976-2010), tavanir holding company, oct 2011.
- [7] صنعت برق ایران ۱۳۹۱، شرکت توانیر، آذر ۹۲
- [8] <http://www.mapnagroup.com/fa/projects>
- [9] سایت اینترنت شرکت برق منطقه‌ای خراسان، بخش معاونت بهره‌برداری