

## تست عملی سیستم حفاظتی ریز شبکه با کنترل کننده مرکزی با استفاده از استاندارد IEC-61850

بهروز طاهری<sup>۱</sup>، فرزاد رضوی<sup>۱\*</sup>، سیروس صالحی مهر<sup>۱</sup>

۱- دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکترونیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

### خلاصه

بدلیل وجود منابع تولید پراکنده در ریز شبکه ها، طرح های حفاظتی مرسوم در این شبکه ها قابل استفاده نیستند و نیاز به اصلاح دارند. به منظور دستیابی به عملکرد ایمن ریز شبکه، با وجود داشتن ساختاری پویا و متنوع که دارای پارامتر های متعدد است، یک استراتژی حفاظتی جدیدی که از سیستم ارتباطی میان اجزا بهره می گیرد، مورد نیاز است. حفاظت با استفاده از کنترل کننده مرکزی یکی از این استراتژی های جدید است. این سیستم نیز مانده رله های معمول نیاز به انجام تست ها دوره ای برای اطمینان از عملکرد درست آن ها دارند. در این مقاله به بررسی شیوه تست ریز شبکه با استفاده از استاندارد IEC-61850 در یک شبکه تست آزمایشگاهی پرداخته می شود.

**کلمات کلیدی:** حفاظت ریز شبکه، کنترل کننده مرکزی، استاندارد IEC-61850، تست رله های حفاظتی.

### ۱. مقدمه

ساختار مرسوم برای سیستم های قدرت به نحوی است که توان الکتریکی در نیروگاه های بزرگ و در نقاط متمرکز تولید می شود [۱]. در این نیروگاه ها ولتاژ خروجی ژنراتورها بواسطه ترانسفورماتورهای افزایش دهنده، افزایش پیدا می کند و سپس توان تولید شده بر روی خطوط طولانی انتقال به شبکه به هم پیوسته انتقال تزریق می شود. سرانجام در شبکه های شعاعی فوق توزیع و توزیع سطح ولتاژ برای مصرف کنندگان نهایی به سطح فشار متوسط و فشار ضعیف کاهش پیدا می کند. این شیوه انتقال توان از نیروگاه های متمرکز به مصرف کننده ها ما را با مشکلاتی از جمله افزایش تلفات و محدودیت های توسعه شبکه مواجه می کند.

به عنوان یک پیامد از پیشرفت های اخیر در تکنولوژی و نگرانی برای گرم شدن کره زمین، تمایلی برای تولید برق از منابع انرژی پاک تر و نزدیک تر به محل مصرف ایجاد شده است [۲]. جستجو برای سیستم های قدرت پاک تر و کار آمد تر توجه مهندسان را به مفهوم تولید پراکنده (DG) جلب می کند. برخی از منابع تولید پراکنده ممکن بر اساس انرژی تجدید پذیر نظیر توربین های بادی و یا سلول های خورشیدی باشند. این بدان معنی است که سهم DG ها در تولید انرژی به طور قابل ملاحظه ای باید افزایش یابد.

با این حال شبکه های انتقال و توزیع موجود برای نفوذ DG ها در مقیاس زیاد مناسب نیستند زیرا این شبکه ها به طور سنتی و با فرض یک شبکه منفعل طراحی شده اند [۳]. تجمع DG ها در شبکه های توزیع و انتقال فعلی مستلزم بررسی های ویژه ای است چرا که در صورت عدم رعایت اصول و پیش نیازها نه تنها از مزایای این منابع نمی توان به خوبی

\* Corresponding author  
Email: farzad.razavi@qiau.ac.ir

استفاده کرد، بلکه ما را با مشکلات کنترلی، مدیریتی و حفاظتی به هنگام اتصال و بهره برداری از این منابع روبه رو می کند.

برای فائق آمدن به چنین مشکلاتی، مفهوم جدیدی به نام ریز شبکه (Microgrid) توسط مهندسان برق ایجاد گردید. از طریق ریز شبکه ها، شبکه های مرسوم برق به شبکه های کوچکتری که شامل منابع تولید پراکنده، بارها و ذخیره سازها و دستگاه های حفاظتی می شوند، تقسیم می شوند که می تواند در دو مد کاری متصل به شبکه و جزیره ای کار کنند [4, 5].

از آن جایی که ریز شبکه ها اصول اولیه شبکه های مرسوم مانند ساختار شعاعی و منفعل بودن شبکه را رعایت نمی کنند، تغییراتی بنیادی برای بهره برداری ایمن از این ریز شبکه ها مورد نیاز است. به طور خاص، سیستم های حفاظتی بواسطه سهم جریان خطای DG ها و یک سویه نبودن جهت شارش توان از شبکه تحت تاثیر زیادی قرار می گیرند. بنابراین نگرش جدیدی برای اهداف حفاظتی این شبکه ها مورد نیاز است. معمول ترین نوع حفاظت در ریز شبکه ها حفاظت با استفاده از کنترل کننده مرکزی است.

یکی از مفاهیمی که چه در سیستم های قدرت قدیمی و چه در سیستم های توزیع هوشمند و ریز شبکه ها همواره مورد توجه بوده است حفاظت سیستم قدرت است. با توسعه روز افزون صنعت و تکنولوژی نیاز به استفاده از انرژی الکتریکی دائما در حال افزایش است. این افزایش مصرف انرژی الکتریکی احتمال وقوع خطا را افزایش می دهد. اگر چه در هنگام طراحی یک سیستم قدرت، کاهش امکان ایجاد خطا از پارامترهای مهمی هستند که در نظر گرفته می شوند اما همچنان احتمال وقوع خطا وجود دارد.

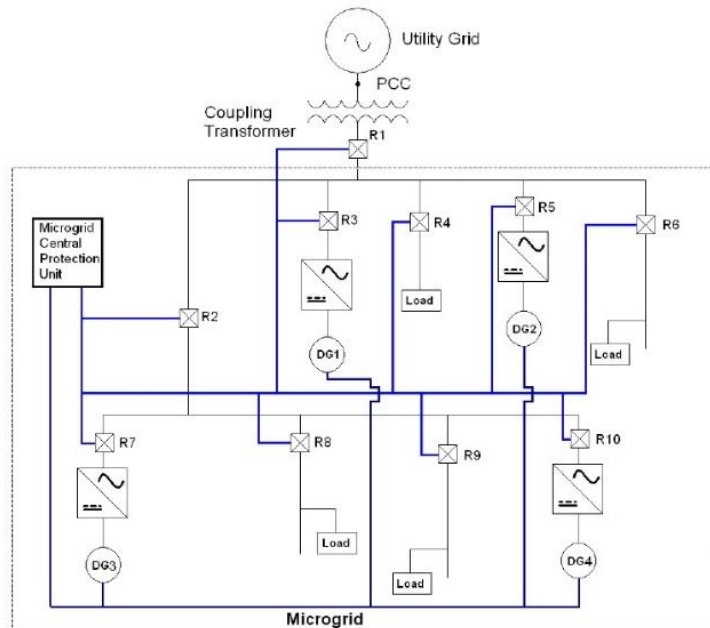
عناصر حفاظتی نقش بسیار مهمی را در تشخیص خطا و کاهش خسارات ناشی از ایجاد خطا در شبکه ایفا می کنند. عناصر حفاظتی چه در سیستم های قدرت قدیمی و چه در سیستم های توزیع هوشمند و ریز شبکه ها باید دارای الزامات عمومی مانند تشخیص صحیح خطا، سرعت پاسخ و حداقل کردن اختلالات در سیستم قدرت باشند [6].

یکی از مهمترین مشکلات عناصر حفاظتی این است که در صورتی که دچار مشکل باشند این مشکل تا زمان ایجاد خطا در شبکه مشخص نخواهد شد. برای جلوگیری از بروز چنین مشکلی رله های حفاظتی نیاز به تست های متفاوتی در طول مراحل توسعه، راه اندازی، تعمیر و نگهداری، پیکربندی و عیب یابی دارند.

در این مقاله یک روش جدید تست اتوماتیک با استفاده از استاندارد IEC-61850 برای سیستم حفاظت با کنترل کننده مرکزی بیان شده است. روش بیان شده بر روی یک سیستم آزمایشگاهی شامل دو رله و دو تستر و یک کنترل کننده مرکزی تست شده است.

## ۲. معرفی سیستم حفاظت ریز شبکه با واحد کنترل و حفاظت مرکزی

ساختار پویای ریز شبکه و شرایط عملکردی متنوع آن توسعه استراتژی های حفاظتی را می طلبد. شکل ۱ سیستم حفاظتی را در حالت استفاده از یک واحد کنترل کننده مرکزی را نشان می دهد.



شکل ۱ - ساختار ارتباط واحد کنترل کننده مرکزی با المان‌های ریز شبکه [۷].

در سیستم نشان داده شده، واحد حفاظت مرکزی ریز شبکه (MCPU) با هر رله و DG در ریز شبکه بر اساس اصل وقفه ارتباط برقرار می‌کند. ارتباط MCPU با رله برای به هنگام رسانی جریان تنظیمی رله‌ها و تشخیص جهت جریان خطا و همچنین زمان تاخیر مورد نیاز برای عملکرد انتخاب پذیری مناسب رله ضروری می‌باشد. از سوی دیگر لازم است تا MCPU با DG‌ها برای اهداف کنترلی و نظارتی از قبیل وضعیت بهره برداری آن‌ها (ON/OFF)، جریان نامی، سهم جریان خطا و ... ارتباط برقرار کند.

ماهیت متغیر ریز شبکه و گوناگونی دستگاه‌های موجود در ریز شبکه لازم می‌دارد که سیستم حفاظت ریز شبکه بتواند این تغییرات را مانیتور و عملکرد مناسب را در زمان مناسب انجام دهد. توانایی ارتباط با DG‌ها و رله‌ها این امکان را به MCPU میدهد که همواره از شرایط جدید آگاهی داشته باشد. این شرایط جدید می‌تواند بر اساس اتصال و یا قطع شدن DG و بارها و یا شرایط عملکردی متفاوت اتفاق بیفتد.

اداره کردن همه این رخدادها با رویکرد حفاظتی غیر متمرکز کاری سخت و پیچیده است زیرا باید همه رخدادهایی که ممکن است در ریز شبکه اتفاق بیافتد را از قبل تخمین زد. علاوه بر این، گسترش تجهیزات و یا نصب خطوط توزیع و یا انتقال می‌تواند آن سیستم حفاظتی را غیر کارآمد سازد. به عبارت دیگر، MCPU می‌تواند به عنوان یک کنترل حفاظتی بلا درنگ ایفای نقش نماید [۸].

سه پارامتر برای MCPU مورد استفاده قرار می‌گیرد.  $I_{relay}$  که جریان عملکردی می‌باشد. بیت آشکار ساز خطا که وضعیت وقوع خطا را نشان می‌دهد و سومین مورد زمان تاخیر برای گزینش پذیری که زمان تاخیر تخصیص داده شده به هر رله را برای عملکرد مناسب نشان می‌دهد.  $I_{relay}$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۷]:

$$I_{relay} = (I_{FaultGrid} \times Operation\_bit \times K_{GRID}) + \sum_{i=1}^m (K_i \times I_{FaultDG_i} \times StatusDG_i) \quad (1)$$

که در آن:

m: تعداد کل DG های ریز شبکه.

k: فاکتور اثر i امین DG روی جریان عملکردی رله.

$I_{FaultGrid}$ : جریان خطای شبکه بالا دست.

$I_{FaultDG_i}$ : جریان خطای i امین DG.

$K_{GRID}$ : فاکتور اثر جریان اتصال کوتاه شبکه بالادست روی جریان عملکردی رله.

### ۳. استاندارد IEC-61850

کمیسیون بین‌المللی الکترونیک (IEC)، IEC-61850 را در شبکه‌های ارتباطی و سیستم‌هایی برای مهیا کردن استاندارد پست‌ها با هدف تعریف ارتباط بین دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند (IED)، به منظور قابلیت همکاری بین دستگاه‌ها با تولید کنندگان مختلف را ارائه کرده است. استاندارد تعریف شده در اتوماسیون و حفاظت به عنوان مجموعه‌ای از توابع میان IEDها توزیع شده است، که در مکان‌های مختلف با تعامل و همکاری از طریق شبکه‌های ارتباطی نصب شده است [۹، ۱۰].

از جمله مزایای استفاده از IEC-61850 می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۱-۱۳]:

۱. یکپارچگی بین دستگاه‌های الکترونیکی هوشمند از تولید کنندگان مختلف.
۲. شفافیت ارتباط بین IEDها و مرکز عملیات.
۳. توابع حفاظتی و اتوماسیون توزیع شده: IEC-61850 در پست به IEDهای مختلف اجازه عملکرد متفاوت را می‌دهد.

۴. کاهش هزینه برای پروژه، طراحی، نصب و نگه داری از سیستم حفاظتی و اتوماسیون.

۵. کاهش پیچیدگی برای زیر ساخت ارتباط بین IEDها.

۶. راه حل همگرایی به یک مجموعه از پروتکل‌های ارتباطی غیر اختصاصی.

### ۴. نحوه تست

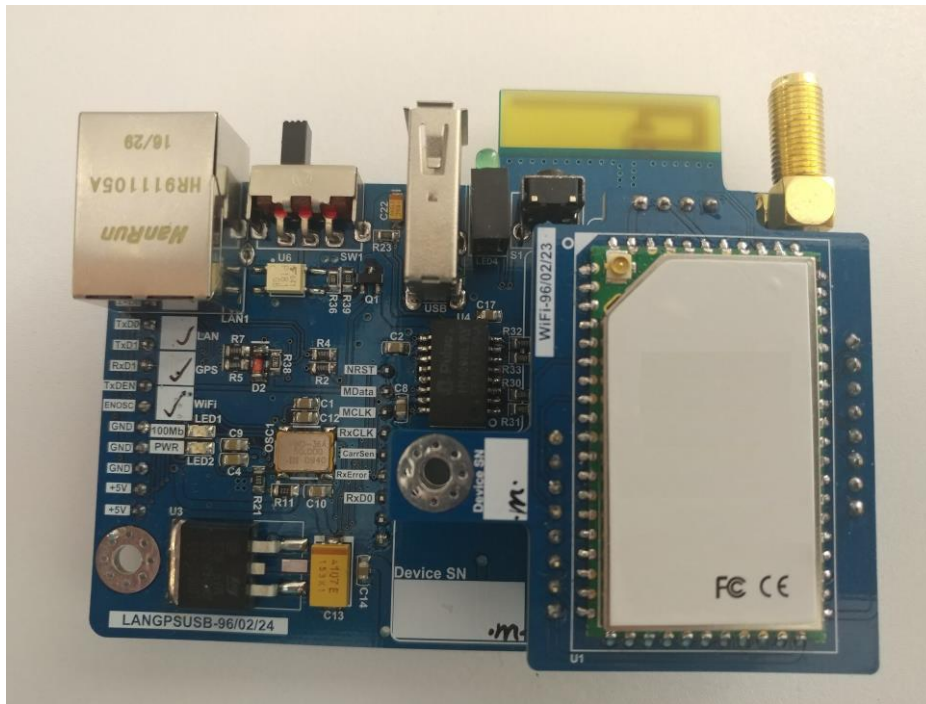
برای تست سیستم حفاظتی با کنترل کننده مرکزی نیاز به تزریق جریان همزمان به تمامی رله‌های موجود بر روی یک ریز شبکه داریم. برای استفاده از این قابلیت تست‌های رله باید با استفاده از سیستم GPS با هم سنکرون زمانی شوند. برای ارتباط با GPS نیاز به ماژول ارتباطی داریم. از جمله مواردی که باید در انتخاب یک ماژول GPS به آن توجه داشت عبارت است از:

۱. سرعت اتصال به ماهواره.

۲. حساسیت ماژول در گیرندگی سیگنال GPS.

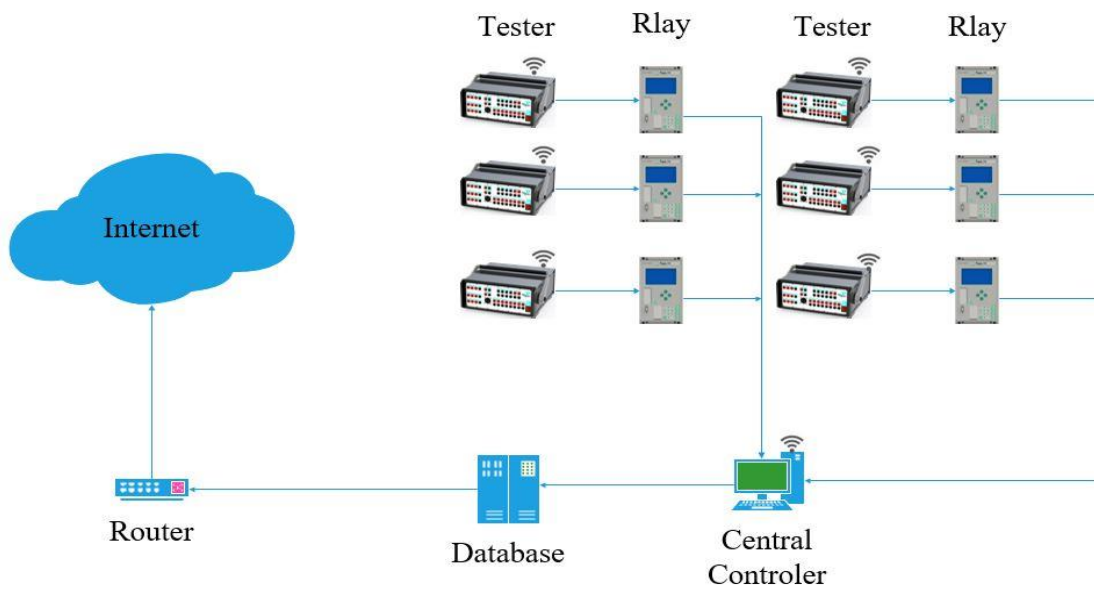
۳. تعداد کانال‌های جست و جو و شبیه سازی سیگنال GPS.

در این مقاله از ماژول NEO-6M برای ارتباط بین تسترها استفاده شده است. این ماژول محصول شرکت U-Blox است که می‌تواند برای سنکرون کردن دستگاه‌ها به GPS مورد استفاده قرار بگیرد. شکل ۲ برد چندکاره GPS ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- برد GPS طراحی شده

شکل ۳ نحوه انجام تست را نشان می دهد.

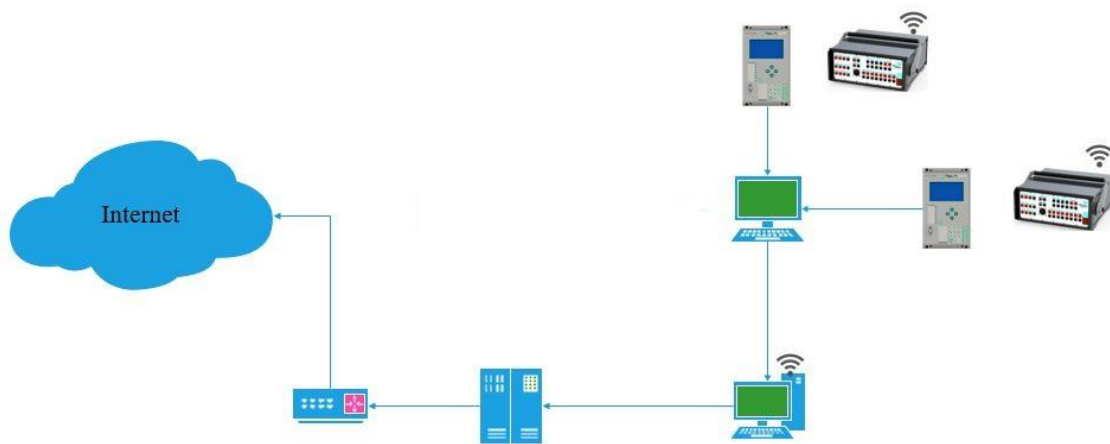


شکل ۳- انجام تست همزمان ریز شبکه با کنترل کننده مرکزی

همانگونه که از شکل ۳ مشخص است کنترل کننده مرکزی با استفاده از معادله ۱ مقدار ولتاژ و جریان مورد نیاز تزریق به هر رله را مشخص می کند و سپس تستهای رله به طور همزمان مقدار خطا را شبیه سازی می کنند. کنترل کننده مرکزی هر بار خطا را بر روی یک رله قرار داده و نتایج را ثبت می کند. در انتها فایل نهایی نتیجه تست می تواند برای اپراتور مربوطه از طریق اینترنت ارسال شود.

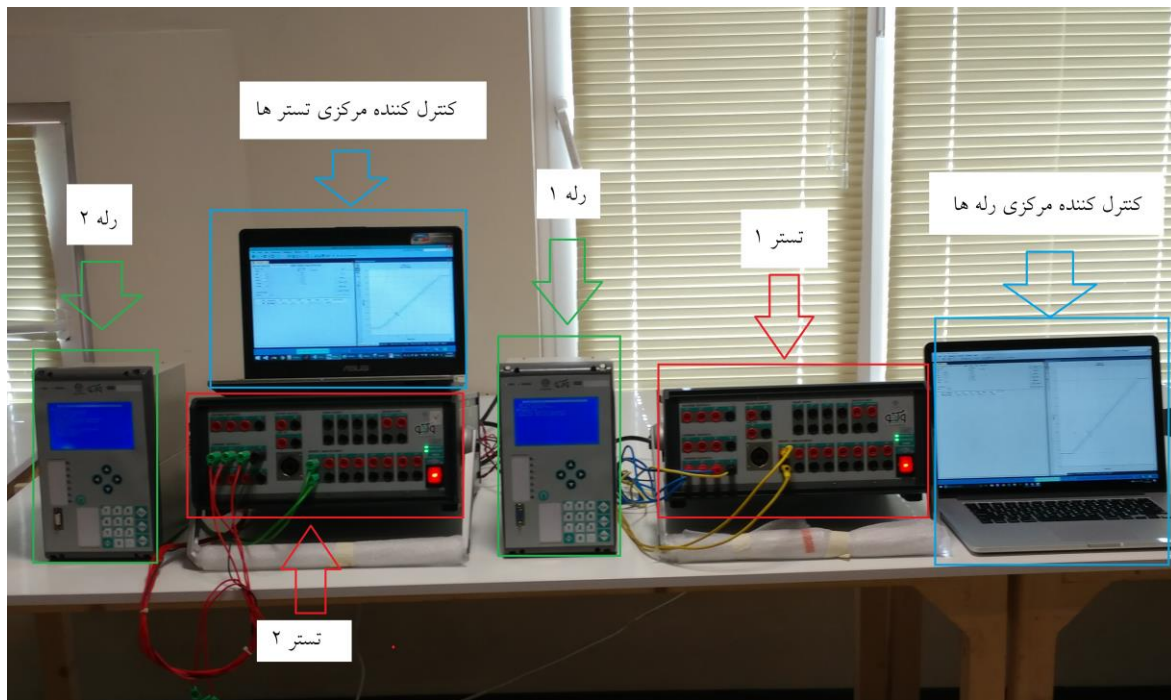
## ۵. تست در شبکه آزمایشگاهی

برای انجام تست در شبکه آزمایشگاهی از یک کنترل کننده مرکزی به عنوان کنترل کننده ریزش شبکه و از یک کنترل کننده دیگر به عنوان کنترل کننده رلهها استفاده می شود. شکل ۴ نمودار تک خطی این تست را نشان می دهد.



شکل ۴ - نمودار تک خطی نحوه تست در شبکه آزمایشگاهی

همانطور که از شکل ۴ مشخص است کنترل کننده مرکزی مقدار ولتاژ و جریان مورد نیاز برای تزریق را به تسترها ارسال کرده و سپس تسترها به طور همزمان شروع به تست می کنند. در ادامه کنترل کننده مرکزی رلهها را تجزیه و تحلیل جریانهای ارسالی از رلهها فرمان قطع را به یکی از رلهها صادر می کند. در ادامه نتایج بدست آمده را برای کنترل کننده تسترها ارسال می کند تا کنترل کننده تست آن را با دیتاهای ارسالی از طریق تسترها مقایسه کند و نتیجه را اعلام کند. برای تست عملی شرایط شکل ۴ به صورت آزمایشگاهی پیاده سازی شده است (شکل ۵) در ادامه یک بار خطا بر روی رله ۱ قرار داده شده و سپس خطا بر روی رله ۲ قرار داده می شود. نتایج این تست در جدول ۱ بیان شده است.



شکل ۵ - ستاپ تست سیستم حفاظتی ریزشبهه با کنترل کننده مرکزی

جدول ۱- نتایج تست

حالت‌ها	خطا	عملکرد	نتیجه تست
حالت ۱	خطا بر روی رله ۱	رله ۱ پیکاپ کرده، عملکرد داشته رله ۲ پیکاپ کرده، عملکرد نداشته	تست قبول است
حالت ۲	خطا بر روی رله ۲	رله ۱ پیکاپ کرده، عملکرد نداشته رله ۲ پیکاپ کرده، عملکرد داشته	تست قبول است
حالت ۳	خطا بر روی هر دو رله	هر دو رله پیکاپ کرده و عملکرد داشته است	تست قبول است

## ۶. نتیجه گیری

ساختار پویای ریز شبکه و شرایط عملکردی متنوع آن توسعه استراتژی های حفاظتی را می طلبد. بهترین شیوه حفاظتی ریز شبکه ها استفاده از سیستم کنترل کننده مرکزی است. این سیستم نیز مانند دیگر تجهیزات حفاظتی نیاز به انجام تست های دوره ای به منظور اطمینان از عملکرد درست سیستم در خطاهای متفاوت دارد. در این مقاله اقدام به تست یک ریز شبکه آزمایشگاهی با کنترل کننده مرکزی با استفاده از سیستم IEC-61850 شد و نتایج آن بیان گردیده است.

## ۷. مراجع

- [۱] P. Schavemaker and L. Van der Sluis, *Electrical power system essentials*. John Wiley & Sons, 2017.
- [۲] C. Colson and M. Nehrir, "A review of challenges to real-time power management of microgrids," in *Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES'09. IEEE*, 2009, pp. 1-8: IEEE.
- [۳] R. Currie, G. Ault, C. Foote, G. Burt, and J. McDonald, "Fundamental research challenges for active management of distribution networks with high levels of renewable generation," in *Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International*, 2004, vol. 3, pp. 1024-1028: IEEE.
- [۴] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatziargyriou, and A. Dimeas, "Microgrids management," *IEEE power and energy magazine*, vol. 6, no. 3, 2008.
- [۵] J. A. Momoh, *Smart grid: fundamentals of design and analysis*. John Wiley & Sons, 2012.
- [۶] S. H. Horowitz and A. G. Phadke, *Power system relaying*. John Wiley & Sons, 2008.
- [۷] T. S. Ustun, C. Ozansoy, and A. Zayegh, "Modeling of a centralized microgrid protection system and distributed energy resources according to IEC 61850-7-420," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 3, p. 1560, 2012.
- [۸] T. S. Ustun, C. Ozansoy, and A. Zayegh, "A microgrid protection system with central protection unit and extensive communication," in *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on*, 2011, pp. 1-4: IEEE.
- [۹] G. Manassero, E. L. Pellini, E. C. Senger, and R. M. Nakagomi, "IEC61850-based systems—functional testing and interoperability issues," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, no. 3, pp. 1436-1444, 2013.
- [۱۰] D. Baigent, M. Adamiak, R. Mackiewicz, and G. M. G. M. SISCO, "IEC 61850 communication networks and systems in substations: An overview for users," *SISCO Systems*, 2004.
- [۱۱] J.-C. Tan, V. Green, and J. Ciufo, "Testing IEC 61850 based multi-vendor substation automation systems for interoperability," in *Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE'09. IEEE/PES*, 2009, pp. 1-5: IEEE.
- [۱۲] S. Roostaei, R. Hooshmand, and M. Ataei, "Substation automation system using IEC 61850," in *Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2011 5th International*, 2011, pp. 393-397: IEEE.





- [۱۳] P. Montignies, P. Angays, and L. Guise, "IEC 61850 in the Oil and Gas Industries," *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 17, no. 1, pp. 36-46, 2011.