

بررسی مکان‌یابی هوشمند ریکلوزر برای فیدر نمونه استان گلستان با هدف بهبود قابلیت اطمینان

حسین نفیسی^۱، سید محمد محیطی^۲، شهرام شاهی^۳، محسن اصیلی^۴

^۱ شرکت توزیع نیروی برق استان گلستان
hosseinnafisi55@gmail.com

^۲ شرکت توزیع نیروی برق استان گلستان
m.mohiti@gmail.com

^۳ شرکت توزیع نیروی برق استان گلستان
mohandesi@goped.ir

^۴ دانشگاه صنعتی شاهرود
m.assili@shahroodut.ac.ir

چکیده

یکی از مهمترین موارد در حوزه سیستم نیروی سانی و قدرت، موضوع امنیت و پایداری سیستم مربوطه است. از یک سو اختلالات و حوادثی که به صورت غیرقابل پیش‌بینی در حال رخ دادن هستند و از سوی دیگر گستردگی و پراکندگی شبکه توزیع، به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌های این حوزه می‌باشد و عملکرد سیستم را تحت الشعاع قرار می‌دهد. لذا توجه و انجام اقدامات پی‌شگیرانه حفاظتی و همچنین بکارگیری مناسب و بهینه تجهیزات موجود در شبکه، امری حیاتی برای ادامه عملکرد مطلوب سیستم می‌باشد.

در این مقاله فیدر "علی‌آباد - نئوپان" سیستم توزیع نیروی برق استان گلستان، در جهت ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا فیدر مورد مطالعه معرفی و خطاهای موردنظر بررسی خواهد شد. در ادامه شاخص‌های قابلیت اطمینان در سناریوهای مختلف با مکان‌یابی هوشمند و حذف و بکارگیری ادوات مختلف بررسی خواهد گردید. در نهایت پس از انجام مطالعات پخش بار پ-سرو-پیشرو نتایج بدست آمده مورد مقایسه و تحلیل قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی

شبکه توزیع، قابلیت اطمینان، ریکلوزر، کات اوت فیوز، پخش بار

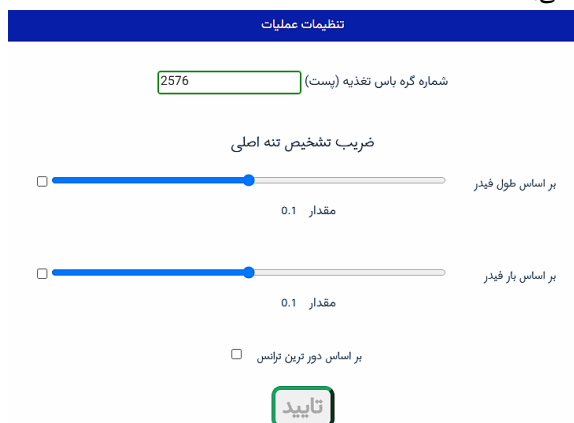
۱- مقدمه

مهمترین اولویت‌ها در این حوزه می‌باشد. از این رو تدابیر اساسی و ویژه‌ای جهت حفاظت و پایداری باید اندیشید. سیستم نیروسانی انرژی برق از سه بخش تولید، انتقال و توزیع تشکیل می‌شود که بخش توزیع به عنوان آخرین بخش از این فرآیند به صورت مستقیم با مصرف کنندگان در ارتباط است. به طوری که تصمیمات در این بخش به

امروزه با توجه به رشد چشمگیر تکنولوژی و گسترش فعالیت‌های صنعتی، نیاز به انرژی الکتریسیته بیش از پیش احساس می‌شود. به گونه‌ای که تحویل انرژی برق با کیفیت و پایدار به مشترکین یکی از

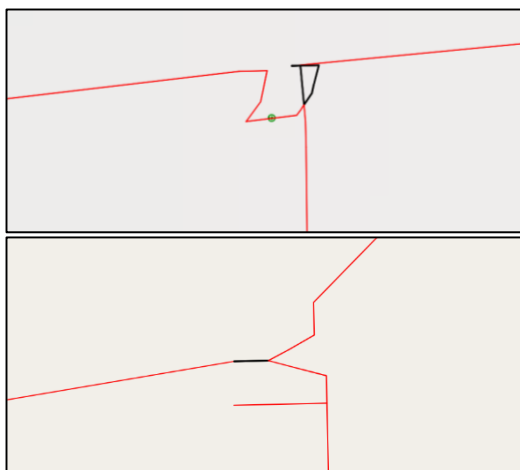
۱-۲- بررسی خطا

در ادامه تنظیمات عملیات برای بررسی خطا روی فیدر به صورت شکل (۲) می‌باشد.



شکل (۲): بررسی خطا

با تایید بررسی خطا مکان خطاهای توپولوژیک (مکان حلقه و مکان جزیره) را نشان می‌دهد. فیدر مورد مطالعه دارای دو مکان حلقه می‌باشد که در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): مکان حلقه اول و دوم

۲-۲- تشخیص تنه اصلی فیدر مورد مطالعه

با برطرف کردن خطاهای توپولوژیک (مکان حلقه و مکان جزیره) می‌توان تنه اصلی فیدر را مشخص نمود، که با رنگ بنفش برای ضرایب مشخص شده و به ترتیب براساس طول، بار و دورترین مکان در شکل (۴) نشان داده شده است.

صورت مستقیم مصرف کنندگان را تحت الشعاع قرار می‌دهد. در همین راستا با توجه به هزینه بالای تجهیزات حفاظتی، به کارگیری صحیح و مناسب آن‌ها علاوه بر ارتقا قابلیت اطمینان سیستم، رضایتمندی مصرف کننده را پدید می‌آورد.

مرجع [۱] به جایابی جداکننده‌ها در جهت افزایش قابلیت اطمینان شبکه توزیع پرداخته است. در مرجع [۳ و ۲] به بررسی به کارگیری تجهیزات حفاظتی و میزان خاموشی‌ها و شاخص‌های قابلیت اطمینان پرداخته شده است. در [۴] از یک برنامه ریزی خطی محدب جهت مکان‌یابی و نوع سنجی همزمان تجهیزات حفاظتی و کنترلی شامل کلیدهای کنترل دستی و اتوماتیک، فیوزها و ریکلوزرها ارائه شده است. در این مقاله نیز به بررسی و تحلیل شاخص‌های قابلیت اطمینان فیدر نمونه علی‌آباد - نئوپان پرداخته می‌شود. در بخش اول به معرفی فیدر مربوطه و تعداد ادوات حفاظتی به کارگرفته شده در آن پرداخته می‌شود. تنه اصلی فیدر نمونه، مکان قرارگیری خازن‌ها و کات اوت فیوزهای شبکه مشخص می‌گردد. در بخش بعدی به بررسی شاخص‌های قابلیت اطمینان پرداخته می‌شود. شاخص‌های پایه و پرکاربرد قابلیت اطمینان در سناریوهای مختلف بررسی می‌شود. در بخش بعدی نیز مطالعات پخش بار پسر-پیشرو صورت می‌گیرد.

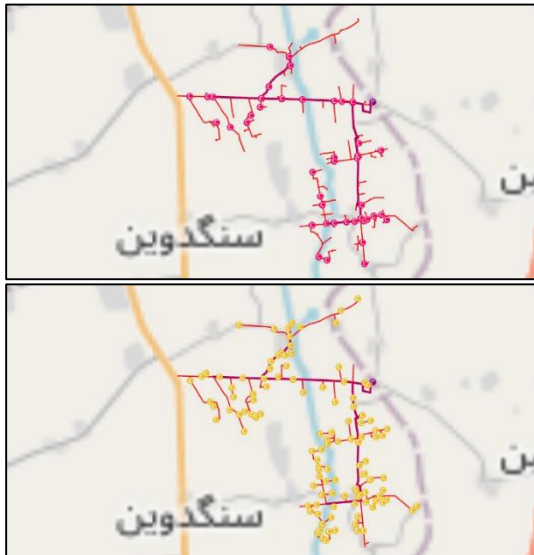
۲- معرفی فیدر علی‌آباد-نئوپان

شکل (۱) نشان دهنده فیدر نمونه مورد مطالعه با طول مشخص است. با انتخاب و ساخت ماتریس شبکه طول فیدر در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): فیدر علی‌آباد-نئوپان

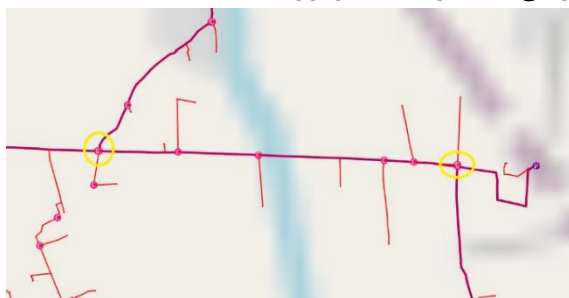
همچنین در شکل (۶) کات اوت فیوزهای شبکه و کات اوت فیوزهای ترانسفورماتور به ترتیب نشان داده شده است.



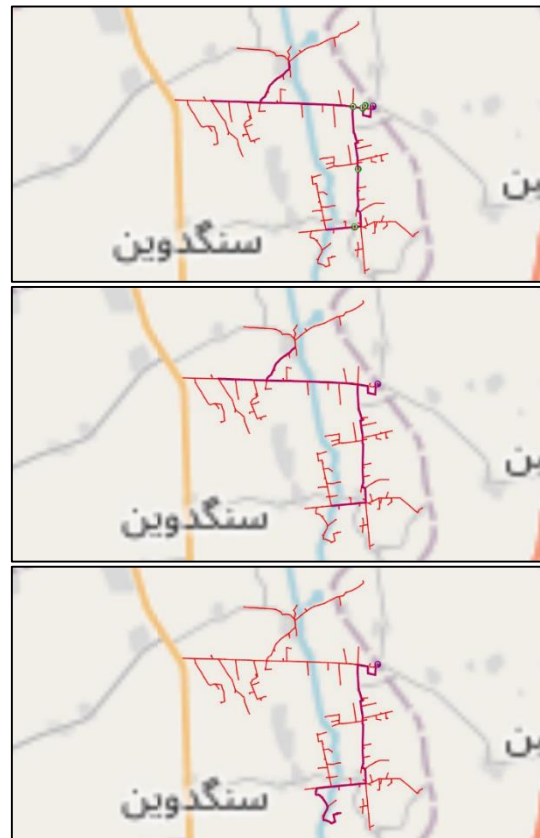
شکل (۶) : کات اوت فیوزها: الف. شبکه - ب. ترانسفورماتور

۲-۴- مکان نامناسب کات اوت فیوزهای شبکه روی تنه اصلی

در شکل (۷) مکان نامناسب کات اوت فیوزها روی تنه اصلی نشان داده شده است. این کات اوت فیوزها می‌تواند مطالعات قابلیت اطمینان و مکان‌یابی کلیدها را تحت تاثیر قرار دهد.



شکل (۷) : مکان نامناسب کات اوت فیوزهای شبکه روی تنه اصلی

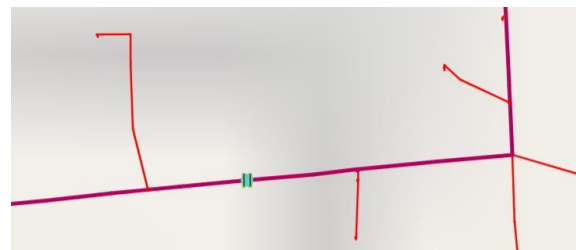


شکل (۴) : تشخیص تنه اصلی براساس: الف. طول فیدر - ب. بار فیدر - ج. دورترین فیدر

همانطور که در شکل‌های بالا مشاهده می‌شود، تنه اصلی فیدر با رنگ بنفش نشان داده شده است و انجام مطالعه و تحلیل در فیدر برای تشخیص تنه اصلی براساس طول می‌باشد.

۲-۳- مکان قرارگیری خازن، کات اوت فیوزهای شبکه و ترانس در فیدر

مکان قرارگیری خازن در فیدر علی‌آباد-نئوپان در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵) : مکان قرارگیری خازن در فیدر

- سناریو سوم: در سناریو سوم شاخص قابلیت اطمینان با حذف کات اوت فیوزهای نامناسب مورد بررسی قرار گرفته شده است.
- سناریو چهارم: در این سناریو مکان‌یابی هوشمند برای یک ریکلوزر با حذف کات اوت فیوزهای نامناسب مورد بررسی قرار گرفته شده است.

۳-۱- پارامترهای ارزیابی قابلیت اطمینان

در شکل (۹) پارامترهای ارزیابی قابلیت اطمینان نشان داده شده است.

پارامتر های ارزیابی قابلیت اطمینان	
متوسط زمان رفع عیب(ساعت)	1.804
نرخ خطای گذر(تعداد بر کیلومتر)	1.115
نرخ خطای ماندگار(تعداد بر کیلومتر)	0.1458
متوسط انرژی مصرفی سالانه(کیلو وات بر ساعت)	180
ارزش بار از دست رفته(نومان بر کیلو وات ساعت)	6000
مشخصات	
شماره گره باسی تغذیه (بست)	2575
زمان سوئیچینگ (ساعت)	1
حداقل مقدار فاصله مجاز بین دو ریکلوزر(کیلومتر)	10
تایید	

شکل (۹) : پارامترهای ارزیابی قابلیت اطمینان

- محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم

نرخ خرابی المان: λ_i failure of line
زمان تعمیر المان: r_i is repaired time of line

میانگین زمان خروج المان در طول دوره:

$$U_i = \lambda_i r_i \quad (1)$$

- شاخص‌های پایه قابلیت اطمینان نقطه بار
نرخ خروج نقطه n:

$$\lambda_n = \sum_i \lambda_i \quad (2)$$

میانگین زمان خروج نقطه بار n در طول دوره:

$$U_n = \sum_i \lambda_i r_i \quad (3)$$

میانگین زمان خروج نقطه بار n به ازای هر خرابی:

$$r_n = U_n / \lambda_n \quad (4)$$

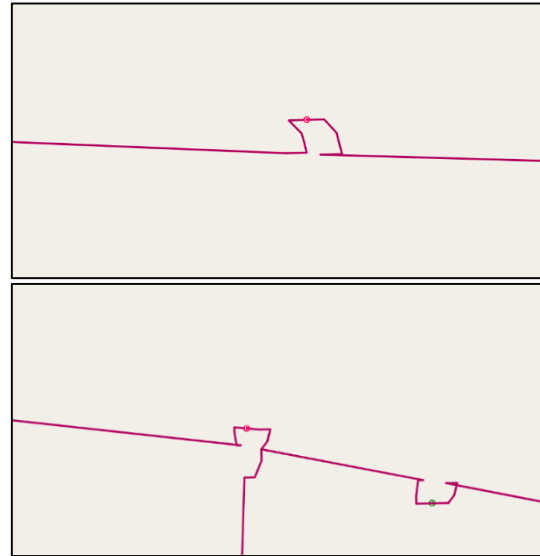
۳-۲- پارامترهای مکان‌یابی

- شاخص‌های عملکرد قابلیت اطمینان

آ. شاخص متوسط فراوانی قطع برق سیستم، $SAIFI$

$$SAIFI = \frac{\sum_i \lambda_i N_i}{N_i} \quad (5)$$

که λ_i نرخ خرابی و N_i تعداد مشترکین در محل بار نام است.



شکل (۸) : نمایش محل قرارگیری کات اوت فیوزها روی تنه اصلی

مطابق شکل (۸) کات اوت فیوزهای قرار گرفته شده در تنه اصلی شماره‌های ۱۸ و ۴۰ می‌باشد.

۲-۵- تعداد تجهیزات حفاظتی فیدر

جدول (۱) نشان دهنده تعداد تجهیزات حفاظتی فیدر مورد مطالعه است.

جدول (۱) : اطلاعات فیدر علی آباد-نئوپان

تعداد	نوع ادوات
۱	خازن
۰	ریکلوزر
۱	بریکر
۰	سکشنلایزر
۶	دیسکانکتور
۴۸	کات اوت فیوز شبکه
۱۲۰	کات اوت فیوز ترانسفورماتور

۳- شاخص‌های قابلیت اطمینان

برای بررسی شاخص‌های قابلیت اطمینان در این بخش، چهار سناریو مورد بررسی قرار گرفته است [۵].

- سناریو اول: در سناریو اول شاخص‌های قابلیت اطمینان پایه مورد بررسی قرار گرفته شده است.
- سناریو دوم: در سناریو دوم مکان‌یابی هوشمند برای یک ریکلوزر مورد بررسی قرار گرفته شده است.

جدول (۳) : بهبود شاخصهای قابلیت اطمینان پس از مکان یابی ریکلوزر

نوع شاخص	پیش از مکان یابی هوشمند	پس از مکان یابی هوشمند	درصد بهبود (برحسب درصد)
SAIFI	۲,۴۱	۱,۸	۲۵,۳۱
SAIDI	۳,۷۹	۳,۰۵	۱۹,۵۳

مطابق جدول (۳) مشاهده می شود که با اضافه کردن یک عدد ریکلوزر به فیدر شاخصهای قابلیت اطمینان بهبود پیدا می کند، شاخص SAIFI مقدار ۲۵,۳۱ درصد و شاخص SAIDI مقدار ۱۹,۵۳ درصد بهبود یافته است.

۳-۴- سناریو سوم

در این سناریو کات اوت فیوزهای که مطابق شکل (۷) در تنه اصلی قرار گرفتند و باعث می شود که مکان یابی هوشمند برای تجهیزات موقعیت بهتری در فیدر نداشته باشند حذف می شوند. در ادامه در جدول (۴) شاخصهای قابلیت اطمینان این قسمت نشان داده شده است.

۴-۴- سناریو چهارم

در این سناریو با توجه به اینکه کات اوت فیوزهای نامناسب در تنه اصلی از فیدر حذف شدند، مکان یابی هوشمند برای یک عدد ریکلوزر انجام شده است. همانطور که در شکل (۱۱) نشان داده شده است با حذف کات اوت فیوزها از تنه اصلی مکان یابی هوشمند برای یک عدد ریکلوزر موقعیت بهتری پیدا شده است. جدول (۴) نشان دهنده شاخصهای قابلیت اطمینان سناریو ۳ و ۴ است.



شکل (۱۱) : موقعیت مکانیابی هوشمند برای ریکلوزر با حذف کات اوت فیوزها از تنه اصلی

این شاخص نشان می دهد که یک مشترک در طول دوره مطالعه به طور متوسط با چند قطعی مواجه شده است. هر چه مقدار این شاخص بزرگتر باشد سیستم از لحاظ قابلیت اطمینان ضعیف تر است.

ب. شاخص متوسط مدت قطع برق سیستم، $SAIDI^r$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{N_i} \quad (۶)$$

که U_i مدت زمان خاموشی سالیانه و N_i تعداد مشترکین در محل بار نام است.

این شاخص بیانگر مدت زمان متوسطی است که هر مشترک با قطعی برق مواجه می شود که این مدت مختص قطعیهای ماندگار بوده و قطعیهای گذرا را شامل نمی شود. هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، قابلیت اطمینان سیستم بیشتر خواهد بود.

۴- بررسی شاخصهای قابلیت اطمینان

۴-۱- سناریو اول

بررسی شاخص قابلیت اطمینان پایه شبکه با توجه به مکان اولیه تجهیزات حفاظتی فیدر، در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲) : قابلیت اطمینان پایه فیدر

تعداد خطاهای ماندگار در سال	میانگین مدت خاموشی (ساعت بر سال)
۲,۴۱	۳,۷۹

در جدول (۲) مشاهده می شود که مقدار SAIFI برابر با ۲,۴۱ و مقدار SAIDI برابر با ۳,۷۹ است.

۴-۲- سناریو دوم

در سناریو دوم برای فیدر با توجه به تجهیزات اولیه فیدر مکان یابی هوشمند برای یک ریکلوزر مورد بررسی قرار گرفته شده است در شکل (۱۰) مکان ریکلوزر و در جدول (۳) نتایج شاخص قابلیت اطمینان نشان داده شده است.



شکل (۱۰) : موقعیت مکان یابی هوشمند برای یک ریکلوزر

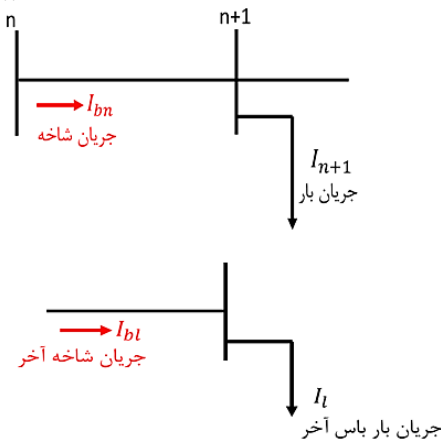
$$I_{n+1} = \frac{S_{n+1}^*}{V_{n+1}^*} \quad (7)$$

محاسبه جریان شاخه‌ها:

$$I_{bn} = I_{n+1} + I_{bn+1} \quad (8)$$

محاسبه جریان باس آخر:

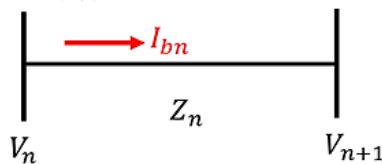
$$I_l = I_{bl} \quad (9)$$



شکل (۱۲): مسیر پشرو

مرحله ۳ پیشرو: مسیر پیشرو جهت محاسبه ولتاژ باس‌ها استفاده می‌شود که مطابق شکل (۱۳) از باس ابتدا به سمت بارهای انتهایی فیدر می‌رویم. محاسبه ولتاژ باس‌ها:

$$V_{n+1} = V_n - Z_n I_{bn} \quad (10)$$



شکل (۱۳): مسیر پیشرو

مرحله ۴ سوال: آیا اختلاف ولتاژ باس‌ها با تکرار قبلی به اندازه کافی کوچک است؟

- بله اتمام
- خیر رفتن به مرحله دوم (پشرو)

در صورت اتمام، تلفات هر خط و تلفات شبکه محاسبه می‌شود.

۵-۲- خروجی پخش بار

با انجام مراحل پخش بار پشرو-پیشرو ولتاژ گره‌ها، درصد بارگیری خطوط و نمودار حرارتی ولتاژ در شکل‌های (۱۴-۱۶) نشان داده شده است.

جدول (۴): بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان با حذف کات اوت فیوزها از تنه اصلی و مکانیابی هوشمند برای ریکلوزر

نوع شاخص	پیش از مکان‌یابی هوشمند	پس از مکان‌یابی هوشمند	درصد بهبود (برحسب درصد)
SAIFI	۳,۳۷	۲,۵۶	۲۴,۰۴
SAIDI	۵,۵۳	۴,۰۸	۲۶,۲۲

همانطور که در جدول (۴) نشان داده شده است، با مکان‌یابی هوشمند برای یک ریکلوزر با حذف کات اوت فیوزهای تنه اصلی با شماره ۱۸ و ۴۰ مکان بهتری برای ریکلوزر پیدا شده است و شاخص SAIFI مقدار ۲۴,۰۴ درصد و شاخص SAIDI مقدار ۲۶,۲۲ درصد بهبود یافته اند.

۵-۵- تحلیل پخش بار

ویژگی‌های شبکه توزیع:

- ساختار شعاعی
- نسبت X/R بالا

۵-۱- روش پشرو-پیشرو^۲

در مسیر پیشرو ولتاژ باس‌ها محاسبه می‌شود و در مسیر پشرو جریان خطوط محاسبه می‌شود.

سه مدل بار در شبکه توزیع وجود دارد:

۱. توان ثابت (اصولا به این صورت هستند PQ)
۲. جریان ثابت
۳. امپدانس ثابت

اطلاعات ورودی:

۱. توان یا امپدانس بارها
۲. ولتاژ باس مبنا
۳. X و R خطوط

اطلاعات خروجی: جریان، ولتاژ و توان عبوری در کلیه بخش‌های شبکه

مراحل انجام پخش بار پشرو-پیشرو به صورت زیر می‌باشد:

مرحله ۱ پیشرو: در مرحله اول ولتاژ تمام باس‌ها یک با زاویه صفر در نظر گرفته می‌شود که همان ولتاژ باس مبنا^۴ می‌باشد.

مرحله ۲ پشرو: از شاخه‌های آخر فیدر به سمت ابتدای فیدر حرکت می‌کنیم که در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

محاسبه جریان بارها:

۶- نتیجه

مطابق نتایج بدست آمده مشخص گردید که انتخاب مکان یابی مناسب و هوشمند ریکلوزرها چگونه باعث بهبود سطح قابلیت اطمینان سیستم است. همچنین با حذف مناسب برخی از ادوات حفاظتی موجود، مشاهده می شود که سطح قابلیت اطمینان سیستم با افزایش چشمگیری مواجه می شود.

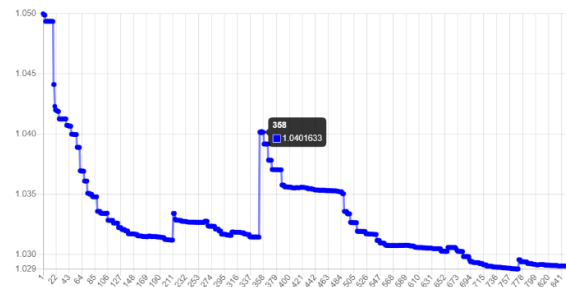
مراجع

- [1] V. Calderaro, V. Galdi, A. Piccolo, P. Siano "Improving reliability system by optimal sectionaliser placement in smart distribution grid," *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 04-07 July 2010
- [2] Ertan Yanikuglu, Turker Fedai Cavus, "Effect of Protection Equipment on Reliability Indices of load Point in distribution Systems", International conference Electrical and Electronics, Bursa, Turkey, 1-5 Dec 1999..
- [3] H. Hashemi. Dezaki, H. Askaraiyan. Abyaneh, Y. Kabiri, H. Nafisi, K. Mazlumi, H. Akbar Fakhrabadi, "Optimized Protective Devices Allocation in Electric Power Distribution Systems Based on the Current Conditions of the Devices", International conference on power and energy, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov 29- Dec 1.2010.
- [4] A. Shahbazian; A. Fereidunian. "Allocation of controller and protective devices with the self-healing approach in smart distribution network". *TABRIZ JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING*, 50, 4, 2021, 1697-1708.
- [5] Roy Billinton, Ronald N. Allan "Reliability Evaluation of Engineering Systems" TA169.B54 1992.

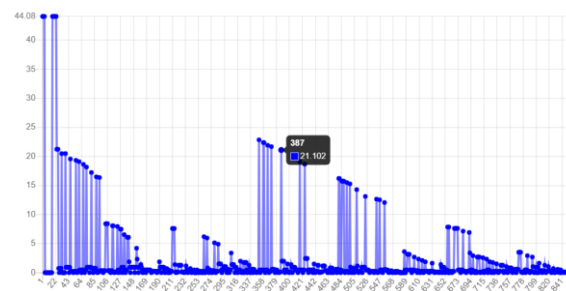
زیر نویس ها

³ Forward-Backward

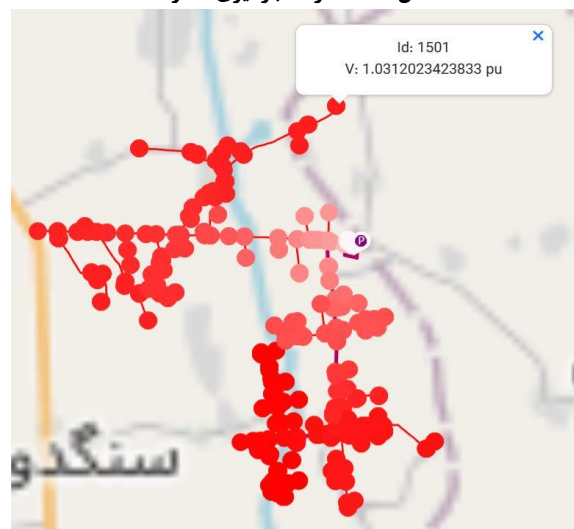
⁴ Slack Bus



شکل (۱۴): ولتاژ گره ها



شکل (۱۵): درصد بارگیری خطوط



شکل (۱۶): نمودار حرارتی ولتاژ

¹ System Average Interruption Frequency Index

² System Average Interruption Duration Index