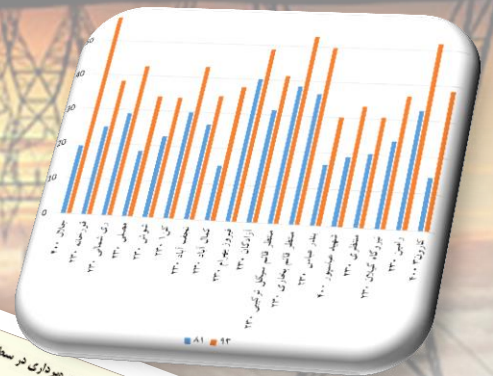
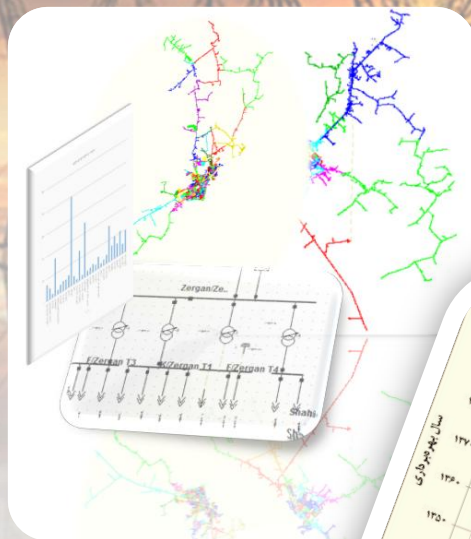
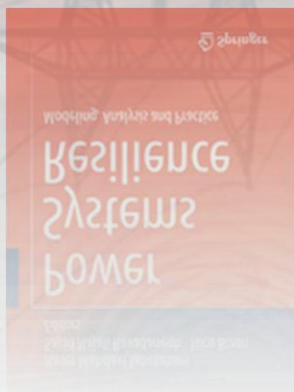
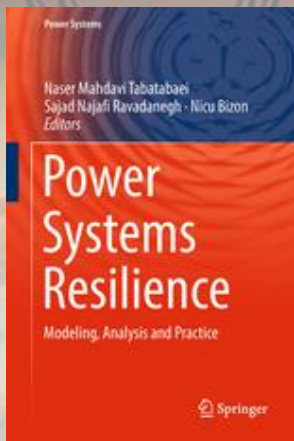




# بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

پژوهشگاه نیرو - گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

سال سوم، شماره ۹، تابستان ۱۳۹۷



# به نام خدا

## گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: مجتبی گیلوانژاد

سر دبیر: هادی نوروزی

مدیر اجرایی: هادی نوروزی

گرافیکست و صفحه آرا: هادی نوروزی

ویراستار: هادی نوروزی، پریسا سادات حسینیان

عکس روی جلد: هادی نوروزی

همکاران این شماره: مجتبی گیلوانژاد، آرمان

صفایی، هادی نوروزی، پریسا سادات

حسینیان، رضا رحمانی، امیررضا حسنی آهنگر

همکاران گروه: مجتبی گیلوانژاد، فرشید

منصوربخت، پژمان خزایی، مصطفی گودرزی،

آرمان صفایی، هادی نوروزی

همکاران معاونت پژوهشی: مسعود حسنی

مرزونی، نوشین فرودی

ناشر:

نشانی الکترونیکی: [honorouzi@nri.ac.ir](mailto:honorouzi@nri.ac.ir)

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک

باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه تجهیزات

خط و پست

تلفن: ۰۲۱-۸۸۵۹۰۱۷۳

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۵۷۴۷۸۶

اعضای هیئت تحریریه:

مجتبی گیلوانژاد، آرمان صفایی، پژمان خزایی،

مصطفی گودرزی، هادی نوروزی

### اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی تجهیزات

خط و پست» با هدف ایجاد بستر مناسب برای

تبادل اطلاعات مربوط به تجهیزات خط و پست

به صورت داخل پژوهشگاهی منتشر می شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای

هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می کند و استفاده

از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش های

درج شده بر عهده نویسندگان است.

• سخن سردبیر	۱
• خبر و گزارش	۲
• بررسی سطح اتصال کوتاه شبکه انتقال ایران و استفاده از FCL به منظور کاهش سطح اتصال کوتاه شبکه	۱۰
• چالش‌های سیستم انتقال و فوق توزیع شبکه خوزستان با در نظرگیری حوادث به وجود آمده در بهمن ۹۵ و بررسی شرایط آب و هوایی	۳۲
• بخش بین المللی	۴۹
• تازه‌های نشر	۵۸

## سخن سردبیر

سپاس خداوند را که هستی، نام از او یافت و خرد را بی میانجی حکمت آموخت تا او را بشناسیم که شناخت او، از شناخت خود و دنیای اطراف خود شروع می شود.

بدون شک یکی از ویژگی های عصر حاضر این است که نشر و تبادل اطلاعات همزمان با پیشرفت تکنولوژی و فناوری در زمینه های مختلف علمی، با سرعت زیاد در حال انجام است. در مورد سیستم های قدرت و تجهیزات مرتبط با آن نیز چه در زمینه تکنولوژی و چه در زمینه پژوهش ها و خدمات انجام یافته، تغییرات رو به جلو بوده و پیشرفت های زیادی در مراحل مختلف تولید تا توزیع و مصرف برق، شکل گرفته است. تجهیزات و فعالیت های مربوط به خط و پست نیز از این مقوله مستثنی نبوده و با توجه به اهمیت فراوان آن، در کارایی سیستم قدرت نقش بسزایی دارد.

پروژه ها و تحقیقات انجام شده در گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست پژوهشگاه نیرو، همواره در مسیر پیشرفت و در سطح فعالیت های پیشرو در دنیا می باشد. با توجه به اهمیت نشر و تبادل اطلاعات سعی شده است که این نشریه پژوهشی از انواع فعالیت های پژوهشی و تخصصی انجام شده در گروه باشد تا بتوان با استفاده از نشر این فعالیت ها در قالب گزارشات و مقالات، ارتباط مناسبی با گروه های مختلف داخل پژوهشگاه و همچنین سایر مراکز علمی و تحقیقاتی مثل دانشگاه ها برقرار کرد.

### هادی نوروزی

گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست

## شروع پروژه

امکان‌سنجی فنی و اقتصادی تغییر سطوح ولتاژی شبکه فشار متوسط خوزستان به ۲۰ کیلوولت با در نظرگیری تغییرات پست‌های انتقال و فوق توزیع با هدف بهبود آماد و پشتیبانی شبکه در شرایط وقوع حوادث طبیعی سخت - فاز اول: شهر اهواز

## مدیر پروژه: هادی نوروزی

یکی از دسته‌بندی‌هایی که برای سیستم قدرت انجام می‌گیرد تقسیم آن بر اساس سطح ولتاژ شبکه می‌باشد. تعاریفی که برای سطوح ولتاژی مختلف معمولاً به کار می‌رود عبارتند از سطح ولتاژ پایین (LV) که زیر یک کیلوولت می‌باشد، ولتاژ متوسط (MV) که معمولاً بین ۱ تا ۳۶ کیلوولت بوده، ولتاژ بالا (HV) که بالای ۳۶ کیلوولت بوده و در ایران شامل ولتاژهای ۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت می‌باشد. البته ولتاژ ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت به عنوان فوق توزیع و ولتاژهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت در دسته انتقال قرار داده می‌شوند. انتخاب سطح ولتاژ شبکه توزیع اساساً یک انتخاب فنی و اقتصادی است که بایستی با توجه به وسعت شبکه، میزان تقاضا و پیش‌بینی رشد مصرف همچنین نرخ و روند رشد تقاضا و سایر عوامل فنی و اقتصادی انجام شود. ولتاژ بهره‌برداری از شبکه MV تاثیر زیادی بر ویژگی‌ها و خصوصیات و همچنین طراحی آن سیستم دارد. ولتاژ انتخاب شده حداکثر طول هر فیدر و بارگذاری آن، تعداد فیدرها و تعداد پست‌های توزیع برق‌رسانی شده از هر فیدر را مشخص می‌سازد. همچنین این موضوع بر تعداد مشترکین، تلفات سیستم، قابلیت اطمینان، نحوه هماهنگی عایقی تجهیزات، برنامه‌های بهره‌برداری، حفاظت و کنترل، تعمیر و نگهداری و در نهایت در هزینه‌های سالیانه و برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری موثر می‌باشد.

شبکه‌های MV در ایران معمولاً دارای سطح ولتاژ ۲۰ کیلوولت می‌باشند اما مناطقی در کشور از جمله در خوزستان دارای ولتاژ متفاوتی بوده و در سطح ولتاژ ۱۱ و ۳۳ کیلوولت می‌باشند.

بسیاری از سیستم‌های قدرت در کشورهای مختلف با چالش‌های بحرانی و مهمی در زیرساخت‌های شبکه برق خود مواجه‌اند. موضوعاتی مانند عمر بالای تجهیزات، طراحی‌های قدیمی در سیستم، مشکلات زیست محیطی و آلودگی‌های محیطی، افزایش بسیار زیاد تقاضای انرژی، نحوه چیدمان و توپولوژی شبکه، نحوه تامین توان و انتقال آن، کنترل و حفاظت سیستم، روش‌های بهره‌برداری، کیفیت توان، قابلیت اطمینان، میزان تلفات و برنامه‌ریزی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری در شبکه از جمله این چالش‌ها می‌باشند. یکی از چالش‌های جدید در سیستم قدرت پدیده ریزگرد می‌باشد که با توجه به متفاوت بودن سطوح ولتاژی استان خوزستان نسبت به سایر نقاط کشور باعث ایجاد مشکلات فراوانی در شبکه برق شده‌است. ریزگردها و آلودگی‌های ناشی از این پدیده زیست محیطی بر روی تجهیزات و عناصر مختلف شبکه تاثیرگذار بوده و باعث اختلال در عملکرد صحیح آنها می‌شود که از جمله این تجهیزات می‌توان مقره‌ها، تجهیزات پست نیروگاه، سکسیونرها، ترانسفورماتورهای قدرت و مصرف داخلی، کلید قدرت، ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ بخشهای مختلف نیروگاه‌های حرارتی و تجهیزات ابزار دقیق، اشاره کرد. از عمده‌ترین مشکلات ناشی از ریزگردها که باعث بروز قطعی‌های گسترده در سیستم می‌شود، مشکلات عایقی و ایجاد شکست‌های الکتریکی در مقره‌ها می‌باشد که با توجه به این امر نیاز است راهکار مناسب جهت جلوگیری از بروز این مشکل ارائه داد. با توجه به این مشکلات پدیده ریزگرد به یکی از جدی‌ترین مسائل محیط زیستی پیش روی کشور تبدیل شده‌است. در واقع با توجه به اینکه در سیستم‌های قدرت تجهیزات بسیار زیادی در محیط باز قرار دارند در نتیجه آلودگی روی این تجهیزات و اثرات ناشی از آن در سیستم بسیار قابل توجه

بوده و نیاز به بررسی دارد. در واقع عوامل مهمی مانند بارندگی، مه، رطوبت، یخ، نمک، شن، گرد و غبار و از جمله ریزگردها، می‌توانند به عنوان آلودگی در نظر گرفته شده و به خصوص تحمل الکتریکی مقره‌ها و سطوح ولتاژی را تحت تاثیر قرار دهند. ایجاد ریزگرد مؤثر از عوامل طبیعی و انسانی است که بخش انسانی آن عمدتاً نوعی واکنش به تغییر پوشش و کاربری اراضی است. اثرات ناشی از پدیده گردوغبار می‌تواند تا فاصله دوری از منبع و منشأ اصلی آن پراکنده شده و خسارات فراوانی در زمینه های کشاورزی، صنعتی، حمل و نقل و سیستم‌های الکتریکی و مخابراتی به وجود آورد.

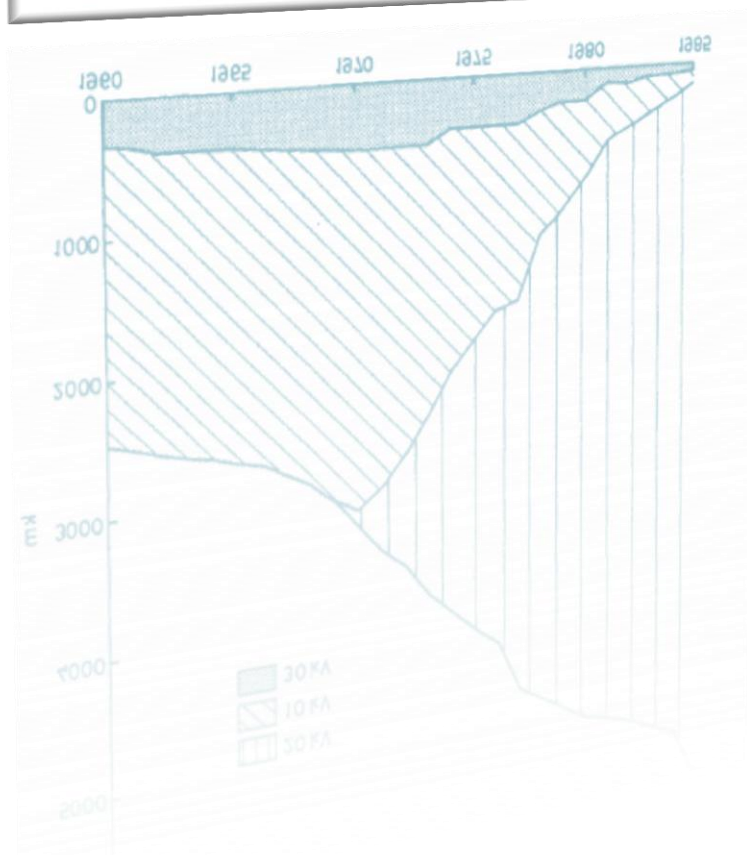
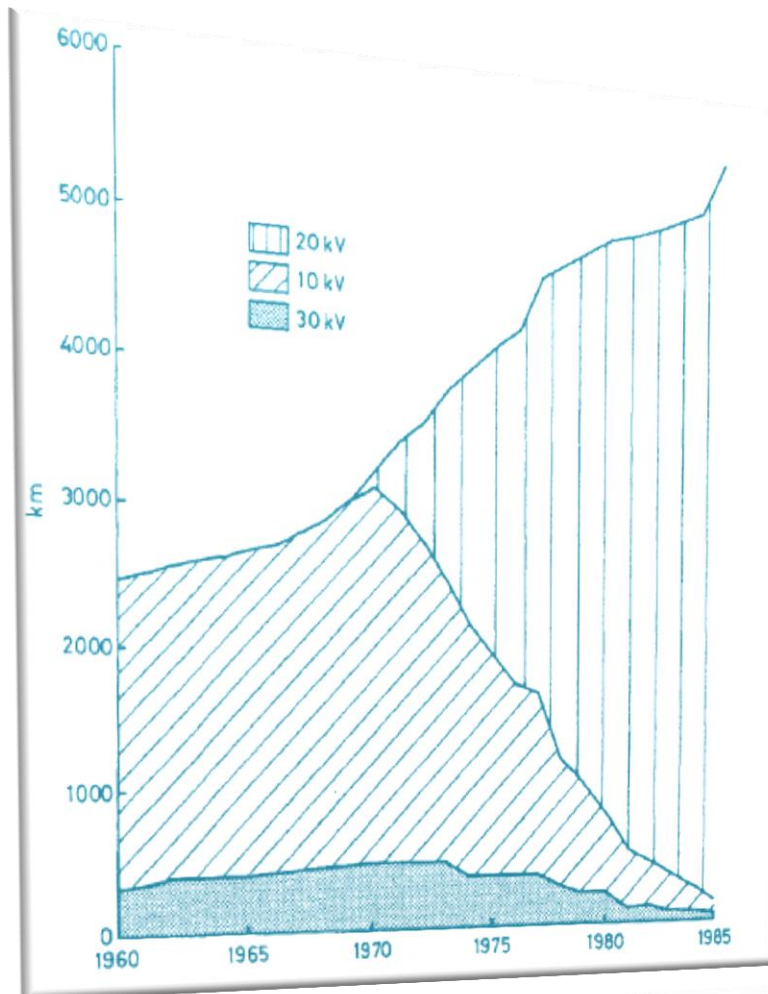
اقداماتی که برای رفع آلودگی از جمله ریزگردها و یا مقابله با اثرات آن بر روی تجهیزات سیستم قدرت تاکنون در دنیا انجام شده است، بر پایه روش‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت می‌باشد که انواع روش‌های شست و شوی مقره‌ها، استفاده از پوشش‌های سیلیکونی و یا ارتقاء تجهیزات از جمله این راه‌حل‌ها می‌باشند. یکی از روش‌های کوتاه مدت مقابله با قطعی‌های ناشی از ریزگرد جابجایی تجهیزات آسیب‌دیده با تجهیزات سالم است. بدین ترتیب باید نسبت به تنوع‌زدایی تجهیزات اقدام نموده و سطوح ولتاژی استان خوزستان را نیز به مانند سایر مناطق کشور در سطح ۲۰ کیلوولت به صورت استاندارد برق‌دار نمود تا بتوان در مواقع اضطراری از تجهیزات موجود در سایر مناطق کشور نیز بهره برد و مشکل قطعی بوجود آمده را در کمترین زمان ممکن رفع نمود. با توجه به این موضوع نیاز است که تغییراتی در شبکه قدرت موجود انجام یابد و با استفاده از اصلاحاتی که در مشخصات مختلف سیستم به وجود می‌آید، بتوان منجر به افزایش شاخص‌های فنی و اقتصادی سیستم شد.

با توجه به موارد ذکر شده ضرورت دارد که شبکه موجود شهر اهواز را با استفاده از راهکارهایی به نحوی تقویت کرد که مشکلات به وجود آمده ناشی از ریزگردها در این شبکه تا حد امکان کاهش پیدا کند. به طور کلی انگیزه ضرورت تقویت شبکه در شرایط زیر ایجاد می‌شود:

- تقویت مربوط به تغییرات در سطوح بار
- ضرورت تعویض تجهیزات به دلایل پیری و فرسودگی
- ضرورت بازنگری در سیستم (MV)
- ضرورت تنوع‌زدایی در تجهیزات
- جلوگیری از انحصار در تجهیزات کلیدی
- بازنگری فلسفه طراحی

بازنگری و تغییرات در سطح ولتاژ سیستم در کشورهای مختلف تاکنون انجام شده است برای مثال در کشور فنلاند به مرور و از سال ۱۹۶۰ تغییرات در سطح ولتاژ شبکه فشار متوسط انجام یافته است. در این کشور سیستم ۳۰-۱۱۰/۱۰ کیلوولت طی گذشت سالها و به مرور به سیستم ۱۱۰/۲۰ کیلوولت تغییر داده شده است و سیستم فشار متوسط از دو سطح ولتاژ به سمت داشتن یک سطح ولتاژ استاندارد پیش رفته است. در این اصلاح و بازنگری اثبات شده است که طرح و پروژه بسیار موفق بوده بطوریکه از لحاظ اقتصادی نیز به نفع سرمایه‌گذاران نیز بوده است. روند تغییرات سطح ولتاژ در کشور فنلاند به این صورت بوده است که طول خطوط ۲۰ کیلوولت با گذشت زمان زیاد شده و خطوط ۱۰ و ۳۳ کیلوولت کاهش یافته است.





یکی از کارهایی که در کشور انگلستان در حال حاضر و در سالیان اخیر انجام یافته است جایگزینی تجهیزات کلیدزنی و کابل‌ها در شبکه‌های ۶/۶ کیلوولت موجود با تجهیزات ۱۱ کیلوولت می‌باشد. همچنین چندین خط که در طول دهه ۵۰ و ۶۰ در انگلستان ساخته شده بودند، در اواخر دهه ۸۰ و ۹۰ ارتقاء یافته‌اند. در سال ۱۹۸۶، خط انتقال ۲۷۵ کیلوولتی بین اسکاتلند و انگلیس به خط ۴۰۰ کیلوولتی ارتقاء یافت. تعدادی از خطوط انتقال در کشور انگلیس و ولز به خاطر

حد حرارتی دارای توان انتقالی محدودی هستند. ظرفیت بعضی از خطوط موجود با هادی‌های ACSR در این کشور با افزایش حد حرارتی آن‌ها از ۵۰ تا ۷۵ درجه تا میزان ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. با جایگزینی هادی‌های GZTACSR در خطوط ۲۷۵ و ۴۰۰ کیلوولت به جای هادی‌های ACSR نیز می‌توان ظرفیت خط را تا ۱۳۰ درصد افزایش داد.

در حال حاضر با توجه به مشکلات بزرگ و متعددی که در شبکه اهواز به علت وجود پدیده ریزگردها اتفاق افتاده است، نیاز به بازنگری در شبکه آن منطقه و از جمله تغییر در سطح ولتاژ بهره‌برداری توزیع و یا MV بسیار احساس می‌شود.

تغییر و بازنگری در سطح ولتاژ شبکه دارای چالش‌ها، الزامات و محدودیت‌های فراوانی می‌باشد که هر کدام از آنها باید مورد مطالعه و بررسی فنی و اقتصادی قرار گیرد. از مهمترین این چالش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

✚ جایگزینی تجهیزات با توجه به مشخصات جدید

✚ مقدار توان انتقالی و نحوه تامین بار موجود

✚ تلفات شبکه

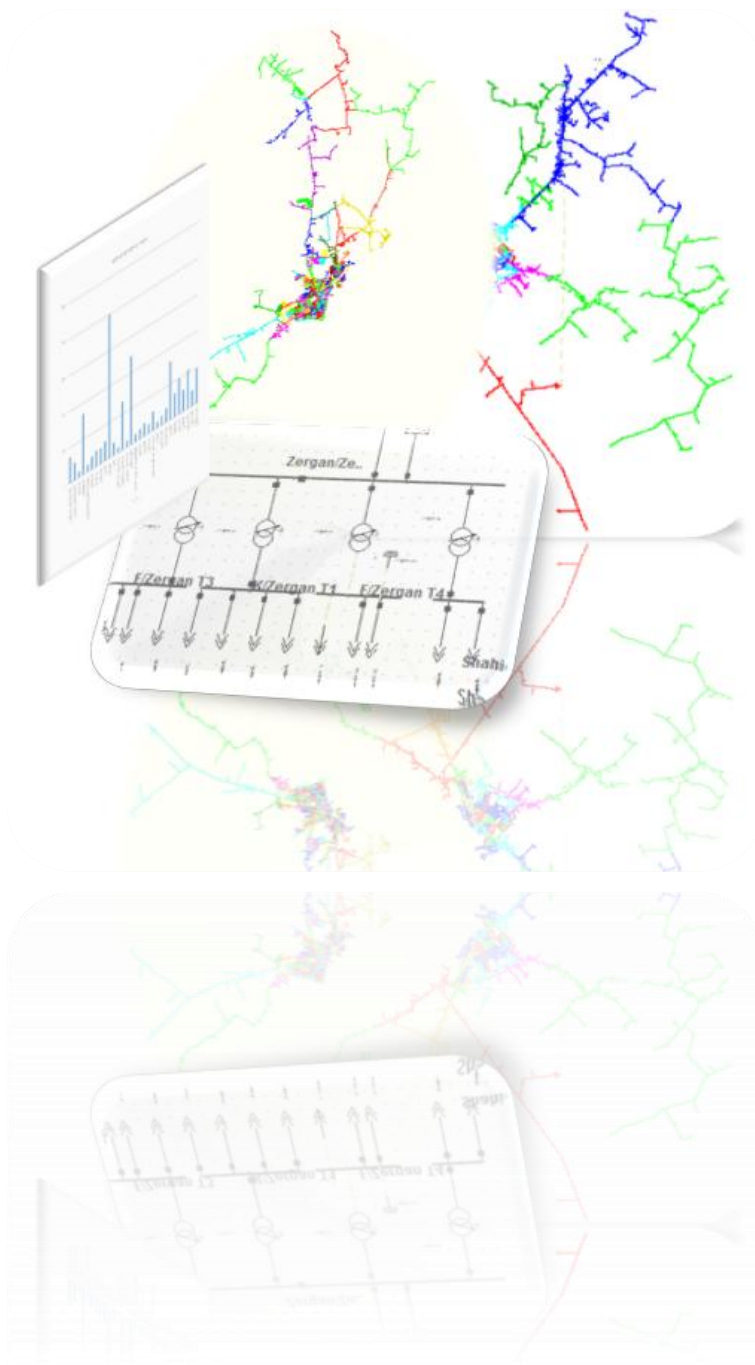
✚ قابلیت اطمینان

✚ طول فیدر و مباحث افت ولتاژی

✚ حد حرارتی هادی‌ها

✚ تحمل مکانیکی

✚ هماهنگی عایقی و فواصل مجاز الکتریکی



سیستم زمین

چالش‌های حفاظتی

بررسی‌های اقتصادی

در مورد شبکه اهواز دو حالت زیر

برای تغییر سطح باید در نظر گرفته شود:

تبدیل شبکه ۳۳ کیلوولت به ۲۰

کیلوولت

در این حالت با توجه به اینکه

تجهیزات عایقی موجود متناسب با سطح

ولتاژ ۳۳ کیلوولت می‌باشند در نتیجه

کاهش سطح ولتاژ به ۲۰ کیلوولت دارای

دو مزیت عمده خواهد بود:

⇐ افزایش قابلیت اطمینان

با توجه به اینکه ولتاژ نامی شبکه

کاهش پیدا کرده است، در نتیجه این امر

تعداد خطاهای ناشی از بروز شکست

الکتریکی ناشی از ریزگرد به علت افزایش تحمل الکتریکی در حالت نامی، کاهش یافته و قابلیت اطمینان

سیستم بالا خواهد رفت.

#### ← استاندارد کردن و یکسان‌سازی سطح ولتاژ

در حالتی که سیستم در سطح ولتاژ ۳۳ کیلوولت بهره‌برداری شود، جایگزینی تجهیز خراب شده و آسیب دیده با توجه به تعداد کم تجهیزات با این مشخصات کم می‌باشد، در نتیجه جایگزین کردن و خرید تجهیز جدید دشوارتر خواهد بود. در واقع به طور کلی هماهنگی و یکسان کردن مشخصات تجهیزات باعث ارزان‌تر شدن هزینه‌های تعمیر و نگهداری و یا هزینه‌های ساخت و خرید خواهد شد.

#### ✚ ارتقاء سطح ولتاژ ۱۱ کیلوولت به ۲۰ کیلوولت

به طور کلی بکارگیری روش ارتقاء سطح ولتاژ در شبکه یکی از استراتژی‌های خیلی مؤثر در افزایش ظرفیت خط به میزان زیاد، می‌باشد. با توجه به اینکه در شبکه ۱۱ کیلوولت به علت وجود مشکلات و خرابی‌های ناشی از ریزگردها نیاز است که تجهیزات زیادی در بلند مدت تعویض و جایگزین گردند، در نتیجه یکی از راهکارها و کارهایی که می‌توان انجام داد تا به صورت مناسب از این فرصت استفاده کرد، بازنگری در سطح ولتاژ و بالا بردن آن می‌باشد که دو مزیت عمده این روش عبارت است از:

#### ← افزایش توان انتقالی

#### استاندارد کردن و یکسان‌سازی سطح ولتاژ

با توجه به روند پیش‌بینی شده در انجام این پروژه، انتظار می‌رود که فرآیند این تغییرات به صورت گام به گام تعیین شده و تمام مراحل انجام این کار از قبیل توجیه‌پذیری، امکان‌پذیری، بررسی‌های فنی-اقتصادی و برنامه‌ریزی‌ها و سرمایه‌گذاری‌های لازم برای بازنگری و اصلاحات مورد نیاز روی سیستم MV و تبدیل شبکه با ولتاژ ۳۳ و ۱۱ کیلوولت به ۲۰ کیلوولت و تمام الزامات مورد نیاز و انواع روش‌ها و راه-حل‌هایی که در این زمینه به کار می‌رود تعیین گردد.

## بررسی سطح اتصال کوتاه شبکه انتقال ایران و استفاده از FCL به منظور کاهش سطح

### اتصال کوتاه شبکه

نویسندگان: آرمان صفایی<sup>۱</sup>، رضا رحمانی، مجتبی گیلوانزاد، امیررضا حسنی آهنگر، هادی نوروزی

**چکیده:** با توجه به گسترش شبکه، افزایش تولید، اضافه شدن تولیدات پراکنده و افزایش تقاضای مصرف، سطح اتصال کوتاه شبکه در حال افزایش است. افزایش سطح اتصال کوتاه اگر از مقدار نامی تجهیزات شبکه بیشتر شود می‌تواند موجب بروز مشکلاتی شود. لذا باید راهکاری برای مواجهه با این افزایش پیدا کرد. استفاده از محدودکننده‌های جریان خطا برای مقابله با این افزایش در سال‌های اخیر بسیار گسترش پیدا کرده‌است. در این مقاله ابتدا به بررسی تمامی پست‌های انتقال ایران از نظر سطح اتصال کوتاه پرداخته می‌شود، سپس پست‌هایی که دارای سطح اتصال کوتاه بیش از مقدار نامی تجهیزات مورد استفاده در شبکه هستند، شناسایی شده و روش‌های مختلف برای محدود کردن جریان اتصال کوتاه با یکدیگر مقایسه و مزایا و معایب هر یک بیان می‌شود تا بهره‌بردار با توجه به نیاز شبکه از روش مناسب استفاده کند. شبیه‌سازی شبکه انتقال ایران توسط نرم‌افزار دیگسایلنت انجام و نتایج در ادامه طبقه‌بندی شده است. در نهایت برای محدود کردن جریان خطا در پست‌هایی که دارای سطح اتصال کوتاه بیش از مقادیر نامی بریکرها می‌باشند، مکان‌یابی و مقدارریابی بهینه محدودکننده‌های جریان خطا انجام و نتایج در جداولی ارائه شده‌است.

**کلیدواژه:** سطح اتصال کوتاه؛ شبکه انتقال؛ محدود کردن جریان خطا؛

#### مقدمه

با رشد و گسترش شبکه برق، قدرت اتصال کوتاه شبکه نیز افزایش می‌یابد. اگر سطح اتصال کوتاه از مقادیر نامی تجهیزات نصب شده در شبکه بالاتر رود نیاز به تعویض آن‌ها خواهد بود، زیرا ممکن است وقوع یک اتصال کوتاه باعث خرابی یا عمل ناموفق آن‌ها شده و یک اتصال کوتاه دائمی در شبکه رخ دهد

<sup>۱</sup> - تهیه شده توسط آرمان صفایی کارشناس پژوهشی گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:

[۱]. لذا عبور چنین جریانی از شبکه احتیاج به تجهیزاتی دارد که توانایی تحمل این جریان را داشته باشند و جهت قطع این جریان نیازمند کلیدهایی با قدرت قطع بالا هستیم که هزینه‌های سنگینی به سیستم تحمیل می‌کند [۲]. به منظور اجتناب از تحمیل هزینه تعویض تجهیزات و توسعه سیستم، روش‌های مختلفی برای مواجهه با این جریان‌های اتصال کوتاه افزایش یافته، وجود دارند که هر یک دارای مزایا و معایبی می‌باشند. در این مقاله روش‌های مختلف جهت محدود کردن سطح اتصال کوتاه با یکدیگر مقایسه شده و با بیان مزایا و معایب هر روش انتخاب راهکار متناسب با نیاز بهره‌بردار مقدور خواهد بود.

همانطور که بیان شد، افزایش سطح اتصال کوتاه می‌تواند از مقدار نامی تجهیزات عبور کرده و موجب بروز مشکلاتی شود. لذا ضروری است سطح اتصال کوتاه پست‌های مختلف شبکه ایران بدست آمده و نقاط بحرانی تشخیص داده شوند و برای این نقاط با استفاده از راهکارهایی که در ادامه بیان می‌شوند، جریان اتصال کوتاه را محدود کرد. بنابراین در این مقاله سطح اتصال کوتاه تمامی پست‌های انتقال شبکه برق ایران محاسبه و پست‌های بحرانی شناسایی شده است، راهکارهای مختلف محدود کردن این جریان بیان و هر یک از این راهکارها با یکدیگر مقایسه شده تا بتوان به راحتی متناسب با نیاز شبکه، بهترین راه حل را برای رفع مشکل افزایش سطح اتصال کوتاه انتخاب کرد. در نهایت با جایابی و مقدار یابی بهینه محدودکننده‌های جریان خطا، سطح اتصال به مقدار قابل قطع برای بریکر کاهش می‌یابد. شبیه‌سازی شبکه انتقال برق منطقه‌ای تهران در نرم‌افزار دیگسایلنت انجام شده و فرایند جایابی و مقدار یابی بهینه محدودکننده‌های جریان خطا در نرم‌افزار متلب صورت گرفته است.

### بررسی سطح اتصال کوتاه شبکه انتقال ایران

اتصال کوتاه یکی از خطاهای مهم در سیستم قدرت است که در زمان وقوع، جریان خطا تا بیشتر از ۱۰ برابر جریان نامی افزایش می‌یابد. در یک شبکه قدرت اتصال کوتاه ممکن است در اثر عواملی مانند افتادن

خطوط هوایی، خرابی در کابل‌های زیرزمینی، خرابی در خطوط هوایی و بسیاری از عوامل دیگر رخ دهد. زمانی که عیبی در سیستم قدرت رخ می‌دهد، مقاومت شبکه در نقطه اتصال به شدت پایین آمده و بنابراین جریان‌هایی با دامنه بسیار بالا به طرف نقطه عیب جاری می‌شود. حداکثر جریانی که قادر به جاری شدن به نقطه عیب می‌باشد با نام سطح اتصال کوتاه شناخته می‌شود. معمولاً تجهیزات نصب شده در شبکه دارای مقادیری نامی سطح اتصال کوتاه می‌باشد که مشخص می‌کند ماکزیمم مقدار جریان اتصال کوتاه قابل تحمل برای آن‌ها در چه سطحی می‌باشد. اگر سطح اتصال کوتاه از مقادیر نامی تجهیزات نصب شده در شبکه بالاتر رود نیاز به تعویض آن‌ها خواهد بود [۳].

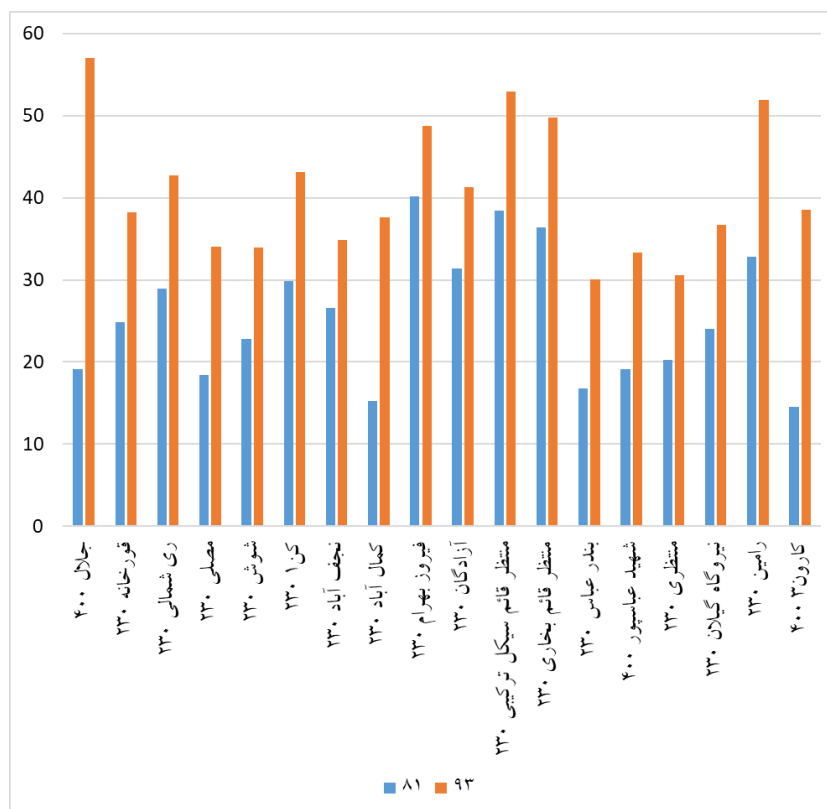
در این بخش سطح اتصال کوتاه تمامی پست‌های انتقال ایران، با استفاده از نرم‌افزار دیگسایلنت بدست می‌آید... سپس پست‌هایی که سطح اتصال کوتاه در آن‌ها بیشتر و یا نزدیک به مقدار نامی تجهیزات است شناسایی می‌شوند. این پست‌ها بحرانی بوده و نیاز به ارائه راهکاری برای مقابله با این سطح از جریان اتصال کوتاه خواهند داشت.

### سطح اتصال کوتاه پست‌های انتقال

در این بخش با توجه به اطلاعات دریافتی از شرکت‌های برق منطقه‌ای، شبکه انتقال مربوط به هر شرکت در نرم‌افزار دیگسایلنت پیاده‌سازی شده و با انجام محاسبات اتصال کوتاه سطح اتصال کوتاه تمامی پست‌های انتقال بدست می‌آید.

به منظور نمایش بهتر افزایش سطح اتصال کوتاه در شبکه، «شکل ۱» تغییر سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های انتقال در سال ۹۳ نسبت به ۸۱ را نشان می‌دهد. همانطور که از «شکل ۱» مشخص است، افزایش سطح اتصال کوتاه به وضوح مشخص است.

سطح اتصال کوتاه تمامی پست‌های انتقال نیز به دست آمده است که نمونه‌ای از سطح اتصال کوتاه برای برخی از پست‌های هر یک از شرکت‌های برق منطقه‌ای در «جدول ۱» تا «جدول ۱۱» نشان داده شده است. نتایج مربوط به جریان‌های اتصال کوتاه براساس اعمال خطای اتصال کوتاه سه فاز متقارن و استاندارد IEC 60909 می‌باشد [۴].



شکل (۱): مقایسه سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های انتقال در سال ۸۱ و ۹۳



جدول (۱): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای تهران

نام پست	سطح ولتاژ ( $kV$ )	قدرت قطع بریکر ( $kA$ )	سطح اتصال کوتاه ( $kA$ )
پرند	۲۳۰	۵۰	۳۶.۴۷
قم سیکل ترکیبی	۲۳۰	۵۰	۱۶.۸۵
جلال	۴۰۰	۴۰.۵۰	۵۷.۰۴
ری شمالی	۴۰۰	۵۰	۲۴.۷۹
ری شمالی	۲۳۰	۵۰	۴۲.۶۸
رودشور	۴۰۰	۵۰	۴۰.۴۳
هشتگرد	۲۳۰	۴۰	۲۰.۲۸
کلان	۲۳۰	۳۱.۵	۱۴.۷۹
پردیس	۲۳۰	۴۰	۱۶.۰۴
پردیس	۴۰۰	۵۰	۳۵
وردآورد	۲۳۰	۵۰	۴۴.۲۹
وردآورد	۴۰۰	۴۰	۳۷.۳۲
قیطریه	۲۳۰	۴۰	۲۸.۷۸
شوش تهران	۲۳۰	۵۰	۳۶.۰۹
رجایی	۴۰۰	۵۰	۴۵.۵۹
رجایی سیکل ترکیبی	۴۰۰	۵۰	۴۴.۷۲
نمایشگاه	۲۳۰	۴۰	۳۱.۲۲

جدول (۲): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای سمنان

نام پست	سطح ولتاژ ( $kV$ )	قدرت قطع بریکر ( $kA$ )	سطح اتصال کوتاه ( $kA$ )
گرمسار	۲۳۰	۴۰	۶.۲۶
سمنان	۲۳۰	۴۰	۱۳.۷۷
دامغان	۲۳۰	۴۰	۶.۰۳
شاهرود	۲۳۰	۳۱.۵	۱۱.۵۳
آهوان	۴۰۰	۵۰	۱۵.۷۸
آهوان	۲۳۰	۴۰	۱۵.۰۷
فرو سیلیس	۲۳۰	۳۱.۵	۱۲.۲۶

جدول (۳): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای اصفهان

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	قدرت قطع بریکر (kA)	سطح اتصال کوتاه (kA)
منتظری ۱	۲۳۰	۳۱.۵	۳۰.۵۴
منتظری	۴۰۰	۵۰	۲۱.۷۲
نشاط	۲۳۰	۳۱.۵	۱۴.۷۴
نقش جهان	۲۳۰	۳۱.۵	۲۲.۹۷
نائین	۲۳۰	۴۰	۵.۵۱
نجف آباد	۲۳۰	۳۰.۳۱	۳۴.۸۲
نجف آباد	۴۰۰	۴۰.۵۰	۲۴.۲۱
نیروگاه کاشان	۲۳۰	۳۱.۵	۱۱.۳۴
شهرکرد	۴۰۰	۵۰	۱۵.۴۷
شهرضا	۲۳۰	۳۱.۵	۱۰.۸۷
تیران	۴۰۰	۴۰	۳۱.۱

جدول (۴): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای خوزستان

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	قدرت قطع بریکر (kA)	سطح اتصال کوتاه (kA)
اهواز ۳	۲۳۰	۴۰	۳۰.۹۴
اهواز جنوبی	۲۳۰	۴۰	۲۵.۰۱
اهواز ۱	۲۳۰	۲۸.۱، ۴۰	۳۲.۸۶
اهواز ۲	۲۳۰	۳۱.۵، ۴۰، ۵۰	۵۳.۷۲
اهواز ۲	۴۰۰	۵۰	۳۱.۵
اندیمشک	۲۳۰	۲۵، ۴۰	۱۴.۹۸
اهواز ۳	۲۳۰	۴۰	۳۰.۹۴
رامین ۱	۲۳۰	۵۰	۵۱.۹۱
عباسپور	۴۰۰	۴۰، ۵۰	۳۳.۳۲
امیدیه ۱	۴۰۰	۳۴	۲۳.۴۳
امیدیه ۱	۲۳۰	۳۰، ۳۶	۲۲.۳۴
شوستر	۴۰۰	۵۰	۲۹.۲۴

جدول (۵): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای غرب

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	قدرت قطع بریکر (kA)	سطح اتصال کوتاه (kA)
اورامانات	۲۳۰	۴۰	۶.۲۹
دیواندره	۲۳۰	۴۰	۹.۹۷
شرق کرمانشاه	۲۳۰	۵۰	۲۷.۱۲
مانشت	۲۳۰	۴۰	۸.۸۱
سرپلذهاب	۲۳۰	۴۰	۱۱.۰۶
ایلام	۲۳۰	۴۰	۷.۳۹
دهلران	۲۳۰	۴۰	۳.۴۲
بیستون	۲۳۰	۴۰	۲۷.۶۴

جدول (۶): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای مازندران

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	قدرت قطع بریکر (kA)	سطح اتصال کوتاه (kA)
سوادکوه	۲۳۰	۴۰	۵.۲۸
رویان	۲۳۰	۴۰	۷.۰۸
علی آباد	۴۰۰	۵۰	۱۵.۷۸
علی آباد	۲۳۰	۴۰	۲۶.۱۳
شهید سلیمی نکا	۴۰۰	۵۰	۲۴.۶۴
شهید سلیمی نکا	۲۳۰	۵۰	۲۳.۷۳
دهک	۲۳۰	۳۱.۵	۲۰.۳۲
چهل شهید آمل	۲۳۰	۳۱.۵۰۴۰	۱۲.۰۵
دانیال	۲۳۰	۴۰	۸.۱۴
دریاسر	۲۳۰	۴۰	۷.۷۸
ناریوران	۴۰۰	۵۰	۱۱.۰۲
ناریوران	۲۳۰	۴۰	۱۵.۱۱

جدول (۷): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای گیلان

نام پست	سطح ولتاژ ( $kV$ )	قدرت قطع بریکر ( $kA$ )	سطح اتصال کوتاه ( $kA$ )
پونل	۲۳۰	۳۱.۵، ۴۰	۱۸.۰۲
لاهیجان	۲۳۰	۴۰	۱۱.۶۴
گیلان سیکل ترکیبی	۲۳۰	۴۰	۳۶۶۷
رشت ۲	۲۳۰	۳۰، ۳۱.۵، ۴۰	۲۴.۵۲
سپید رود	۲۳۰	۳۱.۵، ۴۰	۱۴.۶۵
شهید بهشتی	۲۳۰	۵۰	۱۹.۸۸
رامسر	۲۳۰	۳۱.۵	۱۲.۶۲
گیلان سیکل ترکیبی	۴۰۰	۵۰	۱۴.۹۵
رشت شمالی	۲۳۰	۴۰	۱۸.۷۴
آستارا	۲۳۰	۴۰	۶.۳

جدول (۸): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای زنجان

نام پست	سطح ولتاژ ( $kV$ )	قدرت قطع بریکر ( $kA$ )	سطح اتصال کوتاه ( $kA$ )
زنجان	۲۳۰	۵۰	۱۲.۰۶
آباداناسرام	۲۳۰	۴۰	۹.۵۵
قزوین	۲۳۰	۴۰	۸.۵۸
البرز	۲۳۰	۴۰	۸.۷۸
ابهر	۲۳۰	۳۱.۵	۸.۳۷
بوئین زهرا	۲۳۰	۳۱.۵، ۴۰	۹.۸۲
تاکستان	۲۳۰	۴۰	۸.۲۱
غایتی	۴۰۰	۵۰	۱۸.۲۲

جدول (۹): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای هرمزگان

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	قدرت قطع بریکر (kA)	سطح اتصال کوتاه (kA)
رودان	۲۳۰	۴۰	۸.۱۵
بندر عباس	۴۰۰	۵۰	۱۴.۷۲
المهدی	۲۳۰	۵۰	۲۷.۴۱
بوستانو	۲۳۰	۵۰	۱۹.۷۶
بندر عباس شرق	۲۳۰	۴۰	۱۶.۷
پهل	۲۳۰	۴۰	۱۲.۵۵
بندرلنگه	۲۳۰	۳۱.۵	۵.۲۷
بندر عباس	۲۳۰	۵۰	۳۰.۰۹

جدول (۱۰): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای یزد

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	قدرت قطع بریکر (kA)	سطح اتصال کوتاه (kA)
یزد ۲	۴۰۰	۵۰	۱۶.۹۴
یزد ۲	۲۳۰	۴۰	۲۵.۱۳
اردکان	۲۳۰	۵۰	۱۳.۲۷
چادرملو	۲۳۰	۳۱.۵، ۴۰	۳.۵۲
چغارت	۲۳۰	۴۰	۱.۹۳
شمال	۲۳۰	۵۰	۱۱.۰۱
یزد ۱	۴۰۰	۵۰	۱۴.۴۹

جدول (۱۱): سطح اتصال کوتاه برخی از پست‌های برق منطقه‌ای کرمان

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	قدرت قطع بریکر (kA)	سطح اتصال کوتاه (kA)
عنبر آباد ۲	۲۳۰	۴۰	۸.۲۹
کرمان سیکل ترکیبی	۴۰۰	۵۰	۱۳.۳۷
سرچشمه	۲۳۰	۵۰	۱۱.۴
شهاب	۲۳۰	۴۰	۱۳.۹۹
باغین	۲۳۰	۴۰	۱۹.۹۷
بردسیر	۲۳۰	۴۰	۸.۹۵
کهنوج	۲۳۰	۴۰	۱۱.۲۸
گلگهر	۲۳۰	۴۰	۶.۸۵
بم	۲۳۰	۴۰	۶.۸۳
سیرجان	۴۰۰	۵۰	۱۳.۸

### طبقه‌بندی پست‌های بحرانی

پس از مشخص شدن سطح اتصال کوتاه هر یک از پست‌ها در بخش قبل، می‌توان پست‌هایی که دارای وضعیت بحرانی هستند را شناسایی کرد. «جدول ۱۲» پست‌های بحرانی را نشان می‌دهد. برخی از پست‌ها مانند منتظر قائم و جلال هم اکنون دارای سطح اتصال کوتاه بیشتری نسبت به قدرت قطع نامی بریکر می‌باشند و برخی دیگر از پست‌ها مانند فیروزبهرام و ذوب آهن سطح اتصال کوتاهی نزدیک به مقدار نامی دارند که با توجه به رشد شبکه در آینده ممکن است دچار مشکل شوند. بنابراین برای پست‌هایی که دارای سطح اتصال کوتاه بحرانی می‌باشند، باید راهکاری اندیشید.

جدول (۱۲): پست‌های انتقال دارای سطح اتصال کوتاه بحرانی

نام پست	برق منطقه‌ای	سطح ولتاژ ( $kV$ )	قدرت قطع بریکر ( $kA$ )	سطح اتصال کوتاه ( $kA$ )	
جلال	تهران	۴۰۰	۵۰	۵۷.۰۳۷	
دماوند		۴۰۰	۵۰	۵۷.۴۹۶	
رجایی سیکل ترکیبی		۴۰۰	۵۰	۴۴.۷۲۳	
رجایی بخاری		۲۳۰	۵۰	۴۵.۵۹	
کمال آباد		۲۳۰	۴۰	۳۷.۶۵۱	
منتظر قائم بخار		۲۳۰	حداکثر ۳۳	۴۹.۷۹۳	
منتظر قائم سیکل ترکیبی		۲۳۰	۴۰	۵۲.۹۰۸	
وردآورد		۲۳۰	۴۰	۴۴.۲۸۸	
فیروز بهرام		۲۳۰	۵۰	۴۸.۷۴۶	
فیروزی		۲۳۰	حداکثر ۳۱.۵	۳۱.۸۳۸	
کن		۲۳۰	۴۰.۵۰	۴۳.۱۶۲	
اصفهان ۱		اصفهان	۲۳۰	۳۱.۵	۲۹.۳۸۴
ذوب آهن			۲۳۰	۳۱.۵	۳۰.۵۴۲
منتظری ۱	۲۳۰		۳۱.۵	۳۴.۸۲	
اهواز ۱	خوزستان	۲۳۰	۲۸.۱.۴۰	۳۲.۸۵۸	
اهواز ۲		۲۳۰	۳۱.۵.۴۰.۵۰	۵۳.۷۲۲	
رامین		۱۳۲	۵۰	۵۱.۹۱۲	
سر پل ذهاب		غرب	۴۰۰	۴۰	۴۹.۰۶۸

## راهکارهای مواجهه با افزایش سطح اتصال کوتاه در شبکه انتقال

روش‌های مختلفی برای مقابله با افزایش سطح اتصال کوتاه شبکه وجود دارد که می‌توان آن‌ها را از دیدگاه‌های مختلفی تقسیم‌بندی نمود. از یک منظر این روش‌ها به دو نوع پسیو و اکتیو دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های پسیو استفاده از امپدانس بالا در مدار را در همه حالت‌ها چه در شرایط خطا و چه در حالت کار عادی شبکه به کار می‌گیرد. در حالی که روش‌های اکتیو، امپدانس بالا در مدار را تنها در شرایط خطا فعال می‌کند. همین‌طور می‌توان روش‌ها را به دو صورت تغییر آرایش شبکه یا تعویض تجهیزات تقسیم‌بندی کرد. علاوه بر این می‌توان روش‌ها را به دو صورت سنتی و جدید نیز تقسیم‌بندی نمود [۵، ۶].

### روش‌های سنتی (مرسوم)

روش‌های سنتی محدود کردن جریان خطا را که غالباً هزینه‌بر نیز هستند [۷]، می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

۱) تقسیم‌بندی و چند تکه کردن باسبار: این روش مستلزم جداسازی منابعی است که می‌تواند جریان خطا را توسط بازشدن یک باس کوپلر در حالت عادی بسته تغذیه کند. با جداسازی شین‌های موجود، این روش به طور موثری تعداد منابعی که خطا را تغذیه می‌کند کاهش می‌دهد اما به همین میزان تعداد منابعی که بار را در حالت عادی و یا در شرایط ویژه تغذیه می‌کنند را هم کم می‌کند. این روش ممکن است نیازمند تغییرات اضافی در فلسفه عملکرد یا روش کنترل باشد.

۲) تقسیم‌بندی و جداسازی شبکه: این روش بستگی به این موضوع دارد که یک شبکه (با یک سطح ولتاژ متداول) تقسیم به چند بخش کوچکتر شود که هر کدام از بخش‌ها به طور جداگانه از یک سطح ولتاژ بالاتر تغذیه شوند. جداسازی، سطح جریان خطا را در هر یک از زیرشبکه‌ها به یک سطح مجاز کاهش می‌دهد.

شکافتن شبکه می تواند به طور موثری سطح اتصال کوتاه را کاهش دهد. البته این روش به خاطر افزایش امیدانس منبع، باعث کاهش کیفیت توان و افزایش تلفات در سیستم قدرت می شود. در این روش مکانیزمی پیچیده برای کنترل جهت حرکت انرژی در زمان وقوع خطا نیاز است و پس از برطرف شدن خطا، شبکه ها برای اتصال باید دوباره با هم سنکرون شوند [۷].

۳) افزایش قدرت قطع بریکر: با افزایش سطح اتصال کوتاه، یکی از روش ها تعویض تجهیزات موجود با تجهیزاتی با قدرت تحمل اتصال کوتاه بالاتر می باشد. که البته این کار مستلزم هزینه بوده و همچنین تعویض تجهیزات نیز می تواند زمانبر باشد.

۴) راکتورهای محدود کننده جریان خطا و ترانس های امیدانس بالا: راکتورهای محدود کننده جریان، جریان خطا را به دلیل کاهش شدید ولتاژ در ترمینال های خود محدود می کنند. اما این نوع محدود کننده ها موجب کاهش ولتاژ در شرایط عادی عملکرد می شوند و تلفات ثابتی را ایجاد می کنند. این راکتورها هم چنین می توانند با المان های دیگر شبکه کش و واکنش داشته باشند و موجب ناپایداری گردند. این روش بدون اتلاف هیچ زمانی، در لحظه خطا جریان خطا را کاهش می دهد. با کمترین هزینه قابل اجرا است و در خطوط بلند اثر فرانتی را نیز جبران می کند. اما عیب این روش نیز به این صورت است که در حالت عادی بر عملکرد مدار تاثیر می گذارد و منجر به افزایش افت ولتاژ در طول خط می شود. از طرفی به دلیل افزایش راکتانس سیستم میزان قابل توجهی توان قابل انتقال توسط سیستم کاهش یافته و موجب کاهش حد پایداری سیستم می شود و در نهایت بر پایداری سیستم تاثیر منفی دارد [۸].

۵) کلیدزنی مرحله ای بریکرها: کلیدزنی مرحله ای بریکرها روش خاصی است که به طور مناسب در ایستگاه ها برای مدیریت جریان های خطای بسیار بالا بدون جایگزینی تمام بریکرها استفاده می شود. کلیدزنی مرحله ای، بریکرها را از مواجه شدن با قطع جریان های بسیار بالا در امان نگه می دارد. اگر خطایی تشخیص



داده شود، بریکری که در بالادست منبع جریان خطا است در ابتدا باز می‌شود. این کار موجب کاهش جریان خطای دیده شونده توسط بریکر در ناحیه تحت حفاظت می‌گردد. سپس این بریکر می‌تواند در حالت مطمئن باز شود. یک عیب این روش آن است که موجب تاخیر در بازشدن بریکر و طولانی شدن زمان خطا می‌شود.

### روش‌های جدید

این روش‌ها مبتنی بر تجهیز بوده و از ادوات با تکنولوژی بالا و مناسب جهت محدودسازی خطا استفاده می‌کنند [۹]. در ادامه چند مورد از این روش‌ها بیان خواهد شد:

۱) فیوزهای فشارقوی: فیوز فشار قوی وسیله‌ای است که جریان خطا را مستقیماً از طریق یک المان ذوب‌شونده عبور می‌دهد. طراحی این وسیله، پیچیده‌تر از فیوزهای فشار ضعیف است. در عین حال، اصول عملکرد در هر دو یکی است. فیوزهای فشار قوی به طور گسترده برای حفاظت فیدرها و تجهیزات مانند ترانسفورماتورها در ولتاژ فشار متوسط سیستم‌های توزیع و موتورها در شبکه‌های صنعتی استفاده می‌شوند.

۲) Is-Limiter: این محدودکننده از دو بخش هدایت‌کننده موازی شامل کنتاکتور اصلی و فیوز موازی با کنتاکتور تشکیل شده است. در حالت کار عادی سیستم قدرت، جریان شبکه از داخل کنتاکتور اصلی عبور می‌کند. در زمان اتصال کوتاه کنتاکتور اصلی باز شده و جریان از طریق فیوز موازی هدایت می‌شود. به این ترتیب جریان اتصال کوتاه حداکثر در نیم‌سیکل اول محدود می‌شود. مزایای این روش را می‌توان به صورت زیر نام برد [۱۰]:

➤ عملکرد سریع در نیم سیکل اول اتصال کوتاه

➤ تقریباً صفر بودن اتلاف در شرایط کار عادی شبکه

➤ استفاده از خواص سودمند فیوز در زمان خطا

➤ معایب این روش نیز شامل موارد زیر می‌شود:

➤ قیمت بالا

➤ نیاز به تعویض کنتاکتور و فیوز بعد از هر اتصال کوتاه

➤ حساسیت بیش از حد به افزایش جریان

۳) محدودساز جریان خطا: یکی از راهکارهایی که جهت بهبود عملکرد حفاظتی مطرح شده است، استفاده از محدودسازهای جریان خطا می‌باشد. عملکرد یک محدودساز جریان خطای ایده‌آل به این ترتیب است که در حالت قبل از وقوع خطا، محدودساز جریان خطا هیچ‌گونه تاثیری بر روی شبکه و پخش بار نداشته و زمانی که خطایی در شبکه رخ می‌دهد جریان خطا را تشخیص داده و امپدانس بزرگی را به صورت سری در شبکه وارد می‌کند که جریان خطا را محدود می‌کند.

در ادامه مزایا و معایب محدودسازهای جریان خطا به طور کلی بیان شده‌اند [۱۱، ۱۲]. لازم به ذکر است که بعضی از معایب مختص نوع خاصی از محدودسازها بوده و برای سایر انواع این تجهیزات صادق نیست.

❖ مانع از آسیب رسیدن به تجهیزات شبکه نظیر کابل‌ها، کلیدها و ... در اثر عبور جریان اتصال

کوتاه بیشتر از مقدار طراحی شده آن تجهیزات می‌شود.

❖ نیاز جایگزین نمودن کلیدهای قدرت با کلیدهای دارای ظرفیت قطع بالاتر را تا حدودی مرتفع

می‌سازد.

❖ در حالت ماندگار امپدانس آن‌ها بسیار پایین بوده و هدایت جریان تقریباً به طور کامل صورت

می‌گیرد.

❖ در حالت عادی شبکه، افت ولتاژ بسیار ناچیزی ایجاد می‌کنند که قابل صرف‌نظر کردن است.

❖ بهبود پایداری گذرا

❖ افزایش طول عمر مفید تجهیزات

❖ افزایش ظرفیت پست ها به دلیل امکان موازی بودن ترانسفورماتورها

❖ کاهش افت ولتاژ در فازهای سالم شبکه

❖ امکان وصل مجدد سریع

❖ بهبود سرویس دهی به شبکه به دلیل عمل تثبیت ولتاژ

معایب این محدودکننده ها نیز به شرح زیر است:

❖ هزینه بالا

❖ احتمال خرابی بالا به واسطه استفاده از سویچ های الکترونیک قدرت (برای محدودکننده های

حالت جامد)

❖ تاخیر در محدودسازی جریان خطا به دلیل تاخیر در تشخیص خطا (از جریان های هجومی و

جریان های گذرای دیگر).

### الگوریتم پیشنهادی برای مکان یابی FCL

به منظور کاهش سطح اتصال کوتاه شبکه مکان یابی و مقدار یابی بهینه محدودکننده های جریان خطا در

این بخش شرح داده خواهد شد. در این بخش ابتدا به بیان نوع محدودکننده مورد استفاده پرداخته و سپس

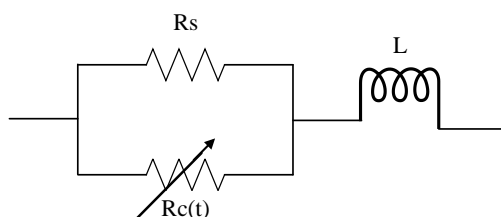
الگوریتم جایابی بهینه بیان می شود.

#### محدودکننده جریان خطا

محدودکننده جریان خطای مورد استفاده در این مقاله، محدود کننده ابررسانای نوع مقاومتی می باشد. این

محدودکننده در حالت عادی هیچ مقاومتی نداشته، اما در حالت وقوع خطا با اضافه کردن یک مقاومت به

شبکه باعث کاهش جریان می‌شود. در حقیقت می‌توان آن را یک مقاومت متغیر غیر خطی در نظر گرفت. بنابراین می‌توان این محدودکننده‌ها را با یک مقاومت مدل کرد [۶]. «شکل ۲» مدار معادل این محدودکننده را نشان می‌دهد [۷]. در «شکل ۲»  $R_s$  مقاومت پایدار کننده،  $R_c(t)$  مقاومت ابرسانا و  $L$  اندوکتانس سیم پیچ می‌باشد.



شکل (۲): مدار معادل محدودکننده جریان خطای ابرسانای مقاومتی

### مکان‌یابی و مقدار یابی بهینه

در این مقاله مکان‌یابی بهینه محدودکننده‌های جریان خطا با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده است. برای این منظور با استفاده از جعبه ابزار بهینه‌سازی متلب و استفاده از الگوریتم ژنتیک مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر تعریف می‌شود.

(۱) تابع هدف: هدف مسئله بهینه‌سازی در این مقاله تعیین حداقل مقدار محدودکننده‌های جریان خطا به گونه‌ای است که سطح اتصال کوتاه در تمامی نقاط در مقدار مجاز قابل قطع توسط بریکرها قرار گیرد. لذا تابع هدف در این مسئله به صورت مجموع ظرفیت محدودکننده‌های مورد استفاده تعریف می‌شود که به صورت رابطه (۱) خواهد بود.

$$(1) \quad O.F. = W_1 \times \sum_{i=1}^{N_{FCL}} Z_{FCL,i} + W_2 \times N_{FCL}$$

که در این رابطه  $Z_{FCL}$  امپدانس  $i$  امین محدودکننده،  $N_{FCL}$  تعداد محدودکننده‌های مورد استفاده و  $W_1$  و  $W_2$  ضرایب وزنی برای برقراری ارتباط بین امپدانس محدودکننده و تعداد آن می‌باشد.

(۲) قیود مسئله بهینه‌سازی: برای مسئله جایابی محدودکننده‌های جریان خطا، قیود و محدودیت‌های اصلی حاکم بر مسئله بهینه‌سازی، محدودیت سطح اتصال کوتاه می‌باشد. بنابراین محدودیت‌های مسئله به این صورت است که جریان‌های اتصال کوتاه عبوری از هر تجهیز باید از مقدار نامی قابل قطع توسط آن تجهیز کمتر باشد. این قیود را می‌توان به صورت رابطه (۲) بیان کرد.

$$(۲) \quad I_{SC,i} \leq I_{n,i}, \quad i=1, \dots, N$$

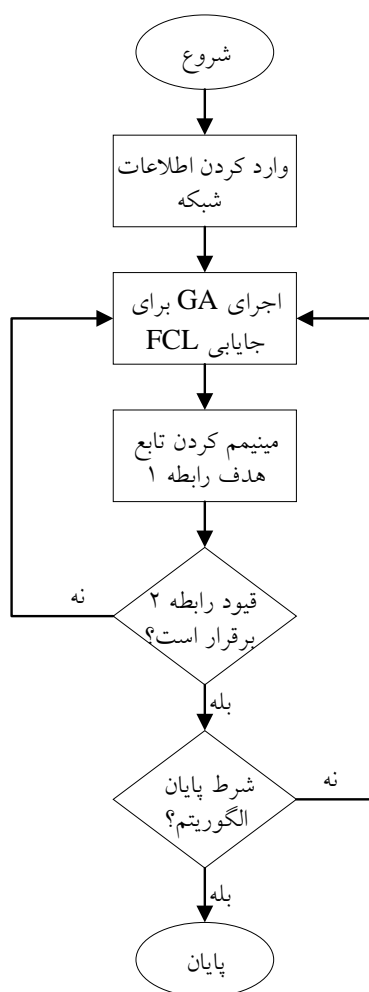
که در آن  $I_{SCi}$  جریان اتصال کوتاه عبوری از پست  $i$  ام،  $I_{si}$  جریان قطع نامی تجهیزات موجود در پست  $i$  ام و  $N$  تعداد پست‌های شبکه می‌باشد. فلوجارت روش استفاده شده برای جایابی و مقدار یابی محدودکننده‌های جریان خطا در «شکل ۳» نشان داده شده است.

## مطالعات شبیه سازی

در این بخش به بررسی مطالعات شبیه سازی و تحلیل نتایج پرداخته می‌شود.

### شبکه مورد مطالعه

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، هدف این مقاله کاهش سطح اتصال کوتاه در پست‌های بحرانی شبکه انتقال برق منطقه‌ای تهران می‌باشد. این شبکه دارای ۲۳ پست ۴۰۰ کیلوولت و ۹۰ پست ۲۳۰ کیلوولت می‌باشد [۸]. شبکه مورد نظر در «شکل ۳» نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به این شبکه با همکاری شرکت برق منطقه‌ای تهران بدست آمده و در نرم‌افزار دیگسایلنت مورد مطالعه قرار گرفته است.

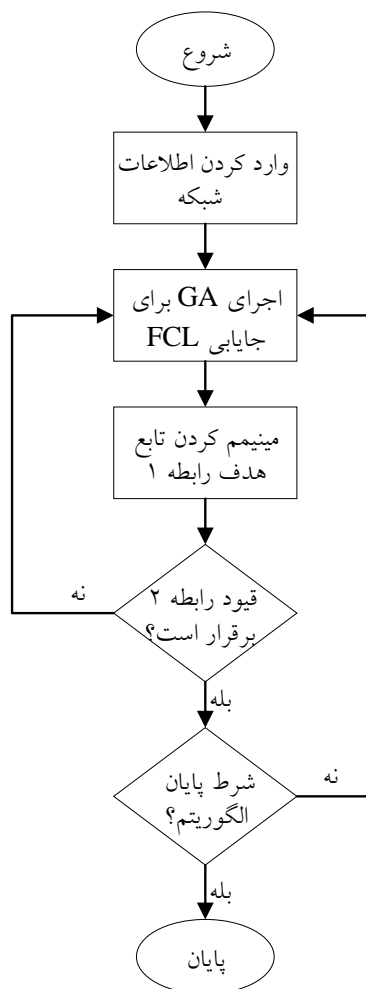


شکل (۳): فلوچارت مربوط به جایابی و مقدار یابی محدودکننده

### نتایج شبیه سازی

مقادیر مربوط به جریان‌های اتصال کوتاه قبل از استفاده از محدودکننده‌های جریان خطا برای شین‌های بحرانی در «جدول ۱۳» نشان داده شده است. پس از اعمال روش بیان شده نتایج حاصل از مکان‌ها و مقادیر بهینه محدودکننده‌های جریان خطا در «جدول ۱۴» نشان داده شده است.

در «جدول ۱۴» مقادیر جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن برای پست‌های بحرانی پس از استفاده از محدودکننده‌های جریان خطا نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقادیر این جریان‌های اتصال کوتاه از مقدار نامی بریکرها کمتر شده و در نتیجه نیاز به تعویض این تجهیزات نمی‌باشد.



شکل ۱: فلوچارت مربوط به جایابی و مقدارریابی محدودکننده

جدول (۱۳): مکان و مقدار بهینه محدودکننده‌های جریان خطا

مقدار (p.u.)	خط محل اتصال		شماره
	به باس	از باس	
۰.۵۹	دماوند	جلال	۱
۰.۵۸	رجایی سیکل ترکیبی	وردآورد	۲
۰.۶۴	منتظر قائم بخار	منتظر قائم سیکل ترکیبی	۳
۰.۵۵	کن	فیروز بهرام	۴

جدول (۱۴): جریان‌های اتصال کوتاه پست‌های بحرانی پس از اتصال FCL

نام پست	سطح ولتاژ (kV)	قدرت قطع بریکر (kA)	سطح اتصال کوتاه (kA)
جلال	۴۰۰	۵۰	۴۷.۴۲۶
دماوند	۴۰۰	۵۰	۴۸.۱۰۷
رجایی سیکل ترکیبی	۴۰۰	۵۰	۴۱.۳۵۶
رجایی بخاری	۲۳۰	۵۰	۴۳.۴۳۸
کمال آباد	۲۳۰	۴۰	۳۶.۶۵۵
منتظر قائم بخار	۲۳۰	حداکثر ۳۳	۳۲.۳۹۱
منتظر قائم سیکل ترکیبی	۲۳۰	۴۰	۳۹.۶۵۷
وردآورد	۲۳۰	۴۰	۳۷.۲۴۱
فیروز بهرام	۲۳۰	۵۰	۴۶.۷۱۹
فیروزی	۲۳۰	حداکثر ۳۱.۵	۲۹.۶۱۸
کن	۲۳۰	۴۰۰.۵۰	۳۹.۳۶۸

## نتیجه گیری

در این مقاله با توجه به افزایش روزافزون سطح اتصال کوتاه، شبکه انتقال ایران در نرم‌افزار دیگسایلنت شبیه‌سازی شده و پست‌هایی که در شرایط بحرانی هستند، شناسایی شده‌اند. راهکارهای مختلفی که برای مواجهه با افزایش جریان اتصال کوتاه وجود دارند، طبقه‌بندی شده و مزایا و معایب هر کدام از این روش‌ها بیان شده است تا بهره‌بردار شبکه بتواند با توجه به نیاز از روش مناسب برای محدود کردن جریان خطا استفاده کند. همچنین پست‌هایی که در شبکه انتقال برق منطقه‌ای تهران سطح اتصال کوتاه از قدرت قطع نامی بریکر بیشتر می‌باشد، شناسایی شده‌اند. جایابی و مقدار یابی محدودکننده‌های جریان خطا به گونه‌ای انجام شد که سطح اتصال کوتاه پست‌های بحرانی به کمتر از مقدار قابل قطع برای تجهیزات کاهش یابد.



این کار سبب کاهش تنش ایجاد شده در هنگام خطا می‌شود. همچنین تجهیزات به درستی عمل کرده و نیاز به تعویض این تجهیزات نمی‌باشد. شبیه‌سازی بر روی شبکه برق منطقه‌ای تهران انجام شده و نتایج طبقه‌بندی شده است.

## مراجع

- [1]H. Xu, "A reducing transmission-line fault current method," International Conference on Computational Intelligence & Software Engineering, pp.1-4, Wuhan, 2010.
- [2]J. C. Das, Power system analysis: short-circuit load flow and harmonics, CRC press, 2016.
- [3]S. A. Franke, Fault Current Control in the Transmission Network, B.Sc. thesis, Delft University of Technology, 2012.
- [4]The calculation of short-circuit currents in three-phase A.C. systems, IEC 60909.
- [5]S. P. J. Priyadharshna, and T. Venkatesan, "A review on development and operational strategy of fault current limiters," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 1, no. 1, pp. 1-9, 2016.
- [6]G. Migliavacca, ed., Advanced technologies for future transmission grids, Springer Science & Business Media, 2012.
- [7]K. Smedley, and A. Abravomitz, "Development of fault current controller technology," Public Interest Energy Research (PIER) Program Final Project Report, Jun. 2011.
- [8]M. S. Volkov, Y. P. Gusev, Y. V. Monakov, and G. C. Cho, "The effect of current limiting reactors to shut off short circuits in electrical high voltage networks," J Electr Eng Electron Technol Vol. 5 no. 3, 2017.
- [9]M. Farrokhifar, R. Esmailzadeh, M. Heydari, and A. R. Milani, "A study on practical methods to decrease short circuit level in transmission grids," In Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE, pp. 1962-1967, 2013.

- [10] A. Kempski, and J. Rusiński, “A study of the superconducting fault current limiter application in a MV network with distributed energy sources,” In Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE), 2017, pp. 1-7. IEEE, 2017.
- [11] S. Patil, and A. Thorat, “Development of fault current limiters: A review,” International Conference on, Data Management, Analytics and Innovation (ICDMAI), pp. 122-126. IEEE, 2017.
- [12] H. Schmitt, “Fault current limiters report on the activities of CIGRE WG A3. 16,” In Power Engineering Society General Meeting, pp. 5-pp. IEEE, 2006.

## چالش‌های سیستم انتقال و فوق توزیع شبکه خوزستان با در نظرگیری حوادث به وجود

### آمده در بهمن ۹۵ و بررسی شرایط آب و هوایی

نویسندگان: هادی نوروزی<sup>۱</sup> و آرمان صفایی

**چکیده:** طوفان‌های گرد و غبار موسوم به ریزگرد یکی از پدیده‌های تازه‌ای می‌باشد که به علت ایجاد تغییرات محیطی در طی سالیان اخیر مشکلات عمده‌ای در ابعاد مختلف زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی، سلامتی و همچنین در سیستم‌های قدرت در کشور به وجود آورده است. یکی از مهمترین مشکلات و چالش‌های ناشی از وقوع ریزگردها در کشور مربوط می‌شود به حوادث و خاموشی‌های گسترده در سیستم قدرت در استان خوزستان که در طی سالیان اخیر در این استان به وجود آمده است. با توجه به این موضوع یکی از مهمترین کارهایی که برای مقابله با اثرات نامطلوب و مخرب پدیده ریزگردها در شبکه قدرت باید انجام گیرد، مطالعه و تحلیل و بررسی زیرساخت‌های سیستم و حوادث ایجاد شده و در نتیجه شناسایی عوامل گسترش حادثه در سیستم می‌باشد. حوادث و خاموشی‌های گسترده‌ای که در بهمن‌ماه سال ۹۵ در استان خوزستان بر اثر بروز گرد و غبار در شبکه برق این استان به وجود آمد از مهمترین چالش‌های سال‌های اخیر در کشور می‌باشد که در این مقاله مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. مواردی مهمی از قبیل شرایط و ساختار موجود پست‌ها و خطوط شبکه برق استان خوزستان، نوع و تعداد تجهیزات به کار رفته، شرایط آب و هوایی مناطق با توجه به پست‌ها و خطوط حادثه دیده، تحلیل وضعیت فعلی ساختار پست‌ها و خطوط شبکه برق استان خوزستان، نوع و تعداد تجهیزات به کار رفته، توپولوژی شبکه و سایر چالش‌ها و معضلات موجود در شبکه انتقال و فوق توزیع در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**کلیدواژه:** گرد و غبار؛ چالش‌های شبکه؛ شرایط آب و هوایی؛ خاموشی‌های بهمن؛ انتقال و فوق توزیع

#### مقدمه

یکی از عوامل مهمی که در سیستم قدرت باعث ایجاد خطا و اغتشاش و خاموشی می‌شود انواع حوادث طبیعی می‌باشند که به عنوان یک عامل بیرونی در سیستم می‌تواند تنش‌های مختلفی از قبیل مکانیکی، الکتریکی، حرارتی و غیره روی تجهیزات سیستم ایجاد کرده و در نتیجه کارکرد عادی شبکه را دچار اختلال

<sup>۱</sup> - تهیه شده توسط هادی نوروزی کارشناس پژوهشی گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:

کند. اما از جمله مهمترین تفاوت‌هایی که در مورد عوامل و حوادث طبیعی وجود دارد نحوه اثرگذاری آن بر روی عملکرد سیستم می‌باشد. بسیاری از حوادث مانند صاعقه، طوفان، باد، برف و یخ، خشکسالی، طوفان‌های شن و ماسه، افزایش و کاهش دما، تغییرات رطوبت، زلزله، سیل و گرد و غبار در نوع اختلالی که در سیستم به وجود می‌آورند از لحاظ نوع خطا، نحوه آسیب‌رسانی به تجهیزات، مدت زمان و پایداری اختلال در شبکه، میزان تاثیرگذاری در امنیت شبکه و سایر موارد، با یکدیگر متفاوت می‌باشند. به طور کلی عوامل ایجاد خاموشی‌ها در شبکه را می‌توان ناشی از موارد زیر دانست [۸-۱]:

#### ■ عوامل و تهدیدهای اتفاقی و یا تصادفی

این عوامل تهدید کننده امنیت سیستم بوده و با ایجاد خطا و خرابی در سیستم باعث عملکرد نامناسب شبکه قدرت می‌شوند و می‌تواند به علت موارد فنی و انسانی باشد که از جمله آنها عبارتند از: ۱- عوامل فنی مانند فرسودگی تجهیزات، اضافه بار شدن، اضافه ولتاژهای کلیدزنی، خرابی سیستم‌های حفاظتی و غیره و ۲- عوامل انسانی از قبیل خطای بهره‌بردار، ضعف طراحی، خطاهای اندازه‌گیری و سایر عوامل از این دست.

#### ■ تهدیدهای مخرب

اقدامات عمدی که توسط عوامل مختلف بر روی سیستم قدرت انجام می‌شود از قبیل: عملیات تروریست، مهاجمان سایبری، سرقت مس، بدافزار

#### ■ عوامل جدید در حال ظهور

منظور از این عوامل بیشتر حوادثی می‌باشند که ناشی از تکامل سیستم قدرت و اتصال منابع انرژی تجدید پذیر به آنها به وجود می‌آورند.

#### ■ عوامل و حوادث طبیعی

این عوامل تحت کنترل کامل نیروی انسانی نبوده و در صورت ایجاد ممکن است باعث به وجود آمدن خرابی در تجهیزات شده و روی بهره‌برداری سیستم قدرت تاثیر نامطلوب بگذارد. از جمله عوامل طبیعی می‌توان به موارد زلزله، سیل، گرد و غبار، بلایای آبی، بلایای هواشناسی، تغییرات اقلیمی، آلاینده‌ها، و غیره اشاره کرد.

استان خوزستان و شبکه برق این منطقه از مهمترین استان‌ها و شبکه‌های کشور می‌باشد که هم از لحاظ جغرافیایی و هم از لحاظ سیستمی در امنیت و پایداری شبکه نقش پر رنگی دارد. وجود صنایع مهمی نظیر نفت، گاز، پتروشیمی، فولاد، نورد، صنایع نیشکر و غیره در استان خوزستان، این استان را یکی از قطبهای صنعتی کشور قرار داده که تداوم فعالیت آنها بستگی به پایداری، قابلیت اطمینان و افزایش کیفیت برق رسانی به صنایع مذکور دارد. اما در سالهای اخیر به علت بروز پدیده گرد و غبار موسوم به ریزگردها در این استان مشکلات زیادی در وضعیت شبکه برق ایجاد شده و منجر به بروز خاموشی‌ها و حوادث متعددی شده است. یکی از مهمترین حوادث و خاموشی‌های گسترده‌ای که در طی سالیان اخیر در این استان به وجود آمده است مربوط به حوادث بهمن ماه سال می‌شود ۱۳۹۵ که در طی چند روز با ایجاد طوفان ریزگرد، قطعی‌های مداومی در شبکه برق این منطقه ایجاد گردید که برای جلوگیری از وقوع دوباره این خاموشی‌ها و معضلات ناشی از ریزگردها در شبکه برق نیاز است این چالش‌های مرتبط با زیرساخت‌های این شبکه که منجر به گسترش حادثه نیز شده است مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

### ➤ آمار کلی حوادث روی داده

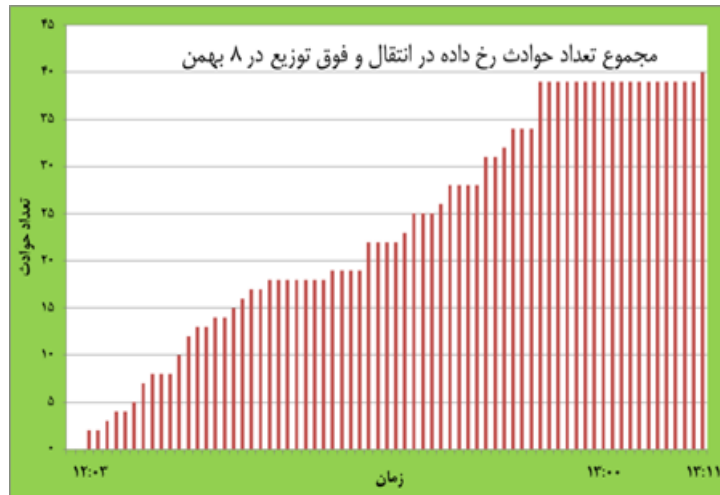
حوادث روز ۸ بهمن در شرایطی روی داده است که با وزش باد شدید، گرد و خاک و همچنین بارندگی به میزان کم همراه بوده است در نتیجه برای تحلیل اطلاعات و بررسی مناسب شرایط، نیاز بود که برای

شهرهایی که دچار حوادث قطعی شده‌اند، داده‌های آب و هوایی از جمله میزان بارش، جهت باد و سرعت باد با سایر نقاطی که شدت خطاها در آنجا کم بوده است، مورد مقایسه قرار گرفته شود. همچنین در روزهای ۹ و ۲۳ بهمن با کاهش دمای نسبی و افزایش درصد رطوبت نسبی و باقی ماندن ریزگردها خطاها و خاموشی‌ها با وسعت بیشتری اتفاق افتاده که با توجه به این موارد نیاز به تحلیل و بررسی اطلاعات آب و هوایی و محیطی در این چند روز وجود داشته است.

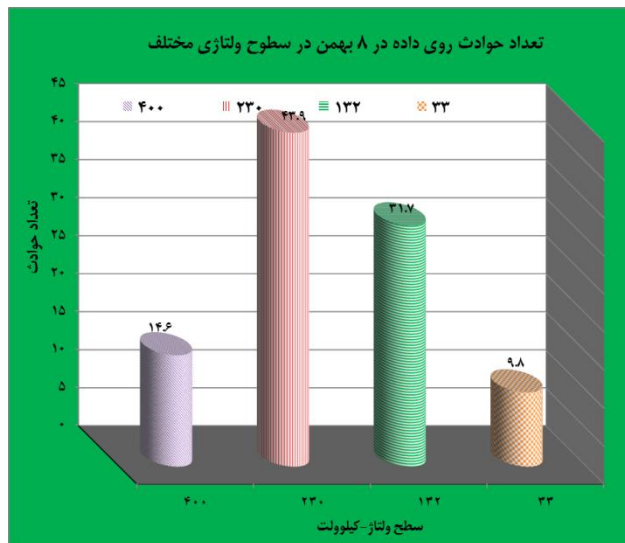
همانطور که در شکل (۱) و شکل (۲) نشان داده شده است، تعداد کل حوادث ثبت شده در روز ۸ بهمن ۴۱ مورد بوده است که از این موارد، ۳۹ حادثه بین ساعت ۱۲:۰۳ تا ۱۳:۱۱ بوده و مستقیم با وقوع طوفان ریزگردها ارتباط دارد. حوادث مربوط به فوق توزیع و انتقال در سطح ولتاژهای مختلف روی داده است بطوریکه ۶ حادثه مربوط به سطح ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت، ۱۸ مورد در سطح ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت، ۱۳ مورد در سطح ولتاژ ۱۳۲ کیلوولت و ۴ حادثه نیز در سطح ۳۳ کیلوولت اتفاق افتاده است که منجر به بروز خاموشی نسبتاً گسترده در سطح فوق توزیع و انتقال شده است.

همچنین تعداد کل حوادث ثبت شده در روز ۹ بهمن ۳۷ مورد بوده است. از ساعت حدود ۲:۳۰ بامداد تا ۷ صبح خروج‌ها و بروز خطاها روی خطوط و پست‌ها ادامه داشته است. در ۹ بهمن با توجه به رطوبت بالا و وقوع پدیده ریزگردها که در چند ساعت قبل از آن در روز هشتم اتفاق افتاده بود، تجهیزات عایقی در شبکه دچار شکست الکتریکی شده و در نتیجه آن تعداد زیادی از عناصر شبکه از مدار خارج شده یا دچار صدمه و آسیب شده‌اند. حوادث مربوط به فوق توزیع و انتقال در سطح ولتاژهای مختلف روی داده است بطوریکه ۱۶ حادثه در سطح ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت، ۱۱ حادثه در سطح ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت، ۹ حادثه در سطح ولتاژ ۱۳۲ کیلوولت و ۱ حادثه نیز در سطح ۳۳ کیلوولت اتفاق افتاده است که منجر به بروز خاموشی

گسترده در سطح فوق توزیع و انتقال شده است. در شکل (۳) و شکل (۴) به ترتیب مجموع روند حوادث و تعداد حوادث روی داده بر اساس سطوح ولتاژ- ۹ بهمن نشان داده شده است.



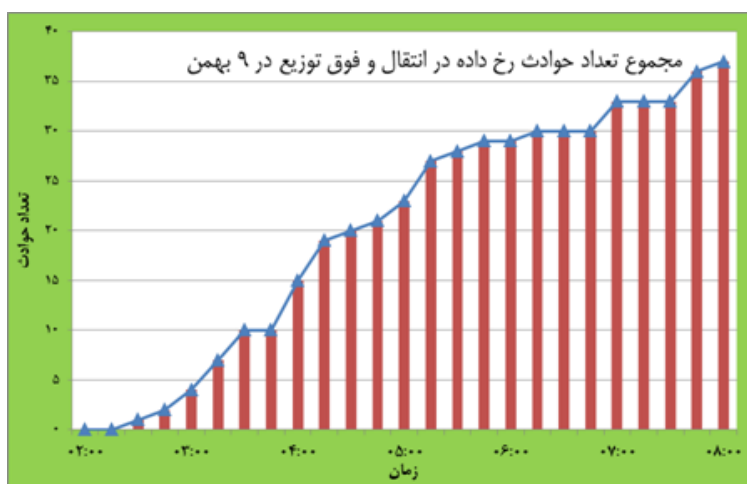
شکل (۱): روند خروج از مدار تجهیزات شبکه اعم از پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال در بازه زمانی ۱۲ تا ۱۳:۱۱ - ۸ بهمن



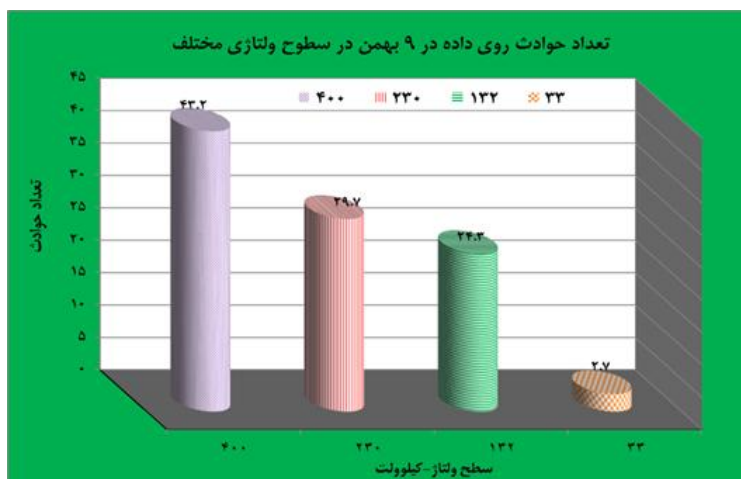
شکل (۲): تعداد حوادث روی داده بر اساس سطوح ولتاژ- ۸ بهمن

در روز ۹ بهمن تعداد حوادث و خطوط و پست‌های خارج شده در سطح ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت به نسبت روز هشتم بیشتر بوده است. در واقع در روز ۸ بهمن تنها پست اهواز ۲ در سطح ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت دچار حادثه شد، اما در روز ۹ بهمن قطع خطوط ۴۰۰ کیلوولت با کد ۹۰۰، ۹۱۵، ۹۲۱، ۹۱۸، ۹۱۹، ۹۳۳ و ۹۳۵ و همچنین حوادث متعدد و خروج‌هایی که در پست‌های اهواز ۲، شمالغرب، مهزیار و شهید هاشمی به علت

بروز خطا در تجهیزاتی نظیر مقره خطوط، کلید فشار قوی، ترانس‌های قدرت روی داد، منجر به خروج عناصر مهمی مانند خطوط، باس‌ها و ترانس‌ها گردید که در نتیجه گسترش حادثه و همچنین خاموشی‌ها در این روز نسبت به ۸ بهمن بیشتر شد.



شکل (۳): مجموع حوادث روی داده - ۹ بهمن

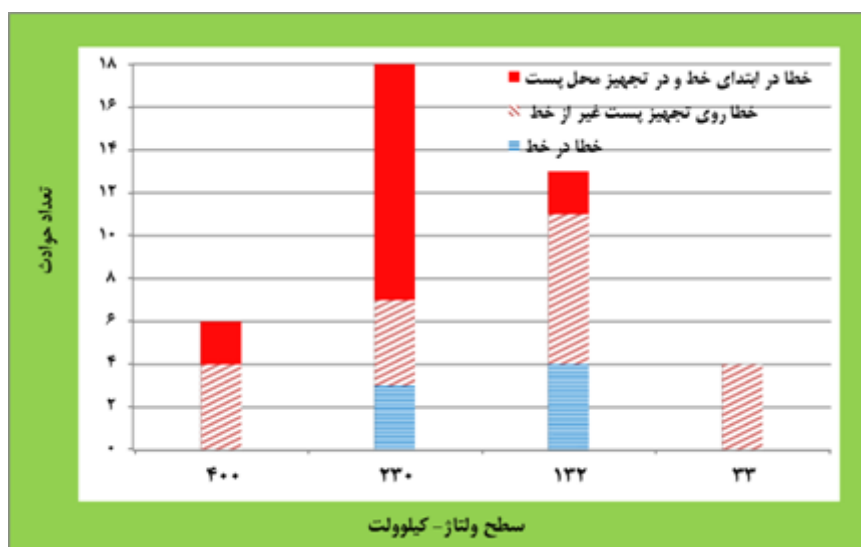


شکل (۴): تعداد حوادث روی داده بر اساس سطوح ولتاژ - ۹ بهمن

همچنین همانطور که در شکل (۵) دیده می‌شود، از بین ۴۱ حادثه روز ۸ بهمن فقط ۷ حادثه ناشی از بروز خطاهایی مانند اتصال کوتاه روی خط بوده است و بقیه حوادث روی فقط تجهیز پست اتفاق افتاده است و منجر به خارج شدن عناصری مانند ترانس، باس و خط شده است، یا روی تجهیز خط و در مکان



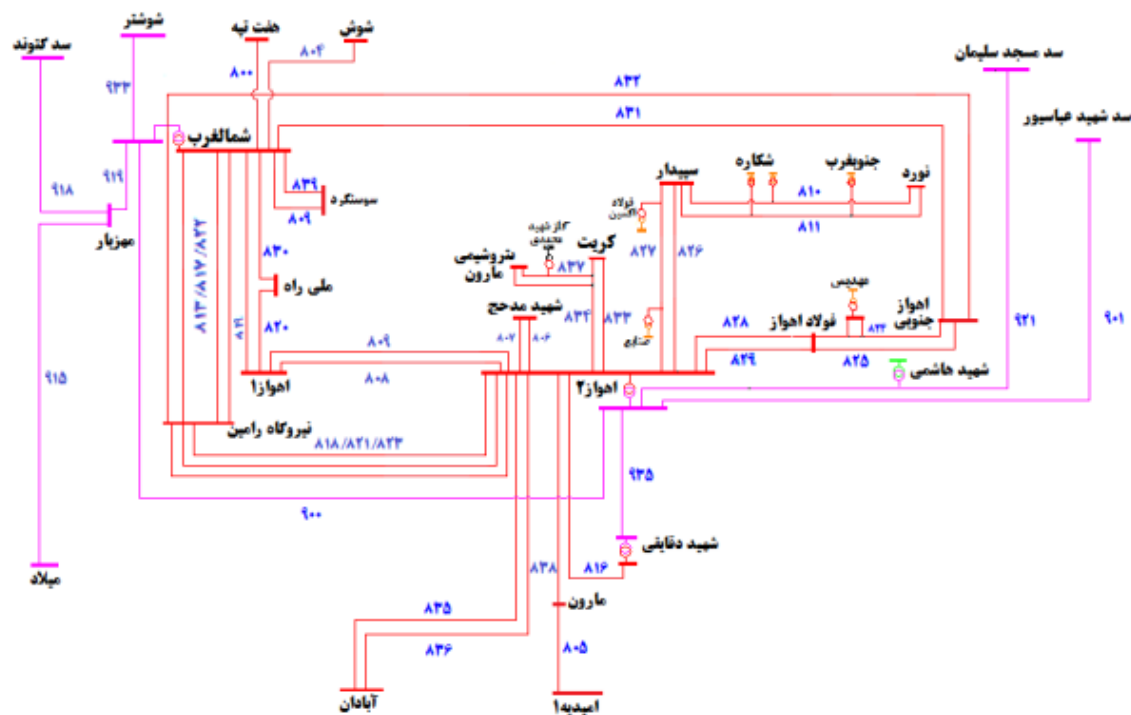
پست مانند برقگیر ابتدای خط، مقره ساپورت کلید قطع کننده ابتدای خط و در مکان پست، روی داده است. همچنین بسیاری از خاموشی‌ها و خروج‌های روی داده در روز ۹ بهمن به علت گسترش حادثه ایجاد شده است. در واقع گسترش حادثه در این نمودار به دو دسته عمده تقسیم شده است. دسته اول شامل حوادثی می‌باشد که به علت عواملی نظیر ضعف در آرایش پست، T-off بودن پست، خرابی کلید و عدم عملکرد صحیح رله اتفاق افتاده است که در این دسته از حوادث ناحیه خط‌دار سیستم گسترش یافته و خروج‌هایی که اتفاق افتاده است شامل بخش‌های بدون خط نیز می‌باشد.



شکل (۵): تفکیک محل حادثه حوادث روی داده بین خط و پست - ۸ بهمن

دیاگرام تک خطی خطوط و پست‌های حادثه دیده در روز ۸ و ۹ بهمن در شکل (۶) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است اکثر خطوط خارج شده در سطح انتقال ناشی از وجود خطا در سمت پست اهواز ۲، شمالغرب و مهزیار بوده است. ۱۷ حادثه (بالای ۴۰ درصد حوادث) در روز ۸ بهمن و ۹ حادثه در روز ۹ بهمن در پست اهواز ۲ اتفاق افتاده است. این پست دارای بیشترین تعداد تجهیز خط‌دار می‌باشد، در واقع حوادثی که در پست اهواز ۲ اتفاق افتاد متعدد بوده و این حوادث هم ناشی از بروز خطا و

خرابی در داخل پست بوده و هم به علت خروج‌ها و خطاهای به وجود آمده بر روی خطوط متصل به پست اهواز ۲ می‌باشد.

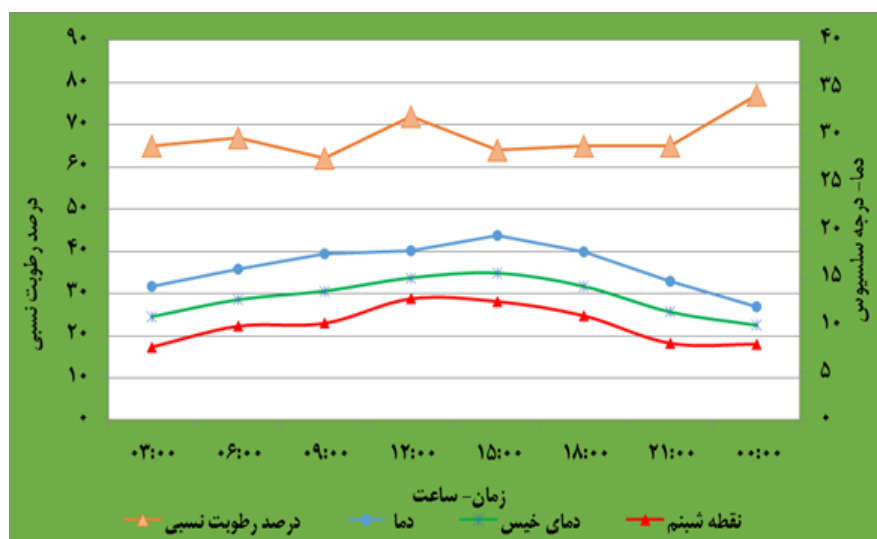


شکل (۶): خطوط و پست‌های حادثه دیده در سطح انتقال ۸- و ۹- بهمن

### بررسی شرایط آب و هوایی

بمنظور تحلیل اطلاعات آب و هوایی و ارتباط آنها به زمان وقوع حوادث در شکل (۷) نمودار اطلاعات آب و هوایی شامل درصد رطوبت نسبی، دما، نقطه شبنم و دمای خیس روز ۸ بهمن آورده شده است. با توجه به اینکه وقوع ریزگردها و شروع حوادث در این روز بعد از ساعت ۱۲ ظهر بوده است و از آنجایی که عمده‌ترین این خاموشی‌ها و وقایع در شهر اهواز اتفاق افتاده است در نتیجه باید تفاوت بین این شهر با سایر شهرها از نظر شرایط آب و هوایی مشخص گردد. بدین منظور ۵ مورد ایستگاه اطلاعات آب و هواشناسی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که عبارتند از اهواز، اهواز کشاورزی، امیدیه، هندیجان و ماهشهر.

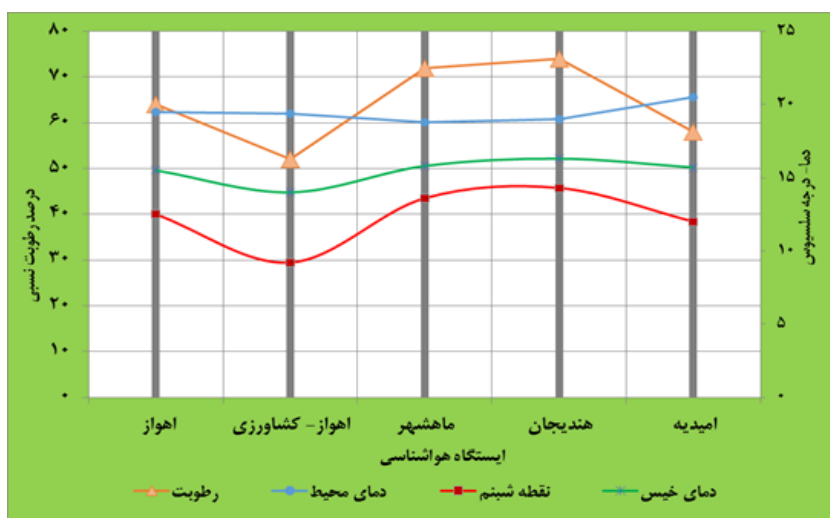
مبنای انتخاب این ایستگاه‌ها بر اساس وقوع حادثه ریزگرد و همچنین گزارش‌های حوادث و خاموشی‌ها در این شهرها در روز ۸ بهمن بوده است. با توجه به اطلاعات آب و هوایی ایستگاه‌های مختلف می‌توان متوجه شد که رطوبت هوا که عامل مهم در تشکیل و جذب آلودگی روی مقره‌ها و تجهیزات عایقی می‌باشد در ساعت ۱۲ تا ۱۵ روز ۸ بهمن در شهرهای ذکر شده بین ۶۰ تا ۷۵ درصد بوده که رطوبت خیلی بالایی در استان خوزستان نمی‌باشد. همچنین نقطه شبنم با دمای محیط تفاوت به نسبت بالایی دارد.



شکل (۷): نمودار اطلاعات آب و هوایی ایستگاه اهواز - ۸ بهمن

در شکل (۸) نمودار اطلاعات آب و هوایی ایستگاه‌های مختلف برای مقایسه نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است با اینکه درصد رطوبت نسبی ایستگاه‌های اهواز، اهواز کشاورزی نسبت به ایستگاه‌های هندیجان و ماهشهر کمتر می‌باشد اما حوادث و قطعی‌ها در شهر اهواز اتفاق افتاده است. با توجه به موضوع اشاره شده و اینکه ذرات گرد و غبار در روی مقره‌ها بعد از وقوع ریزگردها نشسته‌اند، در نتیجه برای ایجاد شکست الکتریکی علاوه بر رطوبت، پارامترهای محیطی دیگر از جمله سرعت باد و مقدار بارش باران باید در نظر گرفته شود زیرا در زمانی که مقدار بارش ناچیز باشد تعداد خطاهای عایقی در شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو افزایش می‌یابد، چرا که این مساله باعث می‌گردد به جای پاک شدن سطوح

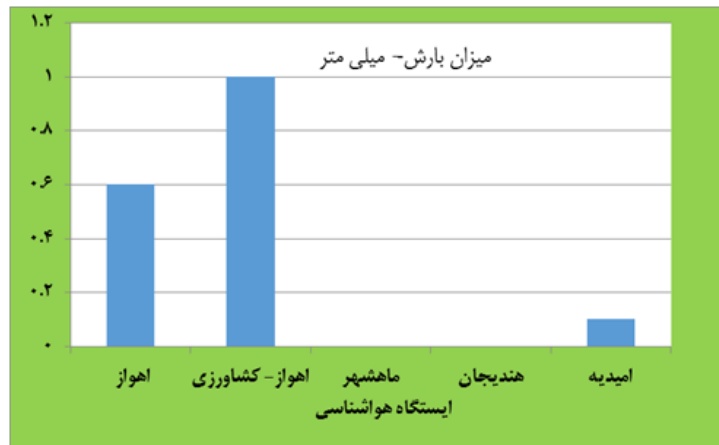
عایقی از ذرات ریزگردها و یا در حین فرآیند پاک شوندگی، سطوح آلودگی موجود بر روی سطح عایقی مرطوب گردیده و با ایجاد مسیر الکترولیت مناسب، میزان جریان نشتی را افزایش داده و با کاهش سطوح عایقی منجر به تخلیه سطحی گردند.



شکل (۸): مقایسه اطلاعات آب و هوایی ایستگاه‌های مختلف - ۸ بهمن

در شکل (۹) میزان بارش باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است میزان بارش به مقدار ۰/۶ میلی‌متری و یک میلی‌متری ثبت شده در شهر اهواز و همچنین ۰/۱ میلی‌متری در امیدیه علت اصلی وقوع شکست الکتریکی در مقرها و تجهیزات عایقی خطوط و پست‌ها می‌باشد. در واقع یکی از تفاوت‌های اصلی بین شهر اهواز و شهرهای دیگری که در مسیر ریزگرد بوده‌اند ولی در روز ۸ بهمن حادثه‌ای در آنها اتفاق نیافتاده است این است که در این شهر به میزان بسیار کم بارش وجود داشته است که نه تنها آلودگی ریزگردها را از روی مقرها و تجهیزات پاک نکرده است بلکه میزان کم این بارش باعث چسبندگی ذرات گرد و غبار بر روی مقرها شده و در نتیجه با کاهش مقاومت سطحی روی مقرها مسیر ایجاد جریان نشتی با رسانایی بالا به وجود آمده و در پی آن شکست الکتریکی سطحی و

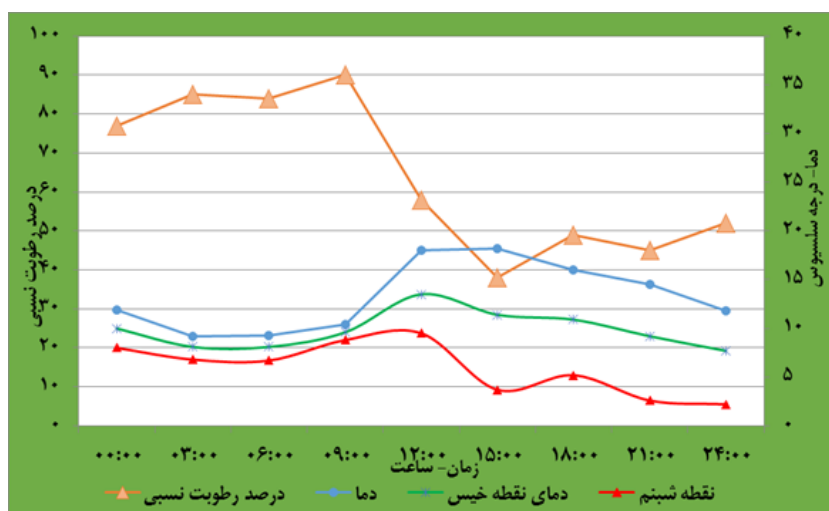
خطاهای اتصال کوتاه در شبکه ایجاد شده است که با عملکرد رله‌ها و سیستم‌های حفاظتی، خطوط و پست‌های مورد خطا دچار قطعی شده‌اند.



شکل (۹): میزان بارش باران برای چند ایستگاه مختلف - ۸ بهمن

در شکل (۱۰) نمودار پارامترهای مختلف آب و هوایی در روز ۹ بهمن برای ایستگاه اهواز نشان داده شده است. همانطور که در این نمودار مشخص است در ساعات ابتدایی روز ۹ بهمن رطوبت دما در حدود ۷۵ درصد می‌باشد اما با گذشت زمان و ساعت ۳ که داده ثبت شده است این مقدار بالای ۸۵ درصد می‌باشد. با توجه به اینکه حوادث روز ۹م بین ساعت ۲ تا ۳ صبح و در زمان ۲:۳۰ شروع شده است در نتیجه می‌توان این رطوبت بسیار بالا را که درست چند ساعت بعد از وقوع ریزگردها ایجاد شده است را یکی از عوامل اصلی محیطی در بروز خطاهای به وجود آمده دانست. در واقع پس از ایجاد حوادث ناشی از بروز پدیده گرد و غبار در جنوب شرق و شرق اهواز در روز ۸م که بیشتر به علت بارش کم باران در آن روز بوده است، این گرد و غبار به غرب شهر اهواز نیز رسیده است. در صورتیکه پس از ایجاد گرد و غبار و ریزگردها و نشت آنها بر روی تجهیزات عایقی پست‌ها و خطوط انتقال و فوق توزیع، بارش باران بسیار شدیدی به وجود می‌آید و یا فرصت کافی برای شست‌وشوی تجهیزات و پاک کردن آلودگی‌ها وجود داشت، آنگاه شاید وسعت و میزان خاموشی بسیار کم‌تر از این حوادث به وجود آمده، بود. اما رطوبت بسیار

بالای محیط در ساعات اولیه روز ۹ فرصت کافی برای انجام اقدامات مناسب جهت پاکسازی آلودگی را به وجود نیاورده و در نتیجه خطاهای ناشی از شکست الکتریکی سطحی روی تجهیزات عایقی و قطعی‌های ایجاد شده باعث بروز خاموشی‌های گسترده در روز ۹م بهمن شده است.



شکل (۱۰): نمودار اطلاعات آب و هوایی ایستگاه اهواز - ۹ بهمن

همانطور که در شکل (۱۰) مشخص است در زمان‌هایی که رطوبت نسبی بالا می‌باشد مقدار دمای نقطه شبنم به دمای محیط بسیار نزدیک بوده و در نتیجه با ایجاد جریان نشستی بالا روی مقره و باند خشک، توزیع میدان روی تجهیز غیر یکنواخت بوده و در نهایت شکست الکتریکی پدیدار شده و خطاهای اتصال کوتاه در سیستم توسط سیستم حفاظتی تشخیص داده شده و دستورات قطع خطوط و پست‌ها توسط رله‌ها با باز شدن کلیدهای قدرت و جداسازی بخش‌های خط‌آدار همراه می‌باشد.

### چند نمونه از چالش‌های شبکه برق خوزستان

با توجه به حوادث روی داده نیاز است که ساختار و شبکه برق منطقه‌ای استان خوزستان و همچنین چالش‌های موجود در شبکه و زیرساخت‌های آن مورد بررسی قرار گرفته و اطلاعاتی نظیر نحوه قرارگیری خطوط و پست‌ها، نوع و تعداد تجهیزات به کار رفته، توپولوژی شبکه و سایر جزئیات مورد نیاز شرح داده

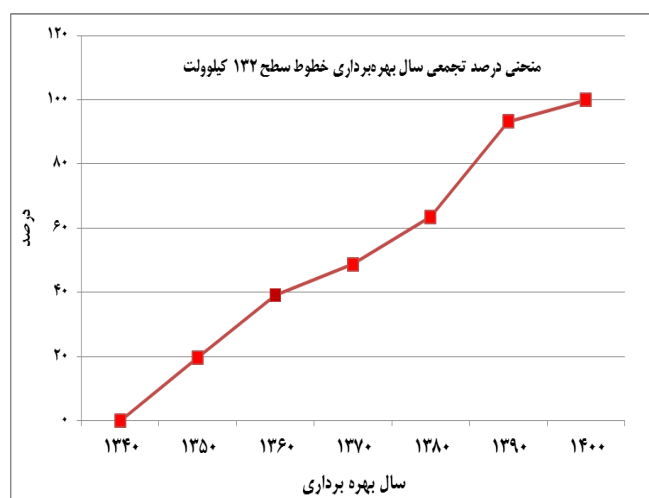
شود. در این بخش انواع چالش‌های مهمی که در شبکه برق خوزستان وجود دارد بیان شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### عمر بهره برداری تجهیزات شبکه

از پارامترهای مهمی که بر عملکرد تجهیزات مختلف در شبکه برق تاثیر مستقیم دارند، میزان عمر بهره برداری آنها می‌باشد. عمر بالای خطوط، پست‌ها، ترانسفورماتورها، تجهیزات کلیدزنی و حفاظتی، تجهیزات اندازه‌گیری و سایر عناصر موجود در شبکه یکی از چالش‌های مهم می‌باشد که بخصوص در هنگام بروز حوادث ناشی از وقایع طبیعی می‌تواند باعث گسترش قطعی‌ها و خاموشی‌های ایجاد شده نیز شود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در مورد خطوط و پست‌های ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت خوزستان از جمله موارد مهم در این زمینه عبارتند از:

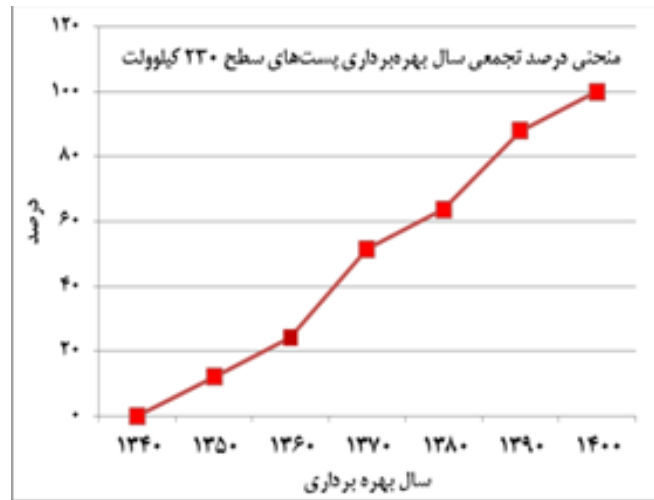
- در صورتیکه عمر مفید یک خط در منطقه خوزستان در حدود ۳۵ سال در نظر گرفته شود در آن صورت حدود ۴۰ درصد خطوط ۱۳۲ کیلوولت و ۵۰ درصد ۲۳۰ کیلوولت خوزستان دارای عمر بالای ۳۵ سال می‌باشد.
- خطوط سطح ۲۳۰ کیلوولت نسبت به خطوط ۱۳۲ دارای قدمت بیشتری بوده و همچنین خطوط تازه تاسیس نیز کمتر می‌باشد.
- خطوط ۴۰۰ کیلوولت نسبت به ۲۳۰ کیلوولت جدیدتر بوده و دارای عمر کمتری می‌باشد.
- در سطح ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت اغلب پست‌ها از دهه ۱۳۷۰ به بعد مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند و پست‌هایی که دارای قدمت بیشتری می‌باشند بنظر می‌آید که در ابتدا به صورت ۲۳۰ کیلوولت بوده و سپس ارتقاء یافته‌اند.

- حدود ۲۲ درصد تعداد پست‌های ۲۳۰ کیلوولت و ۲۰ درصد تعداد ۱۳۲ کیلوولت دارای عمر بالای ۳۵ سال می‌باشند.
- در سطح ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت نسبت تعداد پست‌هایی که قبل از سال ۱۳۶۰ بهره‌برداری شده‌اند در مقابل پست‌های ۴۰۰ کیلوولت بیشتر است و در واقع نشان از عمر بالاتر پست‌ها در این سطح ولتاژ دارد.
- در سطح ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت نسبت تعداد پست‌هایی که بعد از سال ۱۳۸۰ بهره‌برداری شده‌اند در مقابل پست‌های ۴۰۰ کیلوولت کمتر است و در واقع نشان از توسعه نسبی بیشتر سطوح ۴۰۰ کیلوولت نسبت به ۲۳۰ کیلوولت می‌باشد.
- رشد پست‌های ۱۳۲ کیلوولت نسبت به سایر سطوح ولتاژی دارای روند مشخص‌تری می‌باشد و در طی دهه‌های مختلف این پست‌ها با توجه به رشد سایر مشخصه‌های شبکه از قبیل بار و تعداد خطوط افزایش داشته است.



شکل (۱۱): منحنی درصد تجمعی سال بهره‌برداری خطوط سطح ۱۳۲ کیلوولت شبکه خوزستان





شکل (۱۲): منحنی درصد تجمعی سال بهره‌برداری پست‌های سطح ۲۳۰ کیلوولت شبکه خوزستان

### ضریب بهره‌برداری

یکی از شاخص‌های ارزیابی ظرفیت شبکه استفاده از شاخص ضریب بهره‌برداری پست می‌باشد که برابر است با نسبت حداکثر بار اکتیو پست یا ترانس (مگاوات) به  $0/9$  مقدار جمع ظرفیت پست یا ترانس (مگاوات (آمپر). در شکل (۱۴) مقایسه‌ای بین نسبت حداکثر بار به ظرفیت پست‌های فوق توزیع و انتقال خوزستان بر حسب سال بهره‌برداری نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نیز مشخص است وضعیت پرباری برای پست‌های ۴۰۰ کیلوولت قدیمی نسبت به سایر پست‌ها بحرانی‌تر می‌باشد. همچنین اکثر پست‌هایی که دارای نسبت حداکثر بار به ظرفیت پایینی می‌باشند در رده ۲۳۰ و ۱۳۲ کیلوولت قرار دارند.

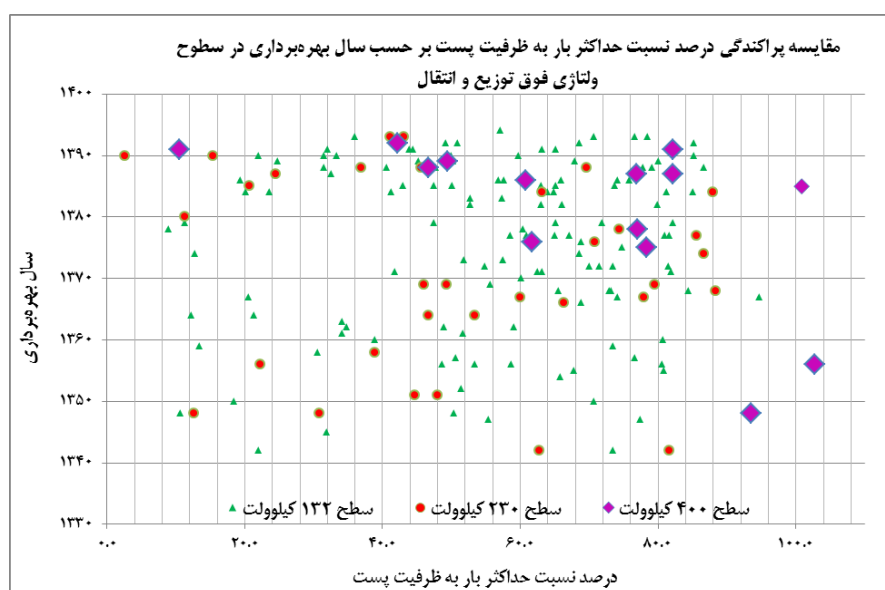
### وضعیت آرایش پست‌های انتقال و فوق توزیع

یکی دیگر از مشخصات مهم هر پست نحوه آرایش و قرارگیری تجهیزات در آن می‌باشد. باید توجه داشت که هرچه آرایش یک پست کامل‌تر باشد قابلیت اطمینان در آن بالاتر و احتمال گسترش خطا در پست پایین‌تر خواهد بود. برای نمونه چند مورد از این ضعف‌ها در زیر آورده شده است:

➤ عدم وجود کلید قدرت در سمت فشار قوی و فشار متوسط ترانسفورماتورهای قدرت

- عدم وجود باس کوپلر یا باس شکن در برخی موارد با توجه به آرایش و سطح ولتاژ پست
- عدم وجود ثبات‌های حوادث در بسیاری از پست‌ها
- ضعف مکانیکی سازه و استراکچر نگهدارنده تجهیزات پست

با توجه به موارد عنوان شده نیاز به بازنگری در طراحی برخی پست‌ها وجود دارد تا قابلیت اطمینان این پست‌ها بالا رفته و در صورت بروز حوادث تعداد خروج‌ها کمتر شده و در نتیجه امنیت سیستم ارتقاء یابد.



شکل (۱۳): ضریب بهره‌برداری پست‌های سطح ۴۰۰ کیلوولت شبکه خوزستان

### بالا بودن سطح اتصال کوتاه

با توجه به اینکه وقوع پدیده گرد و غبار باعث ایجاد شکست الکتریکی در سطوح عایقی تجهیزات می‌شود و خطاهای اتصال کوتاه به وجود می‌آورد، جریان‌های اتصال کوتاه علاوه بر ایجاد تنش‌های الکتریکی در سیستم باعث بروز تنش‌های مکانیکی نیز می‌شوند. در واقع در صورتیکه کلید قدرت نتواند به صورت مناسب و در زمان تعیین شده عمل کند تداوم جریان اتصال کوتاه باعث بروز آسیب‌های جدی به تجهیزات شبکه می‌گردد. یکی از چالش‌های مهمی که در شبکه وجود دارد افزایش سطح اتصال کوتاه نسبت

به طراحی ابتدایی می‌باشد برای نمونه با توجه به بررسی‌های صورت گرفته سطح اتصال کوتاه در پست اهواز ۲ بالا و در حدود ۵۳ کیلوآمپر می‌باشد در صورتیکه کلید تعبیه شده در این پست ۵۰ کیلوآمپری می‌باشد و توانایی قطع این جریان را ندارد.

## مراجع

[1]Ettore Bompard and et al, " Classification and trend analysis of threats origins to the security of power systems", Electrical Power and Energy Systems, vol 50 , pp 50-64, 2013

[2]Yezhou Wang, henchmen , ianhui Wang, " Research on Resilience of Power Systems Under Natural Disasters—A Review", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, vol 31 , pp 1604 - 1613, 2016

[۳] " سیستم های انتقال انرژی الکتریکی هوشمند"، فرخ امینی، دانشگاه تهران، ۱۳۹۶.

[4]National climate data center.

[5]US Energy Information Administration.

[6]Mathaios Panteli,"Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power system", Electrical Powe System research, 2016

[7]Mathaios Panteli,"Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power system", Electrical Powe System research, 2016

[8]Maas GA et al. System disturbance on 4 November 2006. Final, report, 2007M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

[۹] " آمار تفصیلی صنعت برق ایران "، توانیر ۱۳۹۵.

[۱۰] " گزارش حوادث شبکه برق منطقه‌ای خوزستان در ۲۳ و ۲۶ بهمن ۱۳۹۵"، برق منطقه‌ای خوزستان، معاونت بهره‌برداری، ۱۳۹۶.

[۱۱] "تحلیل حوادث بهمن ۹۵ شبکه انتقال و فوق توزیع نیروی خوزستان (با نگاه ویژه به عملکرد عایقی

تجهیزات فشار قوی)، بخش اول: بررسی مشخصات شبکه برق خوزستان و تحلیل شرایط آب و هوایی

روزهای ۸ و ۹ بهمن"، گروه پژوهشی تجهیزات خط و پست، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۶.



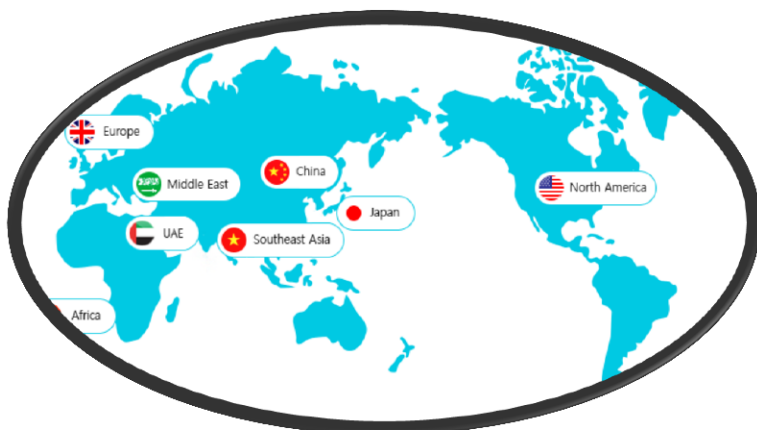
## معرفی و آشنایی با فعالیت‌های شرکت KEPCO

شرکت برق کره جنوبی (Korea Electric Power Corporation) KEPCO بر اساس قوانین شرکت برق کره جنوبی به منظور تسهیل توسعه منابع انرژی الکتریکی، تأمین تقاضای برق کشور و مشارکت در توسعه اقتصادی ملی این کشور پایه‌گذاری شده است. در طی ۱۲۰ سال گذشته، KEPCO به عنوان تأمین‌کننده برق فعالیت داشته است و تاریخچه گسترده‌ای در زمینه سیستم‌های قدرت و انرژی داشته است. در حال حاضر از مهمترین اهداف این شرکت کمک به تحقیقات هوشمند و سبز و گسترش آن به بازارهای جهانی می‌باشد.

از مهمترین زمینه‌های کاری که شرکت KEPCO در حال فعالیت می‌باشد عبارتند از:

- توسعه منابع انرژی الکتریکی
- تولید
- انتقال
- تبدیل و توزیع برق
- بازاریابی
- تحقیق و توسعه فن‌آوری
- کسب‌وکار خارج از کشور
- سرمایه‌گذاری و مشارکت در مسئولیت اجتماعی

شرکت KEPCO با اهداف ایجاد فرصت‌های شغلی با کیفیت بالا، امکان استفاده کارآمد از برق برای مشتریان و ایجاد محیط زیست بهتر برای جامعه در زمینه انرژی هوشمند فعالیت می‌کند. همچنین این



شرکت در بازارهای خارج از کشور کره جنوبی از جمله خاورمیانه، جنوب شرقی آسیا و آمریکا حضور دارد.

شرکت KEPCO در واقع مجموعه‌ای از شرکت‌ها با زمینه‌های کاری متفاوت است. در زیر فهرستی از شرکت‌های تابعه شرکت KEPCO و زمینه فعالیت آن‌ها آورده شده است.

✚ شرکت های تولید برق

۱. شرکت انرژی هسته‌ای و برق‌آبی کره (KHNP)

شرکت KHNP تنها اپراتور نیروگاه برق هسته‌ای در کره است. همچنین این شرکت نیروگاه‌های برق‌آبی و برق‌آبی تلمبه‌ای را به کار می‌گیرد.

۲. شرکت برق جنوب شرقی کره (KOEN)

شرکت KOEN نیروگاه حرارتی Samcheonpo و نیروگاه حرارتی Yeongheung را اداره می‌کند.

۳. شرکت برق مرکزی کره (KOMIPO)

شرکت KOMIPO نیروگاه حرارتی Boryeong و نیروگاه حرارتی Seocheon و چندین نیروگاه دیگر را اداره می‌کند.

۴. شرکت برق غربی کره (KOWEPO)

شرکت KOWEPO نیروگاه حرارتی Taean و چندین نیروگاه دیگر را اداره می‌کند.

۵. شرکت برق جنوبی کره (KOSPO)

شرکت برق KOSPO نیروگاه حرارتی Hadong و چندین نیروگاه دیگر را اداره می‌کند.

۶. شرکت برق شرقی-غربی کره (EWP)

شرکت برق EWP نیروگاه حرارتی Dangjin، نیروگاه حرارتی Honam و همچنین چندین نیروگاه دیگر را اداره می‌کند.

سایر شرکت‌های تابعه

۱. شرکت مهندسی و ساخت‌وساز KEPCO

شرکت مهندسی و ساخت‌وساز KEPCO به منظور دستیابی به تکنولوژی‌های مربوط به طراحی و ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای و حرارتی، تأسیس شد.

۲. شرکت خدمات فنی و مهندسی KEPCO

شرکت خدمات فنی و مهندسی KEPCO خدمات تعمیر و نگهداری با کیفیت بالا را برای تأسیسات برق هسته‌ای و حرارتی، تأسیسات انتقال و تبدیل قدرت و تأسیسات صنعتی، فراهم می‌کند. این شرکت ارائه خدمات تعمیر و نگهداری در طول پیش راه‌اندازی، تعمیر و نگهداری عادی در طول راه‌اندازی و

تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برنامه‌ریزی شده را به عهده دارد. این شرکت دامنه تجارت خود را به ۲۵ کشور از جمله ایالت متحده آمریکا، استرالیا و عربستان سعودی گسترش داده است.

### ۳. شرکت سوخت هسته‌ای *KEPCO*

شرکت سوخت هسته‌ای *KEPCO* تنها شرکت در کره است که به طراحی و تولید سوخت هسته‌ای اختصاص دارد. این شرکت در طراحی هسته راکتور هسته‌ای، تولید سوخت هسته‌ای، تحلیل ایمنی و سایر خدمات مربوطه فعالیت دارد.

### ۴. شرکت شبکه اطلاعات *KEPCO*

شرکت شبکه اطلاعات *KEPCO* در زمینه پیاده‌سازی سیستم‌های *ICT*، فراهم کردن خدمات *ICT* مرتبط با برق، ساخت و تعمیر زیرساخت‌های مرتبط با *ICT* و فراهم کردن توزیع برق هوشمند و اطمینان از امنیت اطلاعات، فعالیت می‌کند. این شرکت همچنین در زمینه تکنولوژی‌هایی نظیر *PLC* و *AMI* و سیستم توزیع هوشمند مورد نیاز برای دستیابی به شبکه هوشمند، تحقیق می‌کند.

✚ ایجاد منابع انرژی پاک و کارآمد

از مهمترین فعالیت‌های تحقیقاتی و عملیاتی شرکت *KEPCO* در زمینه ایجاد منابع انرژی پاک و کارآمد و توسعه شبکه‌های هوشمند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

✚ فناوری تولید برق بادی فراساحلی

✚ *HVDC*

✚ مواد جدید برای تجهیزات قدرت

✚ تکنولوژی ابررسانا

شبکه هوشمند

ریزشبکه

سیستم ذخیره کننده انرژی

فناوری زغالسنگ پاک

فناوری ضبط ، استفاده و ذخیره سازی کربن

همگرایی بین تولید ، انتقال ، مصرف و ICT

ساخت مرکز تحقیق شبکه هوشمند

خدمات مشاوره ای در زمینه زیرساخت اندازه گیری پیشرفته AMI

نصب سیستم های مدیریت ساختمان

همچنین مهمترین زمینه ها و فعالیت های کاری شرکت KEPCO در خارج از کشور کره جنوبی

عبارتند از :

نیروگاه حرارتی

شرکت KEPCO، به عنوان یک تولیدکننده برق مستقل بزرگ، موقعیت خود را در بازار نیروگاه آسیا، خاورمیانه، آمریکای مرکزی و جنوبی و آفریقا تقویت می کند. نمونه ای از فعالیت های این شرکت در این زمینه در زیر آورده شده است.

✓ پروژه نوسازی ، بهره برداری ، نگهداری و مدیریت نیروگاه با سوخت نفت خام سنگین در

مالایای فیلیپین در سال ۱۹۹۵

✓ ساخت و بهره برداری نیروگاه سیکل ترکیبی در فیلیپین در سال ۱۹۹۶

✓ برنده شدن مناقصه نیروگاه گازی Al Qatrana در اردن در سال ۲۰۰۸



✓ برنده شدن مناقصه نیروگاه *Rabigh* در

عربستان در سال ۲۰۰۹

✓ برنده شدن مناقصه نیروگاه سیکل ترکیبی

گازی *Norte-2* در مکزیک در سال ۲۰۱۰

✓ برنده شدن مناقصه نیروگاه سیکل ترکیبی

گازی *Shuweihat s3* در امارات در سال

۲۰۱۰

✓ نیروگاه سیکل ترکیبی گازی *Pulah*

*Induh* در مالزی در سال ۲۰۱۷

### ➤ نیروگاه هسته‌ای

کشور کره جنوبی ششمین کشور از لحاظ ظرفیت نصب‌شده در نیروگاه‌های هسته‌ای در جهان است.

در آگوست ۲۰۱۷ در کشور کره جنوبی ۲۳ نیروگاه هسته‌ای مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت و ۵

نیروگاه نیز در دست ساخت بود. شرکت KEPCO یک رقابت جهانی در ساخت و ساز نیروگاه‌های

هسته‌ای با سایر کشورها دارد.

نیروگاه هسته‌ای OPR1000 یک نیروگاه هسته‌ای

کره‌ای با ظرفیت ۱۰۰۰ مگاوات و دوره ساخت ۵۱

ماه است. همچنین نیروگاه هسته‌ای APR 1400 یک



نیروگاه هسته‌ای صادراتی با امنیت بالاتر نسبت به OPR 1000 است .

### ➤ نیروگاه‌های تجدیدپذیر

با افزایش تقاضای جهانی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و همچنین تلاش برای کاهش گازهای گلخانه‌ای، KEPCO در حال گسترش فعالیت خود در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر است. نمونه‌ای از فعالیت‌های این شرکت در این زمینه در زیر آورده شده است.



✓ پروژه مزرعه بادی در مغولستان در سال ۲۰۰۵

✓ پروژه PV در چین در سال ۲۰۱۶

✓ پروژه نیروگاه خورشیدی در آمریکا در سال

۲۰۱۷

✓ خرید یک نیروگاه خورشیدی در کالیفرنیا

آمریکا در سال ۲۰۱۸

### ➤ زمینه توزیع و انتقال برق

از سال ۲۰۱۰ این شرکت تجارت خود را در زمینه توزیع و انتقال به کمک تکنولوژی‌های برتر جهانی که بومی کرده بود، آغاز کرده است. این شرکت علاوه بر کسب درآمد در زمینه مشاوره و ساخت و ساز در بخش انتقال و توزیع از صادرات تجهیزاتی مانند سیستم



خودکار و همچنین آموزش نیروی انسانی کسب درآمد می‌کند. نمونه‌ای از فعالیت‌های این شرکت در این زمینه در زیر آورده شده‌است.

- ✓ پروژه مطالعه تحلیلی شبکه برق در میانمار در سال ۲۰۰۱
- ✓ مطالعه امکان‌سنجی بهبود سیستم توزیع در فیلیپین در سال ۲۰۰۲
- ✓ پروژه مهندسی و ساخت و ساز سیستم توزیع و انتقال در قزاقستان در سال ۲۰۱۱
- ✓ پروژه مهندسی و ساخت و ساز سیستم توزیع و انتقال در جمهوری دومینیک در سال ۲۰۱۱
- ✓ پروژه سیستم توزیع خودکار در مصر در سال ۲۰۱۳
- ✓ پروژه مشاوره‌ای در زمینه شبکه توزیع در کامبوج در سال ۲۰۱۶
- ✓ پروژه مشاوره‌ای در زمینه SCADA/EMS در ازبکستان در سال ۲۰۱۷
- ✓ پروژه مشاوره‌ای در زمینه مهندسی و ساخت و ساز ESS در گوآم آمریکا در سال ۲۰۱۷
- ✓ پروژه پایلوت راه‌اندازی AMI در سریلانکا در سال ۲۰۱۷
- ✓ امکان‌سنجی گسترش شبکه برق در اتیوپی جنوبی در سال ۲۰۱۷



#### ➤ کسب و کارهای هوشمند

در حال حاضر تمرکز شرکت KEPCO بر حضور در بازارهایی است که مرتبط با تکنولوژی‌هایی نظیر شبکه هوشمند، ریزشبکه‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی و ذخیره‌سازها هستند.

نمونه‌ای از فعالیت‌های این شرکت در این زمینه در زیر آورده شده‌است.

✓ پروژه پایلوت ریزشبكة در کانادا در سال ۲۰۱۵

✓ پروژه شهر هوشمند در دبی در سال ۲۰۱۵

✓ پروژه مهندسی و ساخت و ساز پست

هوشمند در بوتان در سال ۲۰۱۵

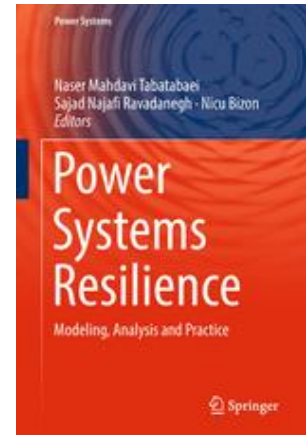
✓ پروژه ساخت ریزشبكة دوستدار محیط

زیست در اتیوپی در سال ۲۰۱۷



**Title: Power Systems Resilience**

*Edited by D. Mahdavi Tabatabaei, Naser,  
Najafi Ravadanegh, Sajad, Bizon, Nicu (Eds.)*



عنوان فارسی: تاب‌آوری سیستم‌های قدرت

سال انتشار: 2019

ناشر: Springer

این کتاب توضیحاتی شهودی از اصول و کاربردهای تاب‌آوری سیستم‌های قدرت و همچنین تعدادی از روش‌های ساده و عملی برای تحلیل اثر رویدادهای مخاطره‌آمیز بر روی عملکرد سیستم‌های قدرت را ارائه می‌کند. در این کتاب همچنین چالش‌هایی نظیر مدل‌سازی، شبکه‌های توزیع، برنامه‌ریزی بهینه، برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای، حملات عمدی، سیستم‌های فیزیکی سایبر و شبکه‌های هوشمند مبتنی بر SCADA تشریح شده و چگونگی غلبه بر این چالش‌ها نیز توصیف شده‌است. علاوه بر این، این کتاب نکات مربوط به مسائل تاب‌آوری از جمله تقویت سیستم در برابر رویدادهای تاثیرگذار با دفعات تکرار کم و بازیابی سریع ویژگی‌های سیستم را بیان می‌نماید. تعداد زیادی از متخصصان به منظور ارائه راه‌حل‌های نوآورانه و تحقیق در زمینه تاب‌آوری سیستم‌های قدرت همکاری کرده‌اند. آن‌ها همچنین در مورد مسائلی مانند اصول و ماهیت کنونی تاب‌آوری سیستم‌های قدرت، مسائل تئوری و عملی، همچنین مسائل و روش‌های کنونی برای کنترل حملات مخاطره‌آمیز و سایر تهدیدات سیستم‌های قدرت AC، صحبت می‌کنند. این کتاب شامل تحقیقات نظری، نتایج مهم، مطالعات موردی و فرآیندهای پیاده‌سازی عملی برای

ارائه بینش درباره سیستم‌های برق و مهندسی و انرژی است. این کتاب نشان می‌دهد که سیستم‌ها چگونه باید پاسخگوی حملات مخرب باشند و به خوانندگان کمک می‌کند تا بهترین رویکردها را انتخاب کنند. خواندن این کتاب برای مهندسين برق، محققان و متخصصان ضروری است. این کتاب همچنین به عنوان مرجع برای دانشجویان لیسانس و فارغ‌التحصیلانی که در زمینه تاب‌آوری و قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت فعالیت می‌کنند، مفید واقع می‌شود. این کتاب دارای سیزده فصل می‌باشد که عناوین فصول آن به شرح زیر است:

- ✚ مدل‌سازی و تحلیل تاب‌آوری در سیستم‌های توزیع
- ✚ انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سیستم‌های قدرت
- ✚ توسعه شاخص‌های تاب‌آوری برای سیستم‌های قدرت
- ✚ برنامه‌ریزی مطلوب شبکه‌های میکروگرید برای افزایش قابلیت اطمینان تحت عدم قطعیت
- ✚ برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای توسعه سیستم‌های تاب‌آور با استفاده از تولیدات پراکنده غیرگازی
- ✚ غیر مفید
- ✚ حملات مخرب و عمدی و تاب‌آوری سیستم‌های قدرت
- ✚ بازیابی سیستم‌های قدرت در هنگام وقوع بلایای طبیعی یا حملات مخرب
- ✚ مروری بر افزایش تاب‌آوری سیستم‌های سایبر فیزیکی
- ✚ تداوم عرضه برق و شاخص‌های خاص