پیاده‌سازی برنامه تخمین حالت در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب کشور

مهرداد طرفدارحق[۱]، استاد، مهدی احمدی جیردهی[۱]، دانشجوی دکتری، پدرام صالح‌پور[۱]، دانشجوی دکتری، بابک اسدزاده[۲]، کارشناسی ارشد، افشین روشن‌میلانی[۱و۲]، دانشجوی دکتری

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تبریز- تبریز- ایران
tarafdar@tabrizu.ac.ir, m-ahmadi@tabrizu.ac.ir, pedram.salehpoor@gmail.com,
۲- شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان - معاونت بهره‌برداری - تبریز - ایران basadzadeh@gmail.com, milano@azrec.co.ir

چکیده: در این مقاله، نتایج حاصل از تهیه و به‌کارگیری برنامه تخمین حالت[۱] (SE) و هم‌چنین برنامه‌های ورود و خروج اطلاعات موردنیاز برای اولین بار در کشور در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب کشور[۲] ارائه شده است. برنامه تخمین حالت بر پایه معیار حداقل مربعات وزن‌دار[۳] (WLS) در محیط نرم‌افزار MATLAB نوشته شده و قادر است دامنه ولتاژ و زوایای فاز تمامی پست‌های ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت منطقه شمال‌غرب ایران را در هرلحظه تخمین بزند. هم‌چنین، نرم‌افزار ویژه‌ای در محیط C++ جهت تبدیل اطلاعات کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده و وضعیت قطع یا وصل بودن کلیدهای پست‌های مذکور به فایل‌های با فرمت m.* تهیه شده است که می‌تواند اطلاعات مذکور را به‌صورت منظم‌شده و در هر بار اجرای برنامه در اختیار نرم‌افزار تخمین حالت قرار دهد. خروجی برنامه تخمین حالت دارای دو انتخاب برای کارشناسان مرکز دیسپاچینگ است. در انتخاب اول، خروجی موردنظر به‌صورت یک سیستم مانیتورینگ اختصاصی و با استفاده از نقشه‌های Bitmap و بدون نیاز به سایر نرم‌افزارها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در انتخاب دوم، خروجی برنامه تخمین حالت با استفاده از یک برنامه اسکریپت ویژه به برنامه DIgSILENT وارد می‌شود تا با استفاده از امکانات نرم‌افزار DIgSILENT نسبت به نمایش نتایج و در صورت نیاز، انجام سایر محاسبات شبکه اقدام شود.

واژه‌های کلیدی: تخمین حالت، مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب ایران، حداقل مربعات وزن‌دار، DIgSILENT

Implementation of Sate Estimation Program in North- West Dispatching Center of Iran

M.Tarafdar-hag[1], M.Ahmadi Jirdehi[1], P.Salehpour[1], B.Asadzadeh[2], A. Roshan-milani[2]

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering University of Tabriz –Tabriz - Iran
2- Azarbaijan Regional Electric Company

Abstract: In this paper, the results of providing and implementation of the state estimation (SE) program and also input/output required information has been presented for the first time in North-West dispatching center of the country. The SE program has been written based on weighted least square (WLS) in the MATLAB software and is able to estimate amplitudes and phase angles of all 132kV, 230kV and 400kV power stations voltages in North-West region of country, every instant. Moreover, in order to convert the measured information and identify the close/open status of the power stations circuit breakers, a special program was written in the C++ software. This program delivers the mentioned information in a desired order to the SE program, in each program execution cycle. Output of the proposed SE program provides two options for the experts and operators of the dispatching center. In the first option, output of SE program can be used in the form of a special monitoring system unsig Bitmap figures without using any other programs. While for the second option, SE program output is imported to the well-known DIgSILENT software using a special input script data file, which can be presented with the DIgSILENT software and used for the other of power network calculations.

Keywords: State estimation, North-West dispatching center of Iran, Weighted least squares, DIgSILENT

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۶
تاریخ اصلاح مقاله:: ۱۳۹۲/۵/۲۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۱۲
نام نویسنده مسئول : مهرداد طرفدارحق
نشانی نویسنده مسئول: ایران - تبریز - بلوار ۲۹ بهمن - دانشگاه تبریز - دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر

۱- مقدمه

با توجه به توسعه و افزایش پیچیدگی ساختار سیستم‌های قدرت الکتریکی، سیستم مدیریت انرژی[۴] (EMS) نقش مهمی را در سیستم‌های قدرت مدرن ایفا می‌کند [۱]. این موضوع در حالی است که به‌کارگیری تخمین حالت جهت ایجاد اطلاعات قابل‌اطمینان و دقیق از وضعیت سیستم از طریق پردازش اندازه‌گیری‌ها از اساسی‌ترین بخش‌های EMS است. تخمین‌گرهای حالت، دامنه ولتاژ و زوایای فاز تمامی باس‌ها را با حداقل‌کردن یک معیار که عموماً معیار حداقل مربعات یا معیار حداقل مقدار مطلق است[۳-۲]، تخمین می‌زنند. تخمین‌گر حالت بر اساس مقادیر اندازه‌گیری‌شده از سیستم و همچنین اطلاعات وضعیت کلیدهای موجود در پست‌ها عمل می‌کند. اندازه‌گیری‌های انجام‌گرفته از سیستم قدرت نشانگر "داده‌های سیستم" بوده و شامل اندازه‌گیری‌های ولتاژ، توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی به باس‌ها و همچنین توان‌های اکتیو و راکتیو جاری در خطوط می‌باشند. از طرف دیگر، وضعیت قطع یا وصل کلیدها ساختار شبکه را تعیین می‌کند. در حقیقت می‌توان گفت که تخمین حالت مانند یک فیلتر بین اطلاعات ناقص و یا دارای خطای دریافتی از سیستم قدرت و سایر برنامه‌های تحلیل سیستم قدرت که به اطلاعات معتبر و قابل‌اطمینان نیاز دارند، عمل می‌کند [۵-۴].

مفهوم تخمین حالت در سیستم‌های قدرت توسط Schweppe در سال ۱۹۷۰ معرفی شد [۸-۶]. در طول این سال‌ها روش‌های جدیدی برای حل این مسئله بهینه‌سازی غیرخطی پیشنهاد شده است که روش WLS به دلیل مزایای بسیار زیاد آن نسبت به سایر روش‌ها کاربرد بیش‌تری دارد [۹]. مقاله [۱۰] به مقایسه عملکرد دو تابع هدف حداقل مربعات وزن‌دارشده و حداقل قدرمطلق وزن‌دارشده به‌منظور تخمین حالت در سیستم‌های قدرت پرداخته و نتایج آن مزایای بسیار زیاد WLS را نشان می‌دهد.

تخمین حالت در شبکه برق ایران برای قسمتی از شبکه انتقال فارس و با استفاده از شبکه‌های عصبی انجام شده است [۱۱]. در مقاله مذکور، وضعیت کلیدها در نظر گرفته نشده است و نتایج به‌صورت offline و فقط برای یک لحظه خاص به‌دست آمده‌اند. امروزه در شبکه‌های قدرت به دلایل مختلف ازجمله خطی‌سازی معادلات تخمین حالت و ساده‌سازی سیستم حفاظت از واحدهای اندازه‌گیری فازوری[۵] (PMU) استفاده می‌شود. در بهینه‌سازی تعداد و مکان این تجهیزات عواملی همچون ساختار شبکه، خروج خطوط، پست‌های کلیدزنی و نحوه توسعه شبکه تاثیرگذار می‌باشند اما حتی با به‌کارگیری PMUها نیز نیاز به تخمین حالت جهت پالایش مقادیر اندازه‌گیری وجود دارد [۱۲]. از طرفی دیگر، تخمین حالت در سیستم‌های قدرت با درنظرگرفتن سیستم‌های انتقال انرژی انعطاف‌پذیر[۶] (FACTS) نیز انجام شده است که می‌توان علاوه بر تخمین متغیرهای حالت سیستم قدرت، متغیرهای کنترلی این ادوات را نیز تخمین زد [۱۳] و [۱۴].

به‌طورکلی، مهم‌ترین مزایای به‌کارگیری برنامه تخمین حالت در سیستم‌های قدرت را می‌توان به ترتیب زیر نام برد:

۱. توانایی در آشکارسازی و تشخیص اندازه‌گیری‌های نامناسب،
۲. تخمین کمیت‌هایی که اندازه‌گیری نشده‌اند،
۳. عدم محدودیت به تعداد، ترتیب و ترکیب خاصی از اندازه‌گیری‌ها. این موضوع مزیت ویژه‌ای برای تخمین حالت در مقایسه با تحلیل‌هایی مانند پخش توان است که حتی اگر یکی از داده‌های موردنیاز در دسترسی نباشد، قادر به یافتن پاسخ معادله‌های مربوطه نیستند،
۴. عدم اختلال در محاسبات تخمین حالت حتی با از دست دادن تعدادی از اندازه‌گیری‌ها. این امر به دلیل زیادتربودن قابل‌توجه تعداد اندازه‌گیری‌ها نسبت به تعداد حالت‌ها در سیستم‌های قدرت مشاهده‌پذیر است،
۵. کاهش تاثیر دستگاه‌های با دقت کم در محاسبات تخمین حالت و بالعکس،
۶. ایجاد دقت کلی بیش‌تر در تعیین کمیت‌های تخمین زده‌شده (دامنه ولتاژ باس‌ها) حتی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده،
۷. ایجاد مقادیر تخمین زده‌شده با دقت و قابلیت اطمینان زیاد برای سایر تحلیل‌های سیستم قدرت. به‌این‌ترتیب ورودی بسیاری از برنامه‌های تحلیل سیستم قدرت از خروجی برنامه تخمین حالت حاصل می‌شود.

در این مقاله، نتایج حاصل از تهیه و به‌کارگیری برنامه تخمین حالت و همچنین برنامه‌های ورود و خروج اطلاعات موردنیاز در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب کشور ارائه شده است. برنامه تخمین حالت در محیط نرم‌افزار MATLAB نوشته شده است. ماژولی جهت تبدیل اطلاعات اندازه‌گیری‌ها و کلیدزنی‌ها در محیط C++ به فایل‌های با فرمت m.* تهیه شده است که می‌تواند اطلاعات مذکور را در اختیار نرم‌افزار تخمین حالت قرار دهد. نرم‌افزار مذکور می‌تواند آخرین وضعیت باز و بسته‌بودن تمامی کلیدهای پست‌های تحت پوشش شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان را در هر بار اجرای برنامه تخمین حالت تعیین نموده و به‌این‌ترتیب آخرین ساختار شبکه در اختیار برنامه تخمین حالت قرار می‌گیرد. حتی این امکان برای کارشناسان مرکز فراهم شده است که بتوانند قبل از اجرای برنامه تخمین حالت، اثر ورود و خروج خطوط انتقال به برنامه را بررسی نمایند.

برای خروجی برنامه تخمین حالت دو انتخاب برای کارشناسان مرکز دیسپاچینگ در نظر گرفته شده است. در انتخاب اول، خروجی موردنظر به‌صورت یک سیستم مانیتورینگ اختصاصی و با استفاده از محیط Bitmap و بدون نیاز به سایر نرم‌افزارها به‌سادگی و سریع می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در انتخاب دوم، خروجی برنامه تخمین حالت در محیط MATLAB با استفاده از یک برنامه اسکریپت ویژه به برنامه DIgSILENT وارد شده تا با استفاده از

امکانات نرم‌افزار DIgSILENT نسبت به نمایش نتایج و در صورت نیاز انجام سایر محاسبات شبکه اقدام شود.

مهم‌ترین مزیت فنی تهیه و به‌کارگیری برنامه تخمین حالت، تخمین دامنه ولتاژ و زوایای فاز تمام ۷۵ پست ۱۳۲/۲۰ کیلوولت و هم‌چنین محاسبه توان‌های اکتیو و راکتیو خطوط منتهی به پست‌های مذکور در شبکه برق منطقه‌ای آذربایجان توسط اندازه‌گیری‌های انجام‌شده فقط در ۲۹ پست است. علاوه بر آن، امکان استفاده از مزایای تخمین حالت در شبکه‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت برق منطقه‌ای آذربایجان فراهم شده است. از نظر اقتصادی می‌توان گفت که با توجه به عدم وجود ظرفیت کانال‌های دریافت اطلاعات مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب کشور و هم‌چنین عدم وجود واحدهای دورسنجی[۷] (RTU) در بسیاری از پست‌های منطقه، انجام پروژه حاضر می‌تواند در کاهش تعداد دستگاه‌های دورسنجی و سیستم‌های مخابراتی در پست‌ها موثر بوده و یا به‌عنوان پشتیبان اطلاعات مرکز دیسپاچینگ به‌کاررفته و نیاز به توسعه کانال‌های ارتباطی مرکز دیسپاچینگ را نیز مرتفع نماید.

در نرم‌افزار تخمین حالت تهیه‌شده، مشکلات ورود دستی اطلاعات نیز رفع شده است. درواقع اطلاعات واصله توسط مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب کشور به‌صورت اتوماتیک وارد نرم‌افزار تخمین حالت شده و پس از انجام محاسبات تخمین حالت، تخمین کمیت‌های الکتریکی برای کل شبکه شمال‌غرب کشور بر روی صفحه مانیتور نمایش داده می‌شود. لازم به ذکر است که معیار تشخیص صحت تخمین زده‌شده همان مقادیر نشان داده‌شده توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری موجود در پست‌ها است.

۲- تخمین حالت WLS در سیستم‌های قدرت

مسئله تخمین حالت WLS می‌تواند به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی به‌صورت زیر فرموله شود:

$$\begin{aligned} &Minimize && J(x)=\sum_{i=1}^{m} W_{ii} e_i^{\,2} \\ &Subject\ to && Z_i = h_i(x) + e_i \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن داریم:

m: تعداد کل اندازه‌گیری‌ها،

Z_i: اندازه‌گیری iام در بردار اندازه‌گیری،

$h_i(x)$: تابع غیرخطی متناظر با کمیت اندازه‌گیری‌شده iام وابسته به متغیرهای حالت x،

e_i: خطای اندازه‌گیری iام،

$\mathbf{W}$: ماتریس وزنی که به‌صورت عکس ماتریس کوواریانس خطاهای اندازه‌گیری $\mathbf{R}$ است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathbf{W}=\mathbf{R}^{-1}=diag\left\{\frac{1}{\sigma_1^2},\frac{1}{\sigma_2^2},...,\frac{1}{\sigma_m^2}\right\} \qquad (۲)$$

بهترین تخمین متغیرهای حالت، مقادیری هستند که به‌ازای آن‌ها تابع هدف تعریف‌شده در معادله (۱) حداقل شود. برای حداقل‌کردن تابع هدف باید مقادیر تخمینی در معادله زیر صدق کند:

$$g(x)=\frac{\partial J(x)}{\partial x}=-H^T(x)\cdot R^{-1}\cdot\left[Z-h(x)\right]=0 \qquad (۳)$$

که در آن $H(x)=\dfrac{\partial h(x)}{\partial x}$ ماتریس ژاکوبین نامیده می‌شود.

معادله غیرخطی (۳) می‌تواند با استفاده از روش تکراری نیوتن به‌صورت زیر حل شود:

$$x^{k+1}=x^k-\left[G(x^k)\right]^{-1}g(x^k) \qquad (۴)$$

که در آن k شاخص تکرار بوده و داریم:

$$G(x^k)=\frac{\partial g(x^k)}{\partial x}=H^T(x^k)R^{-1}H(x^k) \qquad (۵)$$

$$g(x^k)=-H^T(x^k)R^{-1}\left[Z-h(x^k)\right] \qquad (۶)$$

که در آن $G(x)$ ماتریس بهره نامیده می‌شود.

تخمین حالت با حل تکراری مجموعه معادلات (۴) به جواب می‌رسد. هم‌چنین، تکرار با یک حدس اولیه که اساساً حدس تخت است، شروع می‌شود.

۳- مراحل اجرای تخمین حالت در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب ایران

مرکز دیسپاچینگ منطقه‌ای شمال‌غرب ایران در نیروگاه حرارتی شهر تبریز واقع است. این مرکز، وظیفه کنترل شبکه انتقال و فوق توزیع شمال‌غرب کشور را در سطوح ولتاژ ۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت بر عهده دارد. این شبکه به لحاظ جغرافیایی با پنج شبکه برون‌مرزی آذربایجان، نخجوان، ارمنستان، ترکیه و عراق تبادل انرژی دارد. هم‌چنین ارتباط با شبکه برق سرتاسری آن از طریق استان‌های گیلان، زنجان و غرب است. اهمیت اطلاعات و میزان صحت آن‌ها در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب ایران، نقش مهمی در کنترل و نگهداری شبکه تحت پوشش دارد.

قبل از اجرای پروژه تخمین حالت در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب، اطلاعات تمامی پست‌های ۴۰۰/۲۳۰، ۲۳۰/۱۳۲ و ۲۳۰/۶۳ کیلوولت به‌طور کامل اندازه‌گیری شده و به مرکز مذکور ارسال می‌شدند. این در حالی بود که از بین ۷۵ پست ۱۳۲/۲۰ کیلوولت برق منطقه‌ای آذربایجان تا آبان ماه ۱۳۹۱ صرفاً دامنه ولتاژ، توان اکتیو و توان راکتیو خطوط منتهی به پست (و یا توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی) ۲۹ پست به مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب ارسال می‌شدند. اطلاعات اندازه‌گیری‌های ارسالی به مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب کشور به فرمت Excel تبدیل شده و سپس به‌صورت Offline و دستی به‌عنوان اطلاعات ورودی نرم‌افزار DIgSILENT (و یا سایر برنامه‌های تحلیل شبکه مانند SABA) مورد استفاده قرار

می‌گرفتند. هم‌چنین اطلاعاتی که به مرکز دیسپاچینگ ارسال نمی‌گردیدند، به‌صورت گزارش از پست‌ها اخذ می‌شد. با به‌کارگیری برنامه تخمین حالت، علاوه بر مزایای ذاتی آن (که در بخش مقدمه به اهم موارد آن اشاره شد)، دیگر نیاز به اخذ اطلاعاتی که به مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب به‌صورت گزارش از پست‌ها ارسال می‌گردید، نبوده و امکان تخمین دامنه ولتاژ و زوایای فاز تمامی پست‌ها فقط با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری‌های موجود در مرکز دیسپاچینگ فراهم می‌شود. از طرف دیگر، نیازی به ورود اطلاعات به‌صورت دستی نیز وجود ندارد. ضمناً با استفاده از تخمین حالت نه فقط امکان تشخیص اندازه‌گیری‌های اشتباه و یا دارای خطای زیاد به وجود آمده است بلکه نتایج حاصل از آن با توجه به معادلات بخش ۲ مقاله، در مجموع دقیق‌تر از نتایج اندازه‌گیری‌های واقعی انجام‌شده توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری نیز خواهد بود.

نرم‌افزار تخمین حالت، امکان تصحیح مدل خطوط را نیز فراهم آورده است. در واقع پس از تخمین دامنه و زاویه فاز پست‌ها، امکان محاسبه توان‌های اکتیو و راکتیو جاری در خطوط فراهم آمده و درصورتی‌که تفاوت قابل‌توجهی بین مقادیر محاسبه‌شده توان اکتیو و راکتیو جاری در خطوط با توان‌های اندازه‌گیری‌شده توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری با دقت زیاد وجود داشته باشد، احتمال خطا در مدل‌سازی پارامترهای خط انتقال وجود داشته و لذا می‌توان نسبت به اصلاح مدل خط انتقال اقدام نمود. این موضوع اهمیت ویژه‌ای در دقت نرم‌افزارهای تحلیل سیستم قدرت و هم‌چنین تنظیمات سیستم‌های حفاظتی دارد.

بایستی به این نکته اشاره کرد که در شبیه‌سازی‌ها از مدل π برای خطوط انتقال که شامل امپدانس سری و ادمیتانس موازی است، استفاده شده است. از طرفی دیگر، ترانسفورماتورها نیز توسط راکتانس نشتی خودشان مدل شده‌اند. توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی توسط ژنراتورها نیز به‌عنوان اندازه‌گیری به مجموعه اندازه‌گیری افزوده شده‌اند.

تخمین حالت کلی برای تمامی پست‌های ۲۳۰/۱۳۲ و ۱۳۲/۲۰ کیلوولت تحت پوشش شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان و با استفاده مدل شبکه در مقیاس پریونیت به‌صورت یکپارچه انجام شده است. توان تمامی خطوط ارتباطی با مناطق و کشورهای مجاور در هر بار اجرای برنامه تخمین حالت به‌عنوان بار در نظر گرفته شده‌اند. مراحل اجرای پروژه تخمین حالت را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱. تهیه و تکمیل نرم‌افزار تخمین حالت در محیط MATLAB و امتحان آن بر روی شبکه‌های آزمون استاندارد IEEE و مقایسه نتایج حاصل با مقالات منتشرشده. این بخش به‌منظور اطمینان از صحت عملکرد نرم‌افزار تخمین حالت انجام گرفته است. تخمین حالت بر روی شبکه‌های آزمون استاندارد ۱۴ و ۱۱۸ باسه IEEE انجام گرفته و نتایج قابل‌قبول ازنظر همگرایی و دقت حاصل شده است. (ارائه نتایج این بخش خارج از محدوده صفحات این مقاله بود.)
۲. اخذ اطلاعات شبکه برق منطقه‌ای شمال‌غرب شامل مشخصات الکتریکی خطوط، ساختار شبکه و کلیدهای موجود در پست‌ها جهت ایجاد بانک‌های اطلاعاتی موردنیاز در مراحل بعدی.
۳. ایجاد مدل تک‌خطی شبکه برق منطقه‌ای شمال‌غرب و به‌کارگیری برنامه تخمین حالت تهیه‌شده در مرحله یک. درواقع در این مرحله، اطلاعات شبکه برق منطقه‌ای شمال‌غرب جایگزین اطلاعات شبکه‌های آزمون استاندارد IEEE شده است. به‌عنوان پیش‌فرض، نیروگاه سیکل ترکیبی ارومیه به‌عنوان باس مرجع در نظر گرفته شده است. توان مبنا ۱۰۰ مگاولت‌آمپر و ولتاژ مبنا در شبکه ۱۳۲ و ۲۳۰ کیلوولت به ترتیب ۱۳۲ و ۲۳۰ کیلوولت در نظر گرفته شده است.
۴. ایجاد ارتباط بین برنامه تخمین حالت و نرم‌افزارهای موجود در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب. این بخش به‌منظور ایجاد امکان ورود اطلاعات "مقادیر اندازه‌گیری‌شده از شبکه" و هم‌چنین "وضعیت قطع یا وصل کلیدهای شبکه" به برنامه تخمین حالت ایجاد شد. توضیحات تکمیلی در بخش ۴ مقاله تحت عنوان " نحوه ورود اطلاعات به برنامه تخمین حالت" آمده است.
۵. ایجاد رابط گرافیکی جهت نمایش مقادیر محاسبه‌شده توسط برنامه تخمین حالت. توضیحات تکمیلی در بخش ۵ مقاله تحت عنوان " نحوه خروج اطلاعات از برنامه تخمین حالت" آمده است.

مجموعه اندازه‌گیری مورداستفاده برنامه تخمین حالت (مرحله سوم فوق‌الذکر)، شامل ۴۵ اندازه‌گیری ولتاژ، ۴۵ جفت اندازه‌گیری توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی به باس‌ها و ۱۶۹ جفت اندازه‌گیری توان‌های اکتیو و راکتیو جاری بین خطوط بوده است. پس می‌توان گفت که در این حالت بردار $h_i(x)$ که اندازه‌گیری‌ها را به متغیرهای حالت مرتبط می‌کند، یک بردار با دیمانسیون ۱×۴۶۵ است.

با اجرای تخمین حالت کلی شبکه برق آذربایجان، بهترین متغیرهای حالت در تمامی پست‌ها با اندازه‌گیری‌های موجود به دست می‌آید که نتایج تعدادی از دامنه‌های ولتاژ و زوایای فاز تخمینی برای پست‌های ۲۳۰/۱۳۲ و ۱۳۲/۲۰ کیلوولت در جدول (۱) لیست شده‌اند. برای ایجاد امکان مقایسه، مقادیر اندازه‌گیری‌شده توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری و مقادیر حاصل از پخش بار نیز در جدول (۱) نشان داده شده است. این مقادیر فقط برای یک لحظه خاص از عملکرد شبکه بوده و لازم است برای هر زمان موردنظر دیگر، محاسبات با توجه به مقادیر اندازه‌گیری و وضعیت قطع و وصل کلیدها تکرار شود.

با توجه به تخمین دامنه و زاویه فاز تمام پست‌های شبکه برق منطقه‌ای آذربایجان، می‌توان توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی به باس‌ها را با استفاده از روابط (۷) و (۸) و توان‌های اکتیو و راکتیو جاری بین خطوط را با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) به‌دست آورد.

جدول (۱): مقادیر تخمینی، اندازه‌گیری و حاصل از پخش بار دامنه ولتاژها (کیلوولت) و زوایای فاز (درجه) در تعدادی از پست‌ها

پست‌های ۱۳۲/۲۰ کیلوولت					پست‌های ۲۳۰/۱۳۲ کیلوولت				
دامنه ولتاژ (Meas[1])	دامنه ولتاژ (LF[1])	زاویه فاز (SE[1])	دامنه ولتاژ (SE[1])	نام پست	دامنه ولتاژ (Meas[1])	دامنه ولتاژ (LF[1])	زاویه فاز (SE[1])	دامنه ولتاژ (SE[1])	نام پست
۱۳۲/۰۰	۱۲۹/۶۱۰	-۲/۹۷۴	۱۳۱/۶۵۹	مهاباد ۲	۲۳۲/۳۰	۲۳۲/۹۸۱	۰	۲۳۴/۱۲۴	سیکل ارومیه
۱۳۵/۴۰	۱۳۱/۹۷۶	-۰/۹۰	۱۳۲/۸۸۵	کندوان	۲۳۰/۴۰	۲۲۸/۱۵۲	۴/۰۹۸	۲۲۹/۶۴۴	سونگون
۱۳۲/۰۰	۱۳۲/۱۰۶	-۲/۷۲۵	۱۳۱/۳۱۰	سیکل خوی	۲۳۴/۸۰	۲۲۵/۲۴۱	-۰/۶۵۸	۲۳۳/۰۶۶	مهاباد ۲
۱۳۱/۵۰	۱۳۰/۲۸۸	-۱/۳۳۴	۱۳۱/۲۱۲	ستارخان	۲۳۴/۰۰	۲۲۹/۴۰۹	۱/۰۷۷	۲۳۵/۲۳۱	کندوان
۱۲۸/۷۰	۱۳۱/۹۵۲	۰/۰۸۲	۱۳۱/۵۷۲	نیروگاه سهند	۲۳۴/۲۰	۲۲۵/۳۶۵	-۰/۰۶۹	۲۳۲/۷۹۷	سیکل خوی
۱۲۶/۶۰	۱۲۸/۶۳۵	-۵/۰۸۰	۱۲۴/۸۳۳	جلفا	۲۳۰/۳۰	۲۳۰/۴۰۲	-۰/۹۷۴	۲۳۱/۴۵۳	سیکل سبلان
۱۳۳/۴۰	۱۳۰/۲۰۶	-۳/۲۸۳	۱۳۱/۰۰۴	میاندوآب ۲	۲۳۰/۸۰	۲۲۹/۳۱۰	-۱/۳۷۳	۲۳۱/۲۷۴	نمین
۱۳۳/۸۰	۱۳۲/۲۵۶۵	-۳/۳۰۹	۱۳۱/۲۳۸	ارومیه ۲	۲۳۵/۹۰	۲۲۹/۷۹۹	۳/۰۴۱	۲۳۶/۶۰۶	نیروگاه سهند
۱۳۲/۹۰	۱۳۰/۰۷۴	-۰/۷۲۴	۱۳۱/۱۰۰	شفا	۲۳۲/۳۰	۲۲۹/۴۶۵	۱/۰۹۸	۲۳۴/۳۴۶	تبریز
۱۳۵/۰۰	۱۳۱/۵۱۸	-۱/۵۲۸	۱۳۳/۴۴۴	آذر	۲۲۷/۹۰	۲۲۶/۲۱۱۴	-۲/۵۵۴	۲۲۹/۱۱۱	تیکمه‌داش

[1]SE: State Estimation; LF: Load Flow; Meas: Measurement.

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^{N} |V_j| \cdot \left[G_{i-j} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{i-j} \sin(\theta_i - \theta_j) \right] \quad (۷)$$

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^{N} |V_j| \cdot \left[G_{i-j} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{i-j} \cos(\theta_i - \theta_j) \right] \quad (۸)$$

$$P_{i-j} = |V_i||V_j| \left[G_{i-j} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{i-j} \sin(\theta_i - \theta_j) \right] - G_{i-j} |V_i|^2 \quad (۹)$$

$$Q_{i-j} = |V_i||V_j| \left[G_{i-j} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{i-j} \cos(\theta_i - \theta_j) \right] - (bc_{i-j}^{shunt} + B_{i-j}) |V_i|^2 \quad (۱۰)$$

در روابط فوق داریم:

P_i: توان اکتیو تزریقی به پست iام،

Q_i: توان راکتیو تزریقی به پست iام،

P_{i-j}: توان اکتیو جاری از پست i به j،

Q_{i-j}: توان راکتیو جاری از پست i به j،

V_i: اندازه ولتاژ پست iام،

V_j: اندازه ولتاژ پست j ام،

θ_i: زاویه فاز ولتاژ پست iام،

θ_i: زاویه فاز ولتاژ پست iام،

G_{i-j}: هدایت سری خط انتقال بین پست i و j،

B_{i-j}: سوسپتانس سری خط انتقال بین پست i و j،

bc_{i-j}^{shunt}: نصف سوسپتانس موازی مدار معادل π خط انتقال بین پست i و j،

جدول (۲): مقادیر تخمینی، اندازه‌گیری و حاصل از پخش بار برای توان‌های اکتیو (MW) و راکتیو (MVAR) جاری در بین تعدادی از خطوط

مقدار اندازه‌گیری	مقدار پخش بار	مقدار تخمینی	پست انتها (j)	پست ابتدا (i)	پارامتر	سطح ولتاژ (کیلوولت)
۵۰/۸۰	۵۲/۰۵۲	۵۱/۵۲۲	ارومیه ۲	سیکل ارومیه	P_{i-j}	۲۳۰
۲۴/۰۰	۱۲/۸۸	۲۲/۹۲	ارومیه ۲	سیکل ارومیه	Q_{i-j}	۲۳۰
۱۲/۲۰	-۲/۷۶	۱۱/۸۵	کندوان	تبریز	P_{i-j}	۲۳۰
۸/۷۰	۶/۲۲	۱۰/۴۱	کندوان	تبریز	Q_{i-j}	۲۳۰
-۳۹/۷۰	-۳۵/۴۲	-۳۹/۷۴	نیمه سیار اسکو	خسروشهر	P_{i-j}	۱۳۲
-۱۳/۱۲	-۱۰/۷۰	-۱۲/۳۰	نیمه سیار اسکو	خسروشهر	Q_{i-j}	۱۳۲
۱۲/۲۰	۶/۳۶	۱۱/۷۱	مهاباد ۱	کندوان	P_{i-j}	۱۳۲
۱۰/۲۰	۱۱/۰۲	۱۰/۶۶	مهاباد ۱	کندوان	Q_{i-j}	۱۳۲

جدول (۲) تعدادی از مقادیر توان‌های اکتیو و راکتیو جاری بین خطوط را در سه حالت تخمینی، پخش بار و اندازه‌گیری‌شده در سطوح ولتاژ ۱۳۲ و ۲۳۰ کیلوولت نشان می‌دهد. به‌منظور مقایسه و ارزیابی عددی، از معیارهای خطای تعریف‌شده در معادلات (۱۱) و (۱۲) که بر مبنای مجذور مجموع مربعات خطای کمیت‌های مختلف است، استفاده شده است.

$$TMSE_X_{(LF_Me)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{nx}\left[X_{LF}(i) - X_{Me}(i)\right]^2} \qquad (۱۱)$$

$$TMSE_X_{(SE_Me)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{nx}\left[X_{SE}(i) - X_{Me}(i)\right]^2} \qquad (۱۲)$$

معادلات (۱۱) و (۱۲) به ترتیب مجذور مجموع مربعات اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده با مقادیر حاصله از پخش بار و مقادیر حاصله از تخمین حالت را نشان می‌دهند.

معادلات بالا را می‌توان برای کمیت X که شامل اندازه‌گیری‌های سیستم (دامنه ولتاژ پست‌ها، توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی به پست‌ها و توان‌های اکتیو و راکتیو جاری بین خطوط) است، تعریف نمود. در این معادلات nx نیز تعداد کمیت‌های متناظر با اندازه‌گیری‌های تعریف‌شده در بردار اندازه‌گیری و کمیت X است.

در سیستم برق منطقه‌ای آذربایجان، پارامتر nx برای دامنه ولتاژ برابر ۴۵ (۲۲ اندازه‌گیری ولتاژ در پست‌های ۲۳۰ کیلوولت و ۲۳ اندازه‌گیری ولتاژ در پست‌های ۱۳۲ کیلوولت) و برای توان‌های جاری بین خطوط برابر ۱۶۹ است. جدول (۳) مقادیر معیارهای خطای تعریف‌شده را برای سیستم برق منطقه‌ای آذربایجان نشان می‌دهد. این مقادیر برای یک لحظه زمانی خاص و بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده و وضعیت کلیدها در زمان متناظر بوده و مقادیر آن برای سایر زمان‌ها می‌تواند تغییر یابد. مقادیر جدول (۳) نشانگر نزدیکی قابل‌توجه مقادیر تخمینی در مقایسه با مقادیر حاصل از پخش بار به مقادیر اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است که مطابق مبانی ریاضی روش تخمین حالت، مقادیر حاصل از تخمین حالت برای سایر محاسبات سیستم قدرت به کار می‌رود، زیرا دقت مقادیر مذکور درمجموع بیش‌تر از مقادیر اندازه‌گیری است.

جدول (۳): مقادیر معیارهای خطا در سیستم برق منطقه‌ای آذربایجان

معیار خطا	$X = \lvert V \rvert$		$X = P_{i-j}$	
	(LF_Me)	(SE_Me)	(LF_Me)	(SE_Me)
مقدار عددی	۰/۱۱۹۲	۰/۰۹۶۱	۲/۰۹۴۲	۱/۱۰۳۵

۴- نحوه ورود اطلاعات به برنامه تخمین حالت

همان‌طوری که در بخش ۳ مقاله ذکر شد، اطلاعات اندازه‌گیری به‌صورت ناقص در مرکز دیسپاچینگ موجود است. این در حالی است که جهت انجام انواع تحلیل‌های شبکه باید ساختار شبکه نیز به‌عنوان اطلاعات ورودی موجود باشد. قبل از اجرای پروژه تخمین حالت، اطلاعات ساختار شبکه انتقال و بخشی از شبکه فوق توزیع به‌صورت دستی و با توجه به گزارش‌ها دیسپاچینگ توسط کارشناسان مرکز مذکور و با صرف زمان قابل‌توجه استخراج می‌گردید. در راستای اجرای پروژه تخمین حالت، دو نرم‌افزار ویژه جهت ورود "اطلاعات اندازه‌گیری" و هم‌چنین "وضعیت قطع و وصل کلیدها" به برنامه تخمین حالت تهیه شد که در ادامه به‌ترتیب توضیحاتی در مورد هرکدام از نرم‌افزارهای مذکور داده شده است.

۴-۱- نرم‌افزار ورود اطلاعات اندازه‌گیری

شکل (۱) چند سطر نمونه از فایل موجود در مرکز دیسپاچینگ را که شامل اطلاعات اندازه‌گیری‌شده از شبکه در یک لحظه موردنظر می‌باشد، نشان می‌دهد. این فایل به‌صورت یک رشته بلند از اطلاعات متنی (TXT.) است. این فایل هر یک از اجزا شامل ژنراتور، ترانسفورماتور، خطوط، پست‌ها را به‌صورت کد سیستمی آن‌ها نمایش می‌دهد.

به‌عنوان‌مثال، در شکل (۱) علائم و مقادیر زیر در مورد یکی از پست‌های شبکه از دستگاه‌های اندازه‌گیری در مرکز دیسپاچینگ دریافت شده است:

515: کد پست،
BkV81: پست 81 (عدد 81 نشانگر یک پست با سطح ولتاژ 230 کیلوولت است.)،
232.3: ولتاژ اندازه‌گیری‌شده در پست 81 که مساوی 232.3 کیلوولت است،
BkV82: پست 82،
231.3: ولتاژ اندازه‌گیری‌شده در پست 82 که مساوی 231.3 کیلوولت است،
G11: ژنراتور شماره 11،
0.1-: قدرت اکتیو تولیدی G11 برحسب مگاوات (در این حالت تقریباً صفر است.)،
0.0: قدرت راکتیو تولیدی G11 برحسب مگاوار.
توضیح معانی سایر علائم خارج از حوصله مقاله است.

باید توجه داشت که درصورتی‌که اطلاعاتی از پست یا خطوط انتقال به مرکز دیسپاچینگ ارسال نشود، مقدار صفر در فایل فوق برای آن جایگزین می‌شود اما لازم است بین مقدار مذکور و اندازه صفر یک کمیت الکتریکی تفاوت قائل شد. برنامه‌ای در محیط C++ تهیه گردید که می‌تواند اطلاعات فایل TXT. مذکور را به فایلی به نام Linedata.m تبدیل کند. فایل مذکور توسط نرم‌افزار تخمین حالت به‌راحتی قابل استفاده است. فایل Linedata.m دارای شش زیرمجموعه شامل اطلاعات زیر است:

```
!515 BKV81 232.3  BKV82 231.3  G11   -0.1     0.0  G12   -0.3     0.3  G13   58.9     26.3       !
!G14   54.9     26.3  T11    0.0     0.0  T12    0.0     0.0  T13  -60.8    -22.0              !
!T14  -56.0    -22.8  L801   50.8    24.0  L802   50.8    22.0  L838   20.0     -2.0          !
!L839   -4.8    -12.0  G15    0.1     0.8  G16   44.8    -4.2  L808   -6.0     -8.8          !
!L836   36.8     14.0  T15    0.0     0.0  T16  -42.8     6.0                                  !
```

شکل (۱): چند سطر نمونه از فایل متنی موجود در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب شامل اطلاعات اندازه‌گیری

۱- اطلاعات اندازه‌گیری ولتاژ پست‌ها، ۲- اطلاعات اندازه‌گیری توان اکتیو تزریقی به پست‌ها، ۳- اطلاعات اندازه‌گیری توان راکتیو تزریقی به پست‌ها، ۴- اطلاعات اندازه‌گیری توان اکتیو جاریخطوط، ۵- اطلاعات اندازه‌گیری توان راکتیو جاری در خطوط، ۶- اطلاعات مگاوار خازن‌های موازی نصب‌شده در پست‌ها.

به‌عنوان‌مثال، جدول (۴) قسمتی از فایل اطلاعات اندازه‌گیری توان اکتیو تزریقی به پست‌ها با نام (ZIPINJ) را نشان می‌دهد. ستون‌های اطلاعات این فایل در هر سطر از چپ به راست نشانگر اطلاعات زیر هستند: ستون سمت چپ نشانگر اندازه‌گیر توان اکتیو (که عدد ۲ برای آن در نظر گرفته شده است)، ستون‌های بعدی به ترتیب شماره پست و مقدار اندازه‌گیری‌شده توان اکتیو تزریقی به پست برحسب پریونیت را نشان می‌دهند.

جدول (۴): قسمتی از فایل‌های اطلاعات اندازه‌گیری از سیستم قدرت حاوی توان اکتیو تزریقی به پست‌ها

۲	۱	۱/۱۶۸
۲	۲	۰/۷۰۹
۲	۵	۰/۷۱۴
۲	۶	۰/۶۲۸

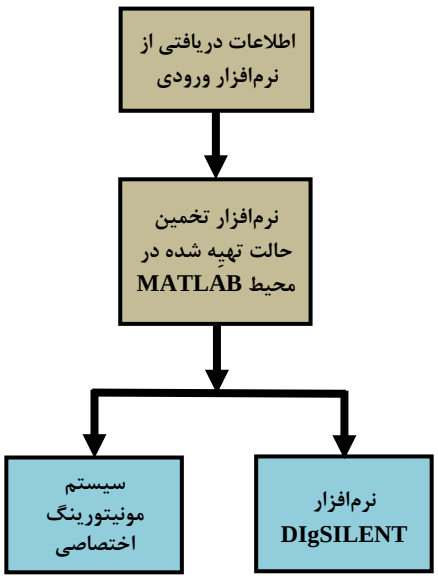
۴-۲- نرم‌افزار ورود اطلاعات وضعیت کلیدها

در این خصوص یک فایل شامل شماره‌گذاری تمامی کلیدهای موجود در تمامی پست‌ها تهیه شد. یکی از سطرهای نمونه "فایل شماره کلیدهای موجود در هر پست" در جدول (۵) مشاهده می‌شود. جدول (۵) نشان می‌دهد که پست بناب با کد دیسپاچینگ ۵۰۶ دارای ۱۳ کلید در سطح ۱۳۲ کیلوولت است. تمایزی بین سکسیونرها و دژنکتورها وجود ندارد.

نرم‌افزاری در محیط C++ نوشته شد که می‌تواند با توجه به اطلاعات دریافتی از پست‌ها، وضعیت بسته یا باز بودن کلیدهای پست را نشان دهد. یکی از سطرهای خروجی نرم‌افزار مذکور در جدول (۶) نشان داده شده است. این سطر از سمت چپ به راست به ترتیب نشانگر شماره پست و تعدادی از علائم C یا T است. علامت C نشانگر بسته بودن و علامت T نشانگر باز بودن کلید مربوطه است. این فایل که "فایل وضعیت کلیدزنی" نام‌گذاری شده است از چپ به راست متناظر به فایل شماره‌گذاری کلیدهای پست‌ها است. به‌عنوان‌مثال مقایسه مقادیر جدول (۵) و جدول (۶) نشان می‌دهند که کلید ۷۳۷۱ بسته و کلید ۷۳۷۵ باز است. مقادیر خروجی "فایل وضعیت کلیدزنی" در هر بار اجرای برنامه با استفاده از اطلاعات دریافتی از پست‌ها به صورت خودکار به‌روزرسانی می‌شود. این به‌روزرسانی وضعیت، نیاز به اجرای هم‌زمان با برنامه تخمین حالت ندارد بلکه می‌تواند طوری تنظیم گردد که صرفاً در مواقع کلیدزنی به‌روزرسانی انجام شود.

۵- نحوه خروج اطلاعات از برنامه تخمین حالت

برای خروجی برنامه تخمین حالت دو انتخاب برای کارشناسان مرکز دیسپاچینگ در نظر گرفته شده است. در انتخاب اول، خروجی موردنظر به‌صورت یک سیستم مانیتورینگ اختصاصی و با توجه به نیازمندی‌های برنامه MATLAB در داخل برنامه تعبیه گشته است. در حالت دوم، خروجی برنامه به‌صورت یک فایل قابل ارسال برای نرم‌افزار DIgSILENT تهیه‌شده است. شکل (۲) این موضوع را به‌صورت گرافیکی نشان می‌دهد.



شکل (۲): نمایش گرافیکی انتخاب‌های در دسترس برای کارشناسان مرکز دیسپاچینگ

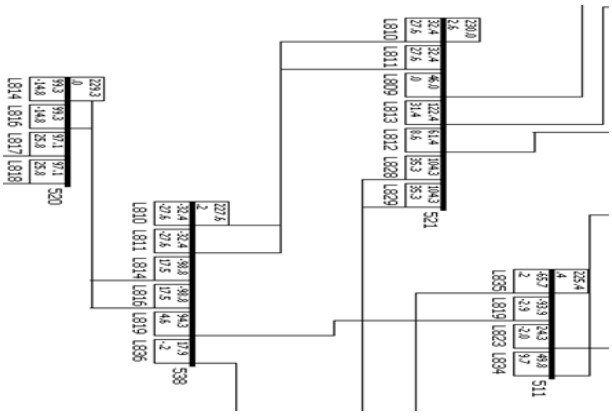
جدول (۵): یکی از سطرهای "فایل شماره‌گذاری کلیدهای پست‌ها"

506 BONAB	7371	7372	7373	7375	7031	7032	7033	7035	7810	7411	7412	7421	7422

جدول (۶): یکی از سطرهای "فایل وضعیت کلیدزنی"

506&	C	C	C	T	C	C	C	T	C	C	C	C	C

خروجی سیستم مانیتورینگ اختصاصی توسط خود برنامه MATLAB و با استفاده از نقشه‌های Bitmap ساخته شده است. شکل (۳) نمونه‌ای از این خروجی را نشان می‌دهد. این شکل قسمتی از شبکه ۱۳۲ کیلوولت را به همراه پست‌های مربوطه نشان می‌دهد. شماره پست در کنار یک خط ضخیم درج شده است. دامنه و زاویه فاز ولتاژ در بالای خط مذکور و به ترتیب در زیر هم درج شده است. دامنه ولتاژ برحسب کیلوولت و زاویه فاز برحسب درجه است. توان‌های اکتیو و راکتیو جاری در خطوط در داخل یک مستطیل و به ترتیب در زیر هم و برحسب مگاوات و مگاوار درج شده است. در هر بار اجرای برنامه، تمامی مقادیر مذکور مجدداً محاسبه شده و به‌روزرسانی گشته و در محل مربوطه نشان داده می‌شوند.



شکل (۳): قسمتی از نمونه نقشه‌های Bitmap ساخته‌شده در خروجی سیستم مونیتورینگ اختصاصی

برای خروجی برنامه تخمین حالت در محیط MATLAB قابلیت اتصال به نرم‌افزار DIgSILENT نیز فراهم شده است. خروجی مذکور به‌صورت یک فایل ارائه شده و با اجرانمودن یک کد در داخل نرم‌افزار DIgSILENT قابل دسترسی است. این کد خود در زبان اسکریپت نوشته شده است. اطلاعات دریافتی توسط این اسکریپت در باکس‌های تعریف‌شده در نرم‌افزار DIgSILENT به نمایش گذاشته می‌شود.

در طی انجام پروژه، علاوه بر نتایج مذکور در بخش‌های قبل، اصلاحات مهمی نیز در اطلاعات موجود در شبکه شمال‌غرب با همکاری کارشناسان محترم مرکز دیسپاچینگ صورت گرفته که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود:

۱. تصحیح فایل‌های مربوط به فلوشیت (الف: درست‌نبودن مقدار بار خطوط در طرفین و در بعضی مواقع جابجایی ارقام تجهیزات در پست‌ها. ب: اشکال در جهت اطلاعات ارسالی به مرکز دیسپاچینگ. ج: عدم همخوانی توان‌های ورودی و خروجی به پست‌ها)
۲. تصحیح خطاهای دستگاه‌های اندازه‌گیری (خطای نامتعارف دستگاه‌های اندازه‌گیری (ترانسفورماتور دیوسر) که همکاران مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب نسبت به تست مجدد آن‌ها اقدام نموده‌اند. به‌عنوان‌مثال می‌توان به پست‌های تقی‌دیزه، نیروگاه تبریز، سبلان، سهند و ... اشاره نمود.)
۳. تهیه فایل واسط
۴. تهیه الگوریتم جستجوی اطلاعات نادرست ورودی
۵. حذف تعدادی از پست‌ها که دارای دستگاه‌های اندازه‌گیری بودند.

۶- نتیجه‌گیری

برای سال‌های متمادی تنها مقادیر حاصل از پخش بار در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب مبنای تحلیل شبکه بوده است. با توجه به کامل نبودن تعداد و ترکیب اندازه‌گیری‌های موردنیاز جهت اجرای پخش‌بار، مقادیر موردنیاز با توجه به گزارش‌های دریافتی از پست‌ها باید تکمیل‌شده و جهت اجرای پخش بار مورداستفاده قرار می‌گرفت. عدم وجود وضعیت باز و بسته بودن کلیدها به‌صورت یک فایل منظم و قابل به‌روزرسانی خودکار نیز ازجمله مشکلات مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب کشور بوده است. با به‌کارگیری برنامه تخمین حالت تهیه‌شده، ازاین‌پس دقت محاسبات به‌طور قابل‌توجهی بیش‌ازپیش خواهد بود.

در طی انجام پروژه دستاوردهای زیر حاصل شده است:

۱. نرم‌افزار تخمین حالت برای اولین بار در کشور جهت تخمین کمیت‌های مجهول یک شبکه واقعی به همراه نرم‌افزارهای ورود و خروج اطلاعات مورداستفاده قرار گرفته و دانش فنی تهیه و به‌کارگیری آن بومی‌سازی شده است.
۲. نتایج تخمین حالت دقت بیش‌تری نسبت به نتایج پخش بار ازنقطه‌نظر نزدیکی به کمیت‌های اندازه‌گیری‌شده توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری با دقت بالا ایجاد نموده است. مقادیر معیارهای خطای تعریف‌شده در مقاله موید موضوع مطرح‌شده است.
۳. در استفاده از تخمین حالت، نتایج تمامی اندازه‌گیری‌های موجود در مرکز دیسپاچینگ مورداستفاده قرار گرفته و به‌این‌ترتیب قابلیت اطمینان بیش‌تری نسبت به پخش‌بار که فقط می‌تواند از ترکیب و تعداد خاصی از اطلاعات اندازه‌گیری استفاده کند، حاصل شده است. این ادعا علاوه بر اینکه از ویژگی‌های ذاتی تخمین حالت است، توسط نتایج به‌دست‌آمده نیز قابل استنتاج است.

۴. امکان استفاده از نرم‌افزار MATLAB به‌جای نرم‌افزار گران و تخصصی DIgSILENT جهت اجرای تخمین حالت حاصل‌شده است. لازم به ذکر است با تهیه dll نرم‌افزار مذکور در استفاده عملی از برنامه نیازی به نصب و به‌کارگیری نرم‌افزار MATLAB نیز وجود ندارد.

۵. مقدمات لازم جهت نوشتن سایر برنامه‌های تحلیل شبکه مانند تحلیل‌های شرایط اضطراری، قابلیت اطمینان، برنامه‌ریزی شبکه در محیط MATLAB فراهم آمده که موجبات سادگی و امکان فراگیرسازی تحلیل‌های شبکه را فراهم آورده است.

۶. در طی اجرای پروژه، تعدادی از اطلاعات مهم موجود در مرکز دیسپاچینگ شمال‌غرب کشور شامل مدل تعدادی از خطوط، دستگاه‌ها و مبدل‌های دارای خطای زیاد و چندین گزارش اشتباه از وضعیت کلیدها شناسایی و اصلاح شده است.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان طی قرارداد پژوهشی شماره ۸۸-۵۲ در دانشگاه تبریز انجام شده است لذا بدین‌وسیله مجریان طرح از تمامی مدیران و متصدیان پروژه مذکور سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] M. C. Almeida, A. V. Garcia and E. N. Asada, "Regularized least squares power system state estimation," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 27, No. 1, pp. 290-297, Feb. 2012.

[2] A. G. Exposito, C. G. Quiles and A. V. Jaen, "Bilinear power system state estimation," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 27, No. 1, pp. 493-501, Feb. 2012.

[3] R. A. Jabr and B. C. Pal, "Iteratively reweighted least squares implementation of the WLAV state estimation method," IEE Proceeding Generation, Transmission and Distribution, Vol. 151, No. 1, pp. 103-108, Jan. 2004.

[4] A. Monticelli, "Electric power system state estimation," Proceeding on the IEEE, Vol. 88, No. 2, pp. 262-282, Feb. 2000.

[5] S. Raghuraman and R. Jegatheesan, "A survey on state estimation techniques in electrical power system," International Conference on Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering (ICONRAEeCE), pp. 199-205, Chennai, India, 2011.

[6] F. C. Schweepe and J. Wildes, "Power system static state estimation, part I: exact model," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, No. 2, pp. 120-125, Jan. 1970.

[7] F. C. Schweepe and D. B. Rom, "Power system static state estimation, part II: approximation model," IEEE Transacdtions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, No. 2, pp. 125-130, Jan. 1970.

[8] F. C. Schweepe, "Power system static state estimation, part III: implementation," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, No. 2, pp. 130-135, Jan. 1970.

[9] A. G. Exposito and A. V. Jaen, "Two-level state estimation with local measurement pre-processing," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 24, No. 2, pp. 676-684, May 2009.

[۱۰] حسامی نقشبندی، علی، خاوری، فرشاد، «**مقایسه دو روش حداقل مربعات وزن‌دارشده و حداقل قدرمطلق وزن‌دارشده به‌منظور بهبود عملکرد تخمین حالت در سیستم‌های قدرت**»، بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۸۹

[۱۱] موسوی، سیدمحسن، پوراحمدی نخلی، میثم، شعبانی‌نیا، فریدون، «**تخمین حالت استاتیکی شبکه انتقال فارس با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی**»، بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۸۹

[۱۲] مهائی، سیدمهدی، طرفدارحق، مهرداد، «**جایابی بهینه واحدهای اندازه‌گیر فازوری در شبکه درحال توسعه آذربایجان**»، بیست و پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۸۹

[۱۳] طرفدارحق، مهرداد، احمدی جیردهی، مهدی، «**تخمین حالت سیستم‌های قدرت شامل UPFC به روش گرادیان مزدوج**»، هفدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه علم و صنعت، جلد دوم، قدرت- سیستم، صفحات ۱۳۲-۱۲۷، ۲۲ الی ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۸.

[14] M. Tarafdar Hagh and M. A. Jirdehi, "A robust method for state estimation of power system with UPFC," Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol. 18, No. 4, pp. 571-582, 2010.

زیرنویس‌ها

1 State Estimation
2 North-West Dispatching Center of Iran
3 Wegithed Least Squares
4 Energy Management System
5 Phasor Measurement Unit
6 Flexible AC Transmission Systems
7 Remote Terminal Unit