



## مروری بر روش‌های تشخیص ایمنی سیستم قدرت

مصطفی عیدانی / موسسه آموزش عالی خراسان / eidiani@khorasan.ac.ir

### چکیده

در این مقاله روش تشخیص ایمنی سیستم قدرت غیرمتمرکز با روش دقیق و تقریبی آورده شده است. تاریخچه مختصری از روش‌های پیش‌بینی بار، پیش‌بینی تولید، بخش بار اقتصادی-فازی، بخش بار احتمالی، روش‌های تعیین پایداری گذرا و پایداری ولتاژ آورده شده است. این روش‌ها دسته‌بندی و اولویت‌بندی شده‌اند. در انتها با سیستم واقعی، ایمنی سیستم قدرت با روش دقیق و تقریبی محاسبه شده است و دقت و سرعت دو روش با هم مقایسه شده‌اند.

**کلمات کلیدی:** رتبه‌بندی پیشامدها، سیستم غیرمتمرکز، منطق فازی، پیش‌بینی بار

## A review of methods for power system security assessment

Mostafa Eidiani/ Khorasan Institute of Higher Education/eidiani@khorasan.ac.ir

### Abstract:

In this paper, the methods of decentralized power system security assessment is presented with an accurate and approximate method. A brief history of load and generation forecasting methods, economic-fuzzy load flow, probabilistic load flow and transient and voltage stability assessment are presented. These methods are categorized and prioritized. In the end, power system security assessment is calculated with a real system and the accuracy and speed of the methods are compared.

**Keywords:** Contingency Ranking, Decentralized Power System, Fuzzy Logic, Load Forecasting

امنیت سیستم، کیفیت انرژی و ... همگی باعث شد سد انحصار طبیعی تولید شکسته شود و تولیدکنندگان کوچک وارد بخش تولید شوند. بهبود مقررات و قوانین باعث شد که به نتایج سودمند زیر برسیم [۱]:

- جلوگیری از اجحاف بین تولیدکنندگان انحصاری
- جلوگیری از هدر رفتن سرمایه‌های ملی
- تامین حداقل نیاز اقشار ضعیف
- کمک به رشد صنایع کشاورزی

### ۱- مقدمه

از قدیم تصور بر آن بود که صنعت برق یک انحصار طبیعی است به این معنی که قابل تبدیل به بازار نمی‌باشد چون اصل اولیه بازار، تعداد بازیگران زیاد آن می‌باشد و در صنعت برق امکان پذیر نیست. ولی در حقیقت فقط شبکه انتقال انحصار طبیعی دارد و بخش تولید و مصرف امکان خصوصی شدن دارد. هم‌زمان با بهبود ساختارهای مدیریتی، فناوری ساخت‌افزاری صنعت برق نیز بهبود یافت. بهبود ساختار ژنراتور، توربین، خطوط انتقال، تجهیزات مختلف، نرم‌افزارها،

- حمایت از صنایع داخلی سازنده تجهیزات

- افزایش رقابت در عرصه خدمات

- امکان رسیدن به سود ناشی از بازسازی

- ایجاد یک ساختار برای بازار برق که باعث رقابت بیشتر، هزینه کمتر و خدمات مطمئن تر شود.

- تهیه اطلاعات کافی برای مشتریان در انتخاب انرژی و تضمین حفاظت مصرف کنندگان

- توسعه منابع الکتریکی متنوع و خاص محیط

- دسترسی عام و غیر تبعیض آمیز به خدمات برق

البته مشکلات اساسی خصوصی سازی پس از وارد شدن به آن نمود می کند که در این مقاله مشکل ایمنی سیستم قدرت بررسی می شود چرا که در ساختار جدید صنعت برق، تشخیص ایمنی سیستم بسیار متفاوت از سیستم قدیم می باشد و راه حل های جدیدی را می طلبد.

یکی از تفاوت های سیستم جدید نسبت به سیستم قدیم، عدم قطعیت در مقادیر مصرف و تولید می باشد. در سیستم غیر متمرکز، هر ناحیه کنترلی نه تنها از نواحی اطراف خویش هیچ گونه اطلاعی ندارد بلکه با آن ها رقیب نیز می باشد. در نتیجه توان وارد شده به ناحیه کنترلی مورد بررسی دارای عدم قطعیت می باشد همچنین مصرف و تولید در ناحیه کنترلی به دلیل بازار آزاد و رقابت برای کسب بیشترین سود، دارای عدم قطعیت می باشند. در این سیستم مشکلات فراوانی به وجود می آید که در صورت حل شدن آن ها، می توان از مزایای یک سیستم رقابتی سود جست [۱]. یکی از مشکلات به وجود آمده، تشخیص ایمنی سیستم قدرت می باشد که در این مقاله درباره آن بحث می شود.

بخش دوم مقاله به پیش بینی بار و تولید وابسته به قیمت، بخش بار اقتصادی فازی و پخش بار احتمالی می پردازد. در این قسمت بر اساس مقادیر تولید و مصرف که به صورت احتمالی و یا اعداد فازی مدل زده شده اند یک پخش بار اقتصادی احتمالی و یا فازی انجام می شود. در بخش، ایمنی سیستم جدید با وجود تمام عدم قطعیت ها محاسبه می شود که به دو زیر قسمت پایداری گذرا و پایداری ولتاژ تقسیم شده است و تاریخچه مختصری از روش های موجود در سیستم متمرکز (قدیم) آورده شده است. این روش ها دسته بندی و اولویت بندی شده اند. در انتها با یک مثال، نحوه تعیین ایمنی یک سیستم غیر متمرکز نشان داده شده است.

## ۲- تجزیه و تحلیل اطلاعات

### ۲-۱- پیش بینی بار

در سیستم های قدیمی (متمرکز)، قیمت ثابت بوده و تولید بر اساس بار، به طور اقتصادی تعیین می شد. بار به درجه حرارت، زمان، روزهای مشخص و غیره وابسته است که توسط روش های مختلفی از قبیل سری های زمانی، شبکه های عصبی، عصبی فازی و ... پیش بینی بار انجام می شود [۲].

در سیستم های جدید (خصوصی)، قیمت برق ثابت نبوده و تولید و مصرف به صورت رقابتی با یکدیگر کار می کنند از این رو بار علاوه بر وابستگی به پارامترهای قبلی به قیمت نیز وابسته است. چنانچه قیمت افزایش یابد مصرف کم و در صورت کاهش قیمت برق، مصرف افزایش می یابد. علاوه بر آن، قیمت برق به تولید نیز وابسته است. افزایش تولید، کاهش قیمت و کاهش تولید، افزایش آن را در بردارد. همچنین، تولید و مصرف در هر لحظه سعی می کنند در بهترین نقطه اقتصادی کار کنند بنابراین پیش بینی بار در این سیستم، مشکل تر از

حالت قبل است. پاسخ در این قسمت، تعیین بار در زمان های آینده به صورت یک عدد فازی (یا تابع چگالی احتمال) می باشد در واقع بار، با یک نوع عدم قطعیت مشخص شده است. روش های پیش بینی بار را می توان به صورت زیر خلاصه و به ترتیب اهمیت و زمان ارایه آن دسته بندی کرد [۳-۵]

۱- روش های پیک بار (رگرسیون و سری های زمانی)

۲- روش های شکل بار

۳- روش های قدیمی مبتنی بر روابط پیچیده ریاضی

۱-۱-۲- رگرسیون و سری های زمانی (MA, AR, ARMA, ARIMA)

۲-۱-۲- هموارسازی نمایی

۳-۱-۲- فیلتر کالمن

۴-۱-۲- باکس جنکینز

۲-۲- روش های جدید و هوشمند

۱-۲-۲- شبکه های عصبی (ANN)

۲-۲-۲- شبکه های عصبی-فازی (FNN) [۶]

۳-۲-۲- ترکیب ANN یا FNN و روش های شناسایی الگو

### ۲-۲- پیش بینی تولید

برای پیش بینی تولید نواحی همسایه، باید بر اساس پیش بینی بار در ناحیه کنترلی مورد بحث و قیمت برق در همین ناحیه و نواحی اطراف، توان وارد شده به ناحیه کنترلی پیش بینی شود. این توان را می توان به صورت یک عدد فازی (یا تابع چگالی احتمال) مشخص کرد [۷].

### ۲-۳- پخش بار اقتصادی فازی (احتمالی)

پس از پیش بینی بار با در نظر گرفتن قیمت، تولید هر واحد و توان انتقالی تمام خطوط، با استفاده از پخش بار اقتصادی فازی (و یا احتمالی) محاسبه می شود. در این قسمت تمام تولیدات، مصارف و توان های عبوری از خطوط، به صورت اعداد فازی (و یا احتمالی) مشخص می شوند [۷].

روش های پخش بار اقتصادی را می توان به صورت زیر خلاصه و به ترتیب زمان ارایه آن دسته بندی کرد: [۸]

۱- پخش بار اقتصادی توان

۲- پخش بار اقتصادی توان با در نظر گرفتن تلفات

۳- پخش بار اقتصادی توان با هماهنگی تولید آبی و حرارتی

۴- پخش بار دینامیکی

۵- پخش بار توان موهومی به منظور بهبود سطح ولتاژ

۶- روش آنالیز حساسیت در حل مساله پخش توان موهومی

۷- پخش بار بهینه با در نظر گرفتن مدل های فرآیند انفاقی

۸- پخش بار بهینه با استفاده از منطق فازی

۹- پخش بار بهینه توان با منابع غیر عمومی

۱۰- پخش بار اقتصادی در سیستم های نوین

### ۲-۴- پخش بار فازی (احتمالی)

پس از حل پخش بار اقتصادی فازی (و یا احتمالی) توان های تولیدی و مصرفی بهینه وابسته به قیمت تعیین شده است. بنابراین از این قسمت به بعد احتیاج به یک پخش بار احتمالی (و یا فازی) داریم تا بتوان ولتاژها و زوایای باس ها را تعیین کرد. از آنجا که ورودی ها دارای عدم قطعیت می باشند خروجی های برنامه نیز دارای عدم قطعیتی به صورت یک تابع چگالی احتمالی (و یا یک عدد فازی) می باشد. در این قسمت روش پخش بار احتمالی به طور خلاصه آورده شده است [۹]. ابتدا با مقادیر میانگین اطلاعات ورودی، پخش بار DC و

سپس پخش بار AC به روش نیوتن رافسون انجام می‌شود. سپس مقادیر احتمالی به برنامه پخش بار احتمالی اضافه می‌شود. پخش بار احتمالی از تغییر معادلات پخش بار نیوتن رافسون و با استفاده از بسط سری گرام-چارلیر<sup>۲</sup> مرتبه هشتم به دست می‌آید [۹]. در ازای ورودی با مقادیر احتمالی، خروجی پخش بار احتمالی به صورت نمودارهای تابع چگالی احتمال برای ولتاژها، زاویه‌ها و توان‌های خطوط قابل محاسبه و رسم می‌باشد. به طور خلاصه روش پخش بار احتمالی دارای الگوریتم زیر است:

- ۱- ورود اطلاعات
  - ۲- پخش بار DC
  - ۳- پخش بار AC
  - ۴- تشکیل ماتریس‌های امیدانس، ادمیتانس، ژاکوبین
  - ۵- وارد کردن مقادیر احتمالی مربوط به ژنراتورها، بارها
  - ۶- محاسبه تراکم و گشتاور متغیرهای اتفاقی
  - ۷- محاسبه تابع چگالی احتمال متغیر
  - ۸- رسم تابع چگالی احتمال برحسب متغیر اتفاقی
- در بخش بعدی خروجی پخش بار احتمالی برای یک مثال نمونه آورده شده است.

### ۳- تشخیص ایمنی

تشخیص ایمنی سیستم قدرت به دو قسمت تعیین پایداری گذرا و پایداری ولتاژ تقسیم شده است که در بخش‌های بعدی درباره آن‌ها بیشتر توضیح داده می‌شود.

#### ۳-۱- روش‌های تعیین پایداری گذرا

در این قسمت روش‌های پایداری گذرا به صورت زیر خلاصه و به ترتیب زمان ارایه آن دسته‌بندی شده است [۱۰ و ۱۱]:

- ۱- روش شبیه‌سازی
  - ۲- روش شناسایی الگو
  - ۳- روش‌های مستقیم
  - ۳-۱- روش صفحه‌فاز
  - ۳-۲- روش سطوح مساوی
  - ۳-۳- معیار انتگرال-انرژی
  - ۳-۴- روش نقطه به نقطه
  - ۳-۵- روش مستقیم لیاپانوف
  - ۳-۵-۱- نزدیک‌ترین نقطه تعادل ناپایدار
  - ۳-۵-۲- نقطه تعادل ناپایدار کنترل‌کننده [۱۲]
  - ۳-۵-۳- شاخص بر اساس ارتباط<sup>۲</sup>
  - ۳-۵-۴- روش اتای<sup>۴</sup>
  - ۳-۵-۵- روش سطح مرزی انرژی پتانسیل<sup>۵</sup> PEBS (روش کاکي موتو<sup>۶</sup>)
  - ۳-۵-۶- شاخص بر اساس شبکه عصبی مصنوعی [۱۳]
  - ۳-۵-۷- شاخص بر اساس تابع انرژی گذرای خلوت
  - ۳-۵-۸- روش‌های جدید بر اساس تقریب در محاسبه نقطه تعادل ناپایدار
  - ۳-۵-۸-۱- روش BCU [۱۴]
  - ۳-۵-۸-۲- روش CTS و POMP [۱۵ و ۱۶]
  - ۳-۵-۸-۳- روش «ضربه دوم»<sup>۷</sup> [۱۷]
  - ۳-۵-۸-۴- شاخص‌های ترکیبی<sup>۸</sup> [۱۸]
- روش‌هایی که از تقریب نقاط تعادل ناپایدار سیستم استفاده می‌کنند مانند (۳-۵-۸)، از سرعت و دقت بالایی نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار می‌باشند [۱۸].

### ۳-۲- روش‌های تعیین پایداری ولتاژ

در این قسمت روش‌های پایداری ولتاژ به صورت زیر خلاصه و به ترتیب زمان ارائه آن دسته‌بندی شده است [۱۹ و ۲۰]:

- ۱- پخش بار تداومی
  - ۲- شرایط عددی در ویژه بودن ماتریس ژاکوبین
  - ۳- شاخص فاصله بین نقطه تعادل پایدار و نقطه تعادل ناپایدار
  - ۴- شاخص اختلاف انرژی بین نقطه تعادل پایدار و ناپایدار [۲۱]
  - ۵- حل معادله مشخصه سیستم برای پیدا کردن نقطه بحرانی
  - ۶- محاسبه حساسیت معادلات پخش بار به تغییرات بار
  - ۷- روش تابع انرژی
- بیشتر روش‌های پایداری ولتاژ دارای مقاله‌های جدید می‌باشند به طوری که روش‌های قبلی را بهبود داده‌اند و به راحتی نمی‌توان آن‌ها را به صورت زمانی مرتب کرد. به عنوان مثال قدیمی‌ترین روش، پخش بار متوالی می‌باشد که باز هم بر روی آن کارهای جدیدی انجام شده است و در بیشتر روش‌ها برای مقایسه روش‌ها از آن استفاده می‌شود [۲۲].

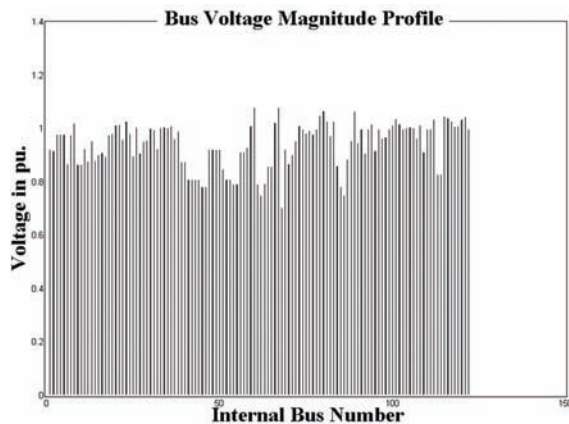
### ۴- روش بررسی

در این بخش دو روش تقریبی و دقیق برای تشخیص ایمنی سیستم قدرت غیرمتمرکز توضیح داده می‌شود. در هر روش ابتدا بارها و تولید با روش‌های پیش‌بینی بار و تولید مشخص می‌شوند و با استفاده از ایده‌های قبل برای تعیین پایداری ولتاژ و پایداری گذرا، ایمنی سیستم قدرت غیرمتمرکز تعیین می‌شود. در روش دقیق برای تعیین پایداری ولتاژ از الگوریتم روش پخش بار متوالی معمولی [۲۲] استفاده می‌شود. با این تفاوت که برنامه‌نویسی به صورت فازی می‌باشد و تمام اعمال ریاضی با متغیرهای فازی انجام می‌شود. ورودی‌ها (بارها و تولید) نیز دارای عدم قطعیت می‌باشند و در نتیجه حد پایداری ولتاژ نیز دارای عدم قطعیت می‌باشد.

برای تعیین پایداری گذرا از روش CTSA [۱۵] استفاده شده است که از روش PEBS سریع‌تر و دقیق‌تر است. در اینجا هیچ‌گونه تغییری در الگوریتم تعیین پایداری گذرا داده نشده است، فقط تمام محاسبات و اعمال ریاضی با متغیرهای فازی انجام می‌شود و در نتیجه خروجی‌ها یعنی زمان قطع بحرانی نیز دارای عدم قطعیت می‌باشد. از آنجاکه هیچ‌گونه تغییری در الگوریتم تعیین پایداری ولتاژ و پایداری گذرا داده نشده است و فقط نوع برنامه‌نویسی از حالت عادی به برنامه‌نویسی با اعداد فازی تغییر یافته است از این رو در مورد روش‌ها توضیح بیشتری آورده نشده است. برای برنامه‌نویسی با اعداد فازی از مرجع [۲۳] استفاده شده است.

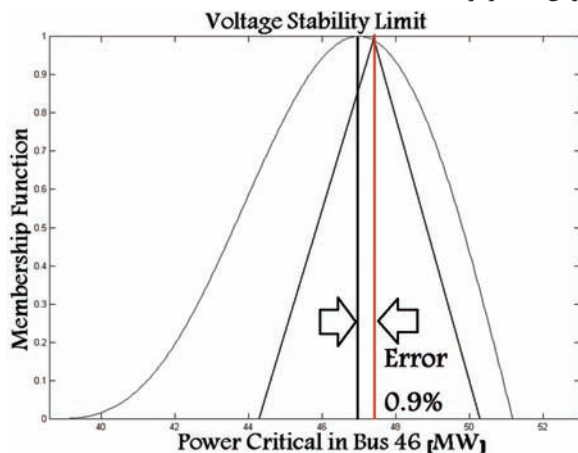
در روش تقریبی به جای استفاده از برنامه‌نویسی فازی از برنامه‌نویسی معمولی استفاده شده است و از آنجاکه ورودی‌ها دارای عدم قطعیت می‌باشند فقط چند نقطه کاری که دارای بیشترین و کمترین احتمال را دارا می‌باشند به عنوان ورودی استفاده می‌شوند. در ازای این ورودی‌ها با احتمالات مختلف، خروجی‌ها نیز با احتمالات مختلف محاسبه می‌شوند. هر چه تعداد این نقاط بیشتر باشد جواب این قسمت به جواب قسمت قبلی نزدیک‌تر است و در عوض زمان بیشتری برای محاسبات لازم است. برای اینکه تعداد این نقاط حداقل شود از روش‌های زیر استفاده می‌شود. برای پایداری ولتاژ از روش تحلیل حساسیت تغییر توان‌های ورودی (بارها یا تولید) به تغییر توان بار در نقطه موردنظر استفاده می‌شود. که همان روش تحلیل حساسیت مرجع [۲۴] می‌باشد و برای تعیین پایداری گذرا از روش تعیین پایداری با ساختار متغیر استفاده می‌شود (مرجع [۱۱] و

و بالاخره اطلاعات خطوط، تولید، مصرف و ولتاژ باس‌های کنترل ولتاژ از [۲۶] گرفته شده است. تعداد کل باس‌ها ۱۲۲، تعداد خطوط اصلی ۷۹ و تعداد ژنراتورها ۱۵ در نظر گرفته شده است. پروفایل ولتاژ در نقطه کار در شکل (۱) نشان داده شده است. برنامه نوشته شده در این قسمت، پخش بار ماتریسی خلوت به زبان مطلب است که سرعت آن ۲۵ برابر پخش بار معمولی است.



شکل ۱: پروفایل ولتاژ در نقطه کار

با استفاده از جداول (۱) تا (۳)، ابتدا پخش بار احتمالی انجام می‌شود. ولتاژ باس‌ها و زوایا به صورت احتمالی و با چگالی احتمال مشخص می‌شود. سپس با استفاده از پخش بار متوالی حد پایداری ولتاژ باس ۴۶ (چناران) مشخص می‌شود که در شکل (۲) نشان داده شده است به عبارت دیگر حداکثر توان مصرفی در باس بار ۴۶ با یک منحنی مشخص می‌شود و نه یک عدد. حال می‌توان حد پایداری ولتاژ باس ۴۶ را با روش تقریبی نیز به دست آورد که در شکل (۲) (خط راست) مشخص شده است. دقت روش قابل قبول (خط ۰٫۹ درصد) و سرعت روش ۱۰/۳ برابر شده است. همچنین برای حد پایداری گذرا سیستم مورد نظر، ابتدا پخش بار احتمالی انجام می‌شود. سپس پایداری گذرای سیستم در ازای اتصال کوتاه در خط چناران-قوچان و برطرف شدن اتصال کوتاه بررسی می‌شود. زمان قطع بحرانی به روش دقیق در شکل (۳) به صورت احتمالی مشخص شده است. همچنین با روش تقریبی، زمان قطع بحرانی در شکل (۳) (خط راست) مشخص شده است که دقت به نسبت قابل قبولی دارد (خط ۱٫۸ درصد) و سرعت روش ۲۲ برابر شده است.



شکل ۲: حد پایداری ولتاژ در باس بار ۴۶ به روش دقیق (منحنی) و روش تقریبی (خطوط راست)

[۲۵]. با استفاده از روش‌های تحلیل حساسیت برای پایداری ولتاژ و روش تغییر ساختار برای پایداری گذرا، می‌توان بدترین و بهترین حالت را از نقطه نظر پایداری ولتاژ و گذرا در ازای تغییر توان‌های بار و تولید (که دارای عدم قطعیت می‌باشند) محاسبه کرد. به این معنی که با این دو روش فقط از سه نقطه کار استفاده می‌شود. یک نقطه کار با بیشترین احتمال که در پخش بار احتمالی به عنوان نقطه کار استفاده می‌شود؛ نقطه کار با بیشترین حد پایداری گذرا و یا ولتاژ و نقطه کار با کمترین حد پایداری گذرا یا ولتاژ.

## ۵- مثال عملی

شبکه مورد بررسی، شبکه ساده شده خراسان می‌باشد که با اتصال به شبکه‌های سراسری و شبکه سیستان به عنوان دو ناحیه همسایه به صورت غیرمتمرکز تحلیل می‌شود. فرض شده است که این دو ناحیه توانی با عدم قطعیت مصرف می‌کنند و توانی از این دو ناحیه خریداری نمی‌شود. (با آنکه برنامه کامپیوتری قادر است هر دو نوع توان تولیدی و مصرفی با عدم قطعیت را تحلیل کند). اطلاعات بار شبکه برای سال ۹۲ پیش‌بینی شده است که دارای عدم قطعیتی به صورت پیوسته در باس‌های بار مختلف می‌باشد [۲۶و۲]. بعضی از بارها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱: بعضی از بارهای شبکه خراسان

باس	نام	توان حقیقی		توان موهومی	
		امید	انحراف معیار	امید	انحراف معیار
۱۰	عطار	۳۶/۰	۰/۰۹	۱۸/۰	۰/۰۹۲
۱۱	سبزواری	۵۲/۰	۰/۱۰	۱۰/۰	۰/۱۰۵
۴۱	بابک	۲۴/۰	۰/۱۱	۱۱/۰	۰/۰۹۷
۴۸	حمید	۴۷/۰	۰/۰۹	۲۳/۰	۰/۰۵
۴۶	چناران	۲۱/۷	۰/۰۹۵	۱۵/۱	۰/۰۹۵
۶۱	سیلو	۳۷/۰	۰/۱۰	۱۶/۲	۰/۱۰
۶۲	بازار	۴۴/۰	۰/۰۷۶	۱۰/۷	۰/۰۸۶

همچنین توان‌های مصرفی دو ناحیه مجاور و با استفاده از آمار و اطلاعات به دست آمده به صورت عدم قطعیت در جدول (۲) نشان داده شده است [۲۶و۲].

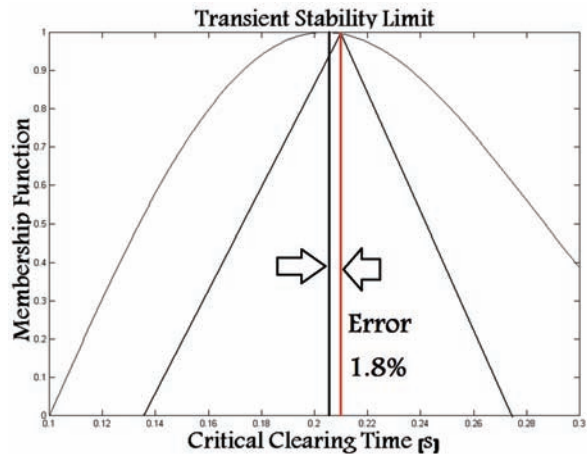
جدول ۲: توان‌های مصرفی نواحی همسایه شبکه خراسان

شبکه	امید	انحراف معیار
سراسری	۱۳۰	۰/۱۰
سیستان	۳۰	۰/۰۶

نرخ خروج اجباری ژنراتورها در جدول (۳) آورده شده است [۲۷،۲۶]. (برای سادگی فرض شده است نرخ خروج اجباری خطوط صفر است)

جدول ۳: نرخ خروج اجباری ژنراتورها و خطوط شبکه خراسان [۲۷]

نام واحد	ظرفیت واحد	تعداد واحدها	FOR
طوس	۱۵۰	۴	۰/۰۹۸
مشهد ۱	۶۰	۲	۰/۱۱۰
مشهد ۲	۶۷/۵	۲	۰/۲۰۱
مشهد ۳	۱۶	۲	۰/۲۰۱
شریعتی ۱	۲۰/۵	۶	۰/۲۰۱
شریعتی ۲	۱۱۵	۲	۰/۱۱۰
نیشابور	۱۱۰	۴	۰/۱۱۰
شیروان	۲۰	۶	۰/۲۰۱
قاین	۲۰	۳	۰/۲۰۱
طیس	۱۲۵	۴	۰/۱۱۰



شکل ۳: حد پایداری گذرا در ازای اتصال کوتاه در خط چناران-قوچان به روش دقیق (منحنی) و روش تقریبی (خطوط راست)

### ۶- نتیجه گیری

در سیستم غیرمتمرکز به دلیل ساختاری، عدم قطعیت‌های بیشتری در سیستم وجود دارد که باعث افزایش حجم اطلاعات ورودی به سیستم می‌شود. این عمل باعث می‌شود برنامه‌نویسی فازی مدنظر قرار بگیرد که روش دقیق این مقاله بر این اساس استوار است ولی همچنان که دیده‌شده زمان زیادی صرف تعیین جواب می‌شود و این زمان ارزش بیشتری نسبت به اطلاعات بدست‌آمده دارد. ولی روش تقریبی که با استفاده از تحلیل حساسیت در پایداری ولتاژ و تغییر ساختار سیستم در پایداری گذرا مشخص می‌شود به دلیل سرعت بالا، استفاده از برنامه‌های کلاسیک قبلی برای تعیین حدود پایداری ولتاژ و گذرا، استفاده از زیربرنامه‌های تحلیل حساسیت و تغییر ساختار برای تعیین پایداری، می‌تواند روش مناسبی برای تعیین ایمنی این نوع سیستم‌ها باشد.

### پی‌نوشت‌ها

- 1 Monopoly
- 2 Gram-Charlier
- 3 Coherency
- 4 Athay
- 5 Potential Energy Boundary Surface
- 6 Kakimoto
- 7 Second Kick
- 8 Severity Indices

### مراجع

- [1]. The Changing Structure of the Electric Power Industry: An Update, www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/chg-stru-update/
- [۲]. یعقوب‌پور، محمود، «پیش‌بینی کوتاه‌مدت بار با استفاده از شبکه عصبی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، تابستان ۱۳۷۶.
- [۳]. یعقوب‌پور، محمود؛ خاتمی، مرتضی؛ مدیر شانه‌چی، محمد حسن، «روش‌های پیش‌بینی بار هوشمند»، ششمین کنفرانس مهندسی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۷۷.
- [۴]. عیدیانسی، مصطفی؛ یعقوب‌پور، محمود، «پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت با استفاده از شبکه عصبی-فازی»، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، ۱۳۷۹.
- [5]. C.S. Chang and Minjun Yi, «Real-Time Pricing Related Short-Term Load Forecasting», 1998 International Conference on Energy Management & Power delivery, pp. 411-416, 1998.
- [۶]. مقدس تفرشی، سید مسعود، «پیش‌بینی میان‌مدت میزان مصرف بار الکتریکی توسط شبکه عصبی-فازی»، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، آبان ۱۳۷۶.
- [7]. M. E. El. Hawary, Electric Power Application of Fuzzy Systems, IEEE Press Power Engineering Series, TK 1007.E43, pp. 321-335, 1998.
- [۸]. عیدیانسی، مصطفی، پخش بار بهینه، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی

مشهد، دانشکده مهندسی، تابستان ۱۳۷۵.

[۹]. عیدیانسی، مصطفی؛ یعقوب‌پور، محمود، «پخش بار احتمالی»، طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، ۱۳۸۰.

[۱۰]. عیدیانسی، مصطفی، دو روش جدید در تشخیص پایداری گذرا به روش مستقیم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، ۱۳۷۵.

[11]. A.A. Fouad and Vijay Vittal, Power System Transient Stability Analysis Using the Transient Energy Function method, Prentice-Hall, 1992.

[12]. G.D. Irisarri and G.C. Ejebe, "Efficient Solution for Equilibrium Points in Transient Energy Function Analysis", IEEE Trans. On Power Sys., Vol. 9, No. 2, pp. 693-699, May 1994.

[13]. Y.T. Liu and etc., "Determination of Local Transient Stability Control Based on Neural Networks", International Conference of Energy Management & Power Delivery (EMPD'98), pp. 393-398, 1998.

[14]. H.D. Chiang and etc., "A BCU Method for Direct Analysis of Power System Transient Stability", IEEE Trans. on Power Sys., Vol. 9, No. 3, pp. 1194-1208, Aug. 1994.

[۱۵]. عیدیانسی، مصطفی و مدیر شانه‌چی، محمد حسن، «CTS روش ترکیبی پایداری گذرا، روشی جدید در تشخیص پایداری گذرا به روش مستقیم»، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ص ۱۳-۱۷، ۱۳۷۶

[۱۶]. عیدیانسی، مصطفی و مدیر شانه‌چی، محمد حسن، «POMP نقطه ماکزیم انرژی پتانسیل، روشی جدید در تشخیص پایداری گذرا به روش مستقیم»، ششمین کنفرانس مهندسی برق ایران، صص ۲۳-۲۶، ۵-۲۶، ۱۳۷۷

[17]. Y. Mansour and E. Vaahedi and etc., "B.C. Hydro's on-line Transient Stability Assessment Model Development, Analysis and Post-Processing", IEEE Trans. on Power Sys., Vol. 10, No. 1, Feb. 1995.

[18]. C. Fu and A. Bose, «Contingency Ranking Based on severity Indices in Dynamic Security Analysis», IEEE Trans. on Power Sys., Vol. 14, No. 3, pp. 980-986, Aug. 1999.

[19]. C. W. Taylor, Power System Voltage Stability, New York, McGraw-Hill, 1994.

[۲۰]. عیدیانسی، مصطفی و مدیر شانه‌چی، محمد حسن، «کاربرد روش تابع انرژی برای تشخیص فروپاشی ولتاژ»، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، صص ۷۷۲-۷۷۷، ۱۳۷۷

[21]. T.J. Overbye; Ian Dabson and C.L. DeMarco, «Q-V Curve Interpretations of Energy measure for Voltage Security», IEEE Trans. on Power Sys., Vol. 9, No. 4, pp. 331-340, Feb. 1994.

[۲۲]. عیدیانسی، مصطفی؛ مدیر شانه‌چی، محمد حسن؛ واحدی، ابراهیم، «تعیین FCTTC با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ و پایداری گذرا به روش انرژی»، دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مجموعه مقالات قدرت، صص ۹۴-۸۶، تبریز، اردیبهشت ۱۳۸۱.

[۲۳]. طاهری، سید محمود، آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی، جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۳۷۵

[۲۴]. سیفی، حسین، تولید، بهره‌برداری و کنترل در سیستم‌های قدرت، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۱.

[۲۵]. عیدیانسی، مصطفی، «تشخیص حد پایداری گذرا در یک سیستم قدرت با ساختار متغیر به روش حساسیت»، دومین کنفرانس دانشجویی برق ایران، صص ۴۸-۵۴، ۱۳۷۸

[۲۶]. شرکت برق منطقه‌ای خراسان، مرکز اطلاعات و آمار، مشهد، خراسان.

[۲۷]. عیدیانسی، مصطفی؛ مدیر شانه‌چی، محمد حسن؛ پیروی، علی؛ مدقق، هادی؛ خجسته، علیرضا، «طراحی خط انتقال، جهت اتصال شبکه خراسان و سیستان و بلوچستان با بیشترین قابلیت اطمینان»، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی برق، صص ۴۲۶-۴۳۲، آبان ۱۳۷۸.

[۲۸]. کریمی، مازیار؛ کریمی، حسین؛ غلامی، مصطفی؛ خطیب زاده، هادی؛ مسلمی، نیکی، «ولایت‌بندی روزهای مشابه جهت پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت شبکه ایران با در نظرگیری دما و بخش‌بندی سیستم قدرت»، مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۶.

[۲۹]. رضائی، حسین؛ کاظمی، اسدالله؛ پیروی، علی، «بررسی روش‌های هوشمند پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت در شبکه توزیع با رویکرد بهینه‌سازی سود»، نشریه فناوری و پژوهش نوین، دوره ۱، شماره ۱، پاییز و تابستان ۱۳۹۶.

[۳۰]. حیدری، علی؛ عمارتی، سید محمدرضا؛ عسکر زاده، علیرضا؛ کی‌نیا، فرشید، «برآورد و پیش‌بینی تقاضای سلاله برق ایران با استفاده از روش‌های کلاسیک و هوشمند»، سی‌امین کنفرانس بین‌المللی برق، آبان ۱۳۹۶.

[۳۱]. میرشکاری، مهرداد؛ ابراهیمی، رضا؛ سیاهی، مهدی، «پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت بار در شبکه‌های توزیع با استفاده از شبکه عصبی بهبودیافته توسط سیستم خبره فازی»، اولین همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه‌های هسته‌ای، آذر ۱۳۹۵.

\*\*\*