

فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال سوم / شماره ۸ / پاییز ۱۳۹۶ / صفحات ۱۴۵-۱۱۹

برق توزیع نشده در شرکت توزیع نیروی برق شمال استان کرمان: تحلیل پویایی‌های سیستمی

احسان قاسمیان فرد

کارشناس ارشد مهندسی صنایع، شرکت توزیع نیروی برق شمال استان کرمان
ehsan_gh21@yahoo.com

سید حامد موسوی راد

استادیار مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
(نویسنده مسئول)
s.h.moosavirad@uk.ac.ir

یکی از مهمترین ماموریت‌های شرکت‌های توزیع نیروی برق، کاهش حوادث، خاموشی‌ها و انرژی‌های توزیع نشده است. در این تحقیق با استفاده از نظریه پویایی‌های سیستمی، عوامل موثر بر کاهش خاموشی‌ها در شبکه توزیع برق شمال استان کرمان شناسایی و اولویت بندی گردید. نتایج نشان داد که انرژی توزیع نشده ۷۷/۸ مگاوات ساعت با اعمال سیاست‌های بهبود به سطح ۵۵/۱۳ مگاوات ساعت در سال ۱۳۹۳ کاهش می‌یابد. از جمله سیاست‌های کاهش خاموشی‌های بی برنامه می‌توان به استاندارد نمودن شبکه، آموزش به کارکنان و توجیه دستورالعمل‌ها اشاره نمود. برای خاموشی‌های بی برنامه نیز عواملی مانند انجام قطعی برق در ساعات و فصول کم بار و در کمترین محدوده و عدم قطع مکرر در یک منطقه خاص باید در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: توزیع برق، خاموشی برق، پویایی‌های سیستم، قابلیت اطمینان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۲

۱. مقدمه

همواره از صنعت برق به عنوان یکی از حیاتی‌ترین صنایع یک کشور نام برده می‌شود. این صنعت به عنوان یک صنعت زیربنایی و مادر نقش مهمی در توسعه اقتصادی و رفاه جوامع دارد. تحقیقات نشان داده است رابطه دوطرفه مثبتی بین میزان مصرف انرژی و رشد اقتصادی برخی کشورها وجود دارد که نشان‌دهنده اهمیت انرژی در کشورهاست (علیزاده و گل خندان، ۱۳۹۵). اهمیت برق از آن جهت است که به دلیل امکان بکارگیری فناوری‌های مدرن و نیز ملاحظات زیست‌محیطی، در تمام زمینه‌های فعالیت می‌تواند به عنوان انرژی مناسب انتخاب شود، به طوری که نیاز به انرژی الکتریکی با پیشرفت و رشد فناوری، صنایع و جمعیت به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. امروزه برای رساندن برق از تولیدکنندگان به مصرف‌کنندگان، از یک شبکه بهم پیوسته که به طور منظم و یکپارچه کار می‌کند و اصطلاحاً سیستم قدرت نامیده می‌شود، استفاده می‌گردد. سیستم‌های قدرت امروزی به طور کلی به چهار قسمت اصلی تقسیم می‌شوند: مراکز تولید یا نیروگاه‌ها (انرژی الکتریکی را تولید می‌کنند)؛ سیستم‌های انتقال و فوق توزیع انرژی الکتریکی (برای انتقال انرژی الکتریکی تولیدی که اغلب در فواصل دور از مراکز مصرف قرار دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند)؛ سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی (انرژی الکتریکی مورد نیاز مشترکین را تامین می‌نمایند) و مشترکین (مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی). (همدانی گلشن، ۱۳۹۱)

در این میان، بخش توزیع به عنوان مرز مشترک صنعت برق، مشترکین و متقاضیان انرژی الکتریکی به مصرف‌کننده هاست. بنابراین، اشکالات سیستم توزیع در این صنعت، از دید مصرف‌کنندگان، مشکل صنعت برق و پایین بودن کیفیت خدمات قلمداد خواهد شد. از این رو، تقویت این بخش، کمک شایانی به دستیابی صنعت برق به اهداف تعیین شده می‌نماید و برعکس، عملکرد ضعیف آن موجب ارایه تصویر و ذهنیت نامناسب از این صنعت به عموم خواهد شد.

همواره یکی از بزرگترین مسایل و مشکلات شبکه های توزیع برق، وقوع خاموشی است. خرابی‌هایی که در اجزا و عناصر شبکه های توزیع رخ می دهد سبب بروز خاموشی می گردد. علاوه بر این، انجام مانورهای دوره‌ای جهت بررسی وضعیت خطوط و انجام تعمیرات و همچنین ایجاد تغییرات در شبکه، تعداد زیادی از خاموشی ها را موجب می شود. از طرفی، مصارفی وجود دارد که قطعی برق حتی به مدت چند ثانیه سبب خسارات هنگفتی به آنها می شود. (انبیایی، ۱۳۸۳؛ امینی و زمانی فر، ۱۳۸۳)

بروز هرگونه عیب در شبکه ضمن عدم جلب رضایت مشترکین، خسارات فراوانی بر مصرف کنندگان و شبکه توزیع تحمیل می نماید. خاموشی های مکرر، ناخواسته و خواسته و از پیش برنامه ریزی شده، می تواند خسارات جبران ناپذیری به شبکه وارد نماید.

هر یک از این خاموشی ها دلایل خاص خود را دارد که با شناخت کامل آنها می توان تدابیر مناسبی جهت کاهش آنها اتخاذ نمود. بنابراین، توجه بیشتر به شبکه های توزیع و تلاش در جهت رفع کمبودها و کاستی های این بخش و کم نمودن انرژی توزیع نشده و نهایتا بالا بردن قابلیت اطمینان و جلب رضایت مشترکین باید در دستور کار مدیران قرار گیرد.

امروزه از نظر مشترکان برق، خاموشی حادثترین مساله وزارت نیروست، به گونه ای که در تحقیقی از مشترکان، کاهش خاموشی به عنوان یکی از مزایای حذف یارانه های انرژی نام برده شده است (ابونوری و لاجوردی، ۱۳۹۲). همچنین مهمترین هدف شرکت های توزیع، استفاده از روش‌هایی جهت کاهش حوادث و انرژی توزیع نشده است.

در سال‌های اخیر، گام های اساسی برای بهبود بهره برداری و در نتیجه، کاهش انرژی توزیع نشده برداشته شده است. با شناخت کافی از موقعیت جغرافیایی و وضعیت تاسیسات شبکه و همچنین داشتن اطلاعات آماری دقیق از علت خاموشی ها می توان از بروز اکثر خاموشی ها جلوگیری کرد و

در نتیجه، باعث پایداری شبکه گردید. همچنین با رویکرد استفاده از تجهیزات و فناوری‌های جدید می‌توان تا حدود زیادی خاموشی‌های شبکه توزیع را کاهش داد.

با توجه به اهمیت کاهش میزان خاموشی‌ها در سطح شبکه‌های توزیع، نیاز است تاثیر سیاست‌های مدیران لحاظ شود و راهکارهای بهبود که منجر به کاهش بیشتر خاموشی‌ها می‌شود، در نظر گرفته شود.

با توجه به بررسی‌ها، اثرگذاری سیاست‌های مدیران بر کاهش میزان وقوع خاموشی با استفاده از نظریه پویایی‌های سیستمی کمتر مشاهده شده است. بنابراین، در این تحقیق، کلیه عوامل و متغیرهای موثر بر وقوع و اعمال خاموشی‌ها در شبکه توزیع با تکیه بر روش پویایی‌های سیستمی بررسی و اولویت بندی می‌گردند.

در مورد کاهش خاموشی‌های شبکه توزیع، مطالعات زیادی انجام شده و روش‌های مختلفی نیز مورد استفاده قرار گرفته است که گرچه تا حدودی موثر بوده، اما به لحاظ پیچیدگی فناوری جدید و توسعه روزافزون شبکه‌های برق، دیگر کارساز نیست. لذا لازم است شرکت‌های توزیع با شناخت صحیح از عوامل تاثیرگذار بر خاموشی‌ها و تجزیه و تحلیل علمی آنها میزان خاموشی‌ها را تا حد ممکن کاهش دهند. با استفاده از این تحقیق و با تکیه بر رویکرد پویایی سیستمی می‌توان در خصوص میزان تاثیر عوامل مختلف بر خاموشی‌ها ارزیابی لازم را انجام داد و سپس ضمن اولویت بندی، نسبت به ارایه سناریوهای مختلف به منظور رفع آن اقدام نمود.

برای نیل به این هدف، در قسمت دوم ابتدا مطالعات پیشین در این زمینه مرور خواهد شد. سپس در قسمت سوم، رویکرد پویایی‌های سیستمی جهت تحلیل مساله بیان خواهد شد. در ادامه، مدل پویایی‌های سیستمی مساله و نتایج حاصل در قسمت چهارم آورده می‌شود و اعتبار سنجی مدل به همراه نتیجه تحقیق به ترتیب در قسمت‌های پنجم و ششم ارایه می‌گردد.

۲. پیشینه پژوهش

تحقیق و پژوهش در صنعت کلیدی و راهبردی برق به دلیل گستردگی، پیچیدگی و تنوع از جایگاه ویژه‌ای در میان صنایع کشور برخوردار است و به همین دلیل، با تکیه بر اینکه از نیروی برق در سایر صنایع استفاده می‌شود، نقش طرح‌های تحقیقاتی در آن بسیار مهم و بنیادی است. همچنین با تشکیل کمیته‌هایی در شرکت توانیر و شرکت‌های زیرمجموعه آن گام‌های بلندی در خصوص تدوین دستورالعمل‌های کاربردی در این صنعت برداشته شده است که بخش قابل توجهی از این دستورالعمل‌ها در خصوص بهبود بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع و ارتقای قابلیت اطمینان آن به منظور شناسایی و اولویت بندی نیازهای بهره‌برداری شرکت‌های توزیع نیروی برق در جهت کاهش مدت زمان خاموشی با بهبود روشها و رعایت دستورالعمل‌ها و استانداردها می‌باشد.

یکی از مهمترین اهداف شرکت‌های توزیع برق، استفاده بهینه از انرژی تولید شده با کاهش انرژی توزیع نشده می‌باشد. به همین دلیل، توزیع مداوم و بی وقفه انرژی برق اهمیت ویژه‌ای برای صنعت برق دارد. با توجه به اهمیت مدیریت مصرف و حفظ قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع، مدیریت انرژی فروخته شده به مشترکین و کاهش زیان‌های ناشی از خاموشی بار حائز اهمیت بسیار می‌باشد. به همین منظور، مطالعات قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع در چند سال اخیر از اهمیت بسزایی برخوردار شده است. لذا آگاهی و بررسی دقیق علل بروز حوادث و خاموشی‌ها در شبکه‌های توزیع نیرو می‌تواند نقش بسیار مهمی در توسعه، نگهداری و بهره‌برداری مطلوب از شبکه ایفا نماید. به همین دلیل، ریشه‌یابی و انعکاس علل بروز خاموشی‌ها و افزایش زمان آن در سطح کشور مربوط به کلیه شرکت‌های توزیع کمک شایانی به پیشگیری و تقلیل خاموشی‌ها خواهد نمود. (انبیایی، ۱۳۸۳؛ امینی و زمانی فر، ۱۳۸۳)

انبیائی (۱۳۸۳) با تقسیم بندی عوامل افزایش خاموشی‌ها به دو دسته فنی و غیرفنی نشان داد که با شناسایی عوامل افزایش خاموشی‌های برق و تاثیر آن بر اقتصاد ملی-حیثیت اجتماعی می‌توان

اقدام‌های عملی برای محدود کردن زمان قطعی‌ها و پیشگیری از بروز خاموشی‌های سنگین به عمل آورد. همچنین با تقویت علم و آگاهی و استفاده از فناوری‌های مدرن و علوم جدید، ایجاد انگیزه و روانشناسی کار بهره‌برداران و درک حساسیت از سوی آنان می‌توان به اقتدار شرکت‌های توزیع قوت بخشید.

امینی و زمانی فر (۱۳۸۳) با طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم نرم‌افزاری مدیریت کاهش قطع برق در شبکه‌های توزیع به این نتایج دست یافتند: ۱- ایجاد امکان تشخیص محل تجهیز حفاظتی عملکرد هنگام بروز خاموشی بدون استفاده از تجهیزات سخت‌افزاری مرسوم و با استفاده از تکنیک‌های نرم‌افزاری هوشمند؛ ۲- استفاده از استاندارد XML و ایجاد امکان دسترسی به اطلاعات توپولوژی شبکه؛ ۳- ایجاد یک سیستم مجتمع جهت ثبت جامع اطلاعات خاموشی و ۴- ایجاد امکان محاسبه شاخص‌های خاموشی و استخراج گزارش‌های مدیریتی فراوان.

انصاری و حاتمی (۱۳۹۰) در تحقیقی با عنوان مدیریت پیری تجهیزات در شبکه‌های توزیع الکتریکی، به بحث مدیریت دارایی در شبکه‌های توزیع پرداخته‌اند. مدیریت دارایی یکی از مباحث مهم در شبکه‌های توزیع می‌باشد، زیرا از یک سو، در صورت افت شاخص‌های قابلیت اطمینان از مقادیر تعیین شده، با جرایم وضع شده از سوی نهادهای نظارتی مواجه می‌شوند و از سوی دیگر، تعویض تجهیزات فرسوده با تجهیزات نو سرمایه‌گذاری هنگفتی را می‌طلبد. در این بحث، هدف تعیین فرآیند بهینه تعمیر و نگهداری و جایگزینی تجهیزات فرسوده با تجهیزات نو می‌باشد، به طوری که هزینه بهره‌برداری سیستم با حفظ شاخص‌های قابلیت اطمینان در سطح تعریف شده حداقل شود. برای این منظور، به سن تجهیزات و مدت کارکرد آنها توجه شده و فرآیند پیری آنها نیز در مدل‌سازی گنجانده می‌شود. روش حل مساله، برنامه‌ریزی دینامیکی تصادفی می‌باشد که مبتنی بر فرآیند مارکوف است. روش ارائه شده برای مدیریت بهینه تعمیر و نگهداری یک نمونه کلید قدرت نصب شده یک شبکه توزیع الکتریکی نمونه اعمال شده است.

اکبری (۱۳۹۲) در تحقیقی قابلیت اطمینان سیستم های توزیع و فوق توزیع را با حضور منابع تولید پراکنده (DG) ارزیابی نموده که این ارزیابی براساس شبیه سازی مونت کارلو (MCS) انجام گرفته است. شاخص های قابلیت اطمینان محاسبه شده عبارت از متوسط نرخ وقوع خطای نقطه بار و متوسط زمان خاموشی سالانه و شاخص های سیستم EENS, ECOST, SAIFI, SAIDI می باشد. روش پیشنهادی بر روی شبکه RBTS اجرا شده است. در این تحقیق، کمک چشمگیر واحدهای تولید پراکنده در کاهش شاخص ها، نسبت به حالتی که واحدهای تولید پراکنده در سیستم نبودند، نشان داده شد و مشاهده گردید که این واحدها نقش بسزایی در کاهش شاخص های قابلیت اطمینان سیستم نسبت به واحدهای قدیمی ایفا نموده اند.

سلی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی به ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه توزیع هوشمند پرداختند. با ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه توزیع هوشمند با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو، تاثیر استفاده از شبکه های ارتباطی بی سیم جهت شبکه های توزیع آینده، بدون از دست دادن کیفیت در ارایه خدمات نشان داده می شود.

دوان و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی براساس الگوریتم بهینه سازی ژنتیک مشاهده نمودند که چگونه می توان با بازآرایی شبکه، تلفات را کاهش داد و شاخص های قابلیت اطمینان را بهبود بخشید. میلکا و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی بر مبنای مباحث برنامه ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح ضمن کاهش زمان محاسبات، بهبودی شاخص های قابلیت اطمینان در راستای هزینه های سرمایه گذاری در توسعه شبکه های توزیع را نشان دادند. برای این منظور، آنها اندازه، تعداد و موقعیت ایستگاه ها و مسیرهای اتصال فیدرها را با توجه به هزینه های نصب و عملیاتی و محدودیت های مختلف برقی تعیین نمودند.

در زمینه استفاده از روش پویایی های سیستمی به عنوان روشی در جهت تحلیل سیاستها در حوزه خاموشی های برق، تحقیقات چندانی صورت نگرفته و بیشتر تحقیقات در زمینه تحلیل سیاست های

برقی بر حوزه های تجارت برق برون مرزی، گسترش منابع نیروی تجدید پذیر برای کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی، مسایل محیط زیستی و سیاست های توسعه ظرفیت تولید متمرکز بوده است (احمد و همکاران، ۲۰۱۶). به عنوان مثال، تزیوگاس و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقات خود نشان دادند استراتژی هایی که سعی در توازن عرضه و تقاضا برق پایدار دارند، اغلب پذیرش اجتماعی قیمت برق مشترکین را در نظر نمی گیرند. آنها از رویکرد روش پویایی های سیستمی برای شناخت عوامل اصلی در سیستم برق پایدار استفاده نمودند. در تحقیق دیگری که اخیرا انجام شده است، ریسک سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر به وسیله روش پویایی های سیستمی تحلیل گردید (لیو و ژنگ، ۲۰۱۷). آنها در یک مثال عددی نشان دادند که در مراحل اولیه توسعه انرژی های تجدیدپذیر، ریسک سیاست مهمترین عامل تاثیرگذار در سرمایه گذاری است و بتدریج ریسک سیاست و ریسک فنی کاهش می یابد و در مراحل بلوغ توسعه بتدریج ریسک بازار مهمترین عامل غیرقطعی تاثیرگذار بر سرمایه گذاری می شود. (لیو و ژنگ، ۲۰۱۷)

مرور ادبیات نشان می دهد درخصوص کاهش خاموشی های شبکه توزیع مطالعات زیادی انجام شده و روش های مختلفی نیز مورد استفاده قرار گرفته است که این روشها گرچه تا حدودی موثر بوده، اما به لحاظ پیچیدگی فناوری جدید و توسعه روزافزون شبکه های برق دیگر کار ساز نیست. لذا لازم است شرکت های توزیع با شناخت صحیح از عوامل تاثیرگذار بر خاموشی ها و تجزیه و تحلیل علمی آنها میزان خاموشی ها را تا حد ممکن کاهش دهند. ضرورت تجزیه و تحلیل خاموشی ها و اتخاذ روش هایی برای افزایش قابلیت اطمینان در شبکه های توزیع در سال های اخیر رشد فزاینده ای یافته است، چرا که شبکه های توزیع برق از مهمترین بخش های سیستم برق قدرت هستند که انرژی الکتریکی را بین مصرف کنندگان توزیع می کنند. بنابراین، هدف از این تحقیق، شناسایی و بررسی عوامل موثر بر خاموشی ها با استفاده از نظریه پویایی های سیستمی است تا ضمن اولویت بندی نسبت به ارایه سناریوهای مختلف در جهت رفع آنها اقدام گردد.

۳. روش تحقیق

پویایی‌های سیستمی، دیدگاه و مجموعه‌ای از ابزارهای مفهومی است که ما را قادر به فهم ساختار و پویایی سیستم‌های پیچیده می‌کند و همچنین روش مدل‌سازی ماهرانه و ظرفی است که می‌تواند در ساخت شبیه‌سازی رایانه‌ای از سیستم‌ها مورد استفاده قرار گیرد و استفاده از آن منجر به طراحی سازمانها و سیاست‌های موثر می‌شود (استرمن، ۱۳۹۲). سیستم‌ها طی زمان تغییر می‌کنند و این تغییرات بر پویایی سیستم دلالت دارند. از این رو، سیستم‌های تغییرپذیر را سیستم‌های پویا می‌نامند. در واقع، روابطی که تعامل دوسویه عناصر و همچنین تعامل عناصر با محیط را برای تعقیب هدف‌های سیستم محدود می‌سازند، منشاء اصلی این تغییرات هستند.

پویایی‌های سیستمی، روش‌شناسی مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده و دارای بازخورد است. این سیستم‌ها می‌توانند در حوزه‌های مختلفی مانند کسب و کار، اقتصاد، محیط زیست، مدیریت انرژی، مسایل شهری و سایر حوزه‌های اجتماعی و انسانی وجود داشته باشند. رویکرد پویایی‌های سیستمی را جی فارستر از دانشگاه MIT در اوایل سال‌های دهه ۱۹۶۰ معرفی کرد. ایده اولیه شکل‌گیری حوزه، پروژه‌ای بود که فارستر برای شرکت جنرال الکتریک انجام داد. رفتار یک سیستم از ساختار آن ناشی می‌شود و ساختار نیز شامل مجموعه‌ای از حلقه‌های بازخوردی، متغیرهای حالت (انباشت‌ها) و جریان و روابط غیرخطی متأثر از فرآیندهای تصمیم‌گیری داخل سیستم می‌باشد. بنابراین، در اینجا به بررسی روابط بین ساختار و رفتار سیستم پرداخته خواهد شد. الگوهای اولیه رفتار در سیستم‌های پویا توسط ساختارهای مختلف بازخوردی ایجاد می‌شود. این الگوها شامل رشد که توسط بازخورد مثبت ایجاد می‌شود، هدفجو که توسط بازخورد منفی ایجاد می‌شود و رفتار نوسانی که متأثر از حلقه‌های بازخوردی منفی با تاخیر زمانی ایجاد می‌گردد و اکثر الگوهای رفتاری پیچیده همچون "رشد s شکل" و "جهش و فروپاشی" از تعامل غیرخطی ساختارهای اولیه حاصل می‌شوند. (استرمن، ۱۳۹۲؛ حمیدی زاده، ۱۳۹۲)

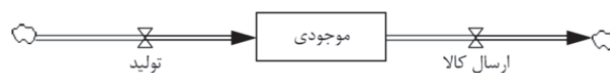
بازخورد یکی از مفاهیم اصلی پویا شناسی سیستم به شمار می‌رود. در پویا شناسی سیستم از ابزارهایی مانند نمودارهای علی و معلولی و سطح- جریان به منظور به دست آوردن ساختار سیستم استفاده می‌شود (استرمن، ۱۳۹۲). نمودارهای علی و معلولی ابزاری مهم برای نمایش ساختار بازخوردی سیستم‌ها محسوب می‌شوند و برای این موارد بسیار مناسب است: ۱- ارایه سریع فرضیه‌ها و نظریه‌های مورد نظر در رابطه با علل رفتار سیستم؛ ۲- ترسیم مدل ذهنی اشخاص و یا اعضای گروه و ۳- ارتباط دادن بازخوردهای مهمی که علت یا سبب بروز مساله هستند (استرمن، ۱۳۹۲). نمودارهای علی و معلولی شامل متغیرهایی است که توسط فلش نحوه تاثیر هر یک بر دیگری را نشان می‌دهند. رابطه علی با دو علامت مثبت و منفی نشان داده می‌شود. در صورتی که تغییرات متغیر مستقل و وابسته در یک جهت باشند، رابطه علی مثبت و در صورتی که تغییرات مستقل و وابسته عکس یکدیگر باشند، رابطه علی منفی خواهد بود. در تعیین علامت رابطه علی، فرض بر آن است که سایر متغیرها ثابت بوده و هدف بررسی اثر تغییرات متغیر مستقل بر متغیر وابسته است. از ترکیب روابط علی و معلولی در یک دایره بسته بازخورد یا دایره علی و معلولی حاصل می‌شود (استرمن، ۱۳۹۲). حلقه بازخورد نیز دارای دو حالت مثبت و منفی است. در بازخورد مثبت، تغییر یک متغیر منجر به تغییر خود در همان جهت شده در صورتی که در بازخورد منفی، تغییر یک متغیر منجر به تغییر خود در جهت عکس خواهد شد.

نمودارهای علی و معلولی در موقعیت‌های متعددی بسیار مفید و کارا هستند، زیرا آنها ابزار خوبی برای نشان دادن وابستگی بین متغیرها و ترسیم فرآیندهای بازخوردی سیستم می‌باشند. این نمودارها به صورت موثر در ابتدای پروژه‌های مدل‌سازی به منظور دستیابی به مدل‌های ذهنی به کار می‌روند. با این حال، نمودارهای علی و معلولی دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشند و امکان بکارگیری ناصحیح آنها وجود دارد. یکی از مهمترین محدودیت‌های این نمودارها، عدم توانایی در به دست آوردن ساختار سطح جریان سیستم است. (استرمن، ۱۳۹۲)

سطحها و جریانها به همراه بازخورد دو مفهوم اصلی در نظریه سیستم‌های پویا به شمار می‌آیند و متغیرهای سطح انباشتگی سیستم می‌باشند. آنها نشان‌دهنده وضعیت سیستم بوده و حاوی اطلاعاتی است که بر اساس آن تصمیمات اتخاذ و اقدامات صورت می‌گیرد.

متغیرهای سطح منجر به ایجاد سکون در سیستم می‌شود و همچنین با ایجاد تجمع و انباشت که در نتیجه اختلاف بین نرخ ورودی و نرخ خروجی یک فرآیند است، تاخیرهایی را به وجود می‌آورند. حالتها عامل اختلاف بین جریانها و نرخ‌های ورودی و خروجی است و در نتیجه، منبع نامتعادل‌کننده پویایی سیستم‌هاست. متغیرهای سطح و جریان عباراتی آشنا هستند. به عنوان مثال، موجودی محصول یک شرکت تولیدی و یا تعداد کارکنان یک اداره همه متغیرهای سطح یک سیستم می‌باشند.

متغیرهای سطح توسط جریانها تغییر می‌کنند (زارع مهرجردی، ۱۳۹۲؛ حمیدی زاده، ۱۳۹۲). به عنوان مثال، در شکل (۱) موجودی محصول توسط جریان تولید افزایش و با ارسال محصول به مشترکین کاهش می‌یابد. لذا موجودی متغیر سطح می‌باشد و تولید و ارسال کالا متغیرهای جریان یا نرخ می‌باشند.



شکل ۱. مثال نمودار حالت و جریان

در این تحقیق، با توجه به قابلیت‌های ذکر شده برای پویایی‌های سیستمی در تحلیل سیاست‌های مختلف، از این ابزار برای تحلیل عوامل خاموشی برق استفاده می‌شود. از طرفی، مبنای تهیه و ترسیم انواع نمودارهای اشاره شده در سیستم‌های پویا، اطلاعات ثبت شده در شرکت توزیع نیروی برق شمال استان کرمان می‌باشد. لذا در ادامه و در ابتدا، شیوه گردآوری داده‌ها مطرح شده و سپس نحوه تشخیص متغیرها ارایه و در نهایت، چگونگی تهیه مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

گردآوری داده‌ها و شناسایی متغیرها

همان گونه که اشاره شده است، مینا و بنیان تحقیقات انجام شده به وسیله سیستم های پویا براساس اطلاعات حاصل از خاموشی‌های با برنامه و بی برنامه در شبکه توزیع نیروی برق می‌باشد. برای مساله مورد بررسی نسبت به جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات خاموشی در شرکت توزیع نیروی برق شمال استان کرمان اقدام شده است. در این خصوص، با استفاده از نرم افزار ثبت حوادث، داده های مورد نیاز در یک بازه ۵ ساله (سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳) جمع‌آوری گردید. پس از گردآوری داده های مورد نیاز به روش اشاره شده، متغیرهای حالت، متغیرهای نرخ و متغیرهای کمکی بر اساس تعاریف مفهومی هر یک و تطبیق آن با هر یک از متغیرهای گردآوری شده شناسایی شدند.

ساختار مدل

با توجه به متغیرهایی که برای مدل مورد شناسایی قرار گرفته و انتخاب شدند، ساختار مدل و روابط علی و معلولی به وسیله مصاحبه با کارشناس مربوط در شرکت توزیع برق با سؤالاتی در قالب پنج چرا یا به عبارتی، سوال در مورد دلایل و نحوه بهبود هر شاخص یا عامل شکل می‌گیرد. با شناسایی و تعریف عوامل موثر در خاموشی های شبکه توزیع در دو مقوله با برنامه و بی برنامه می‌توان مدل‌سازی را انجام داد. در این راستا، نمودارهای علت و معلولی و حلقه های تاثیرگذار بر موضوع، نمودارهای جریان مرتبط و همچنین روابط ریاضی بین متغیرهای شناسایی شده و شبیه‌سازی مساله و اجرای آن به کمک تحلیل دینامیکی سیستم‌ها و نرم افزار ونسیم در شرکت توزیع نیروی برق شمال استان کرمان صورت گرفته است.

همچنین شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع بر اساس مستندات موجود در

شرکت به شرح ذیل تعریف شده‌اند:

۱- نرخ انرژی توزیع نشده:

$1000 * ((\text{انرژی تحویلی} + \text{انرژی توزیع نشده}) / \text{انرژی توزیع نشده})$

۲- SAIDI (دقیقه در روز):

$24 * 60 * ((\text{انرژی تحویلی} + \text{انرژی توزیع نشده}) / \text{انرژی توزیع نشده})$

۳- خاموشی بر مشترک (دقیقه در روز):

$24 * 60 * (\text{انرژی تحویلی} / \text{انرژی توزیع نشده})$

بنابراین، در اینجا مدل سازی در دو حالت بی برنامه و با برنامه و در سال‌های ۱۳۸۹ تا

۱۳۹۳ انجام می‌گردد.

خاموشی بی برنامه: مدل نشان داده شده در شکل (۲) کلیه عوامل موثر در خاموشی‌های

بی برنامه یا ناخواسته را در سال‌های ۸۹ تا ۹۳ در بردارد. حال با توجه به شکل (۳)،

مدل سازی با اعمال سیاست‌های بهبود بر اساس عواملی که بیشترین تاثیر را در میزان انرژی

توزیع نشده دارند، انجام می‌گردد (تاخیر ۱ سال برای بهبود مد نظر قرار می‌گیرد).

خاموشی با برنامه: با توجه به انرژی توزیع نشده، مدل تهیه شده در شکل (۴) نشان داده شده

است.

۴. نتایج

انرژی توزیع نشده ناشی از خاموشی‌های ناخواسته

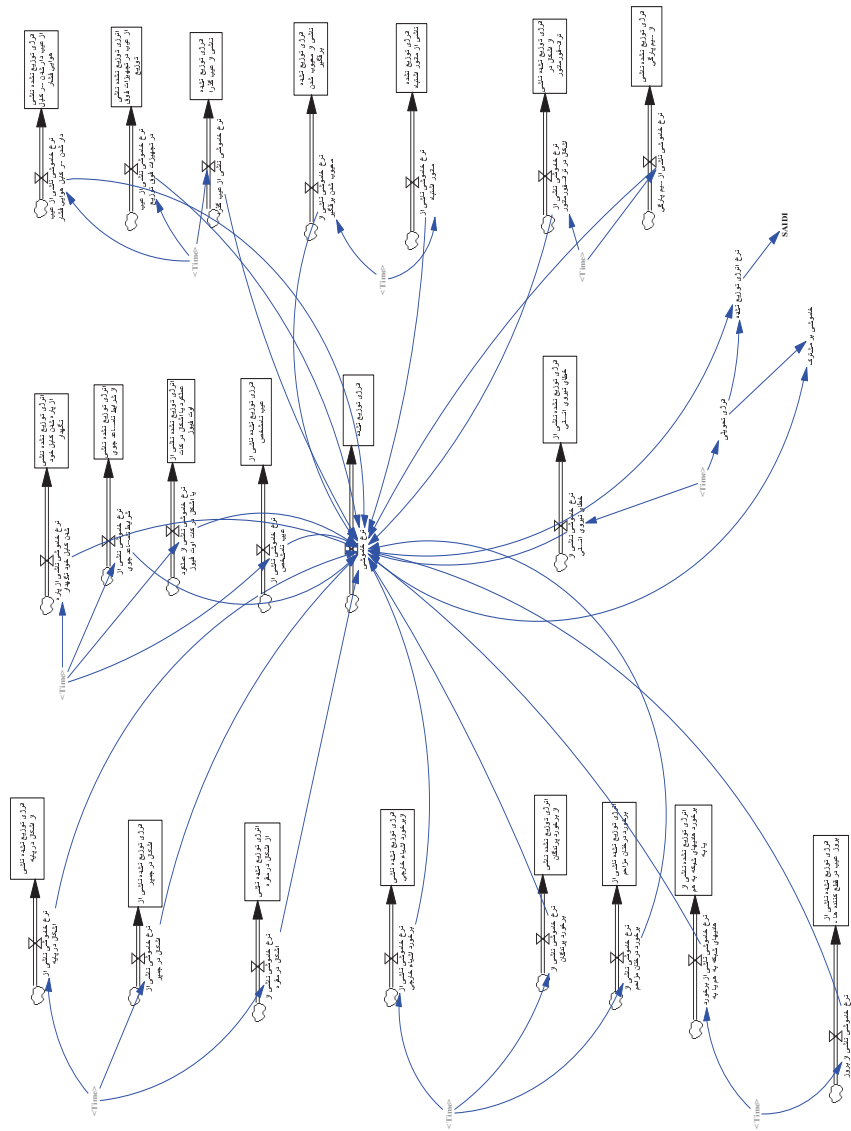
همان گونه که ملاحظه شد، مدل‌های تهیه شده کلیه عوامل موثر در خاموشی بی برنامه

در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ را در بردارد. لذا با انجام شبیه سازی، روند تغییرات در سال‌های

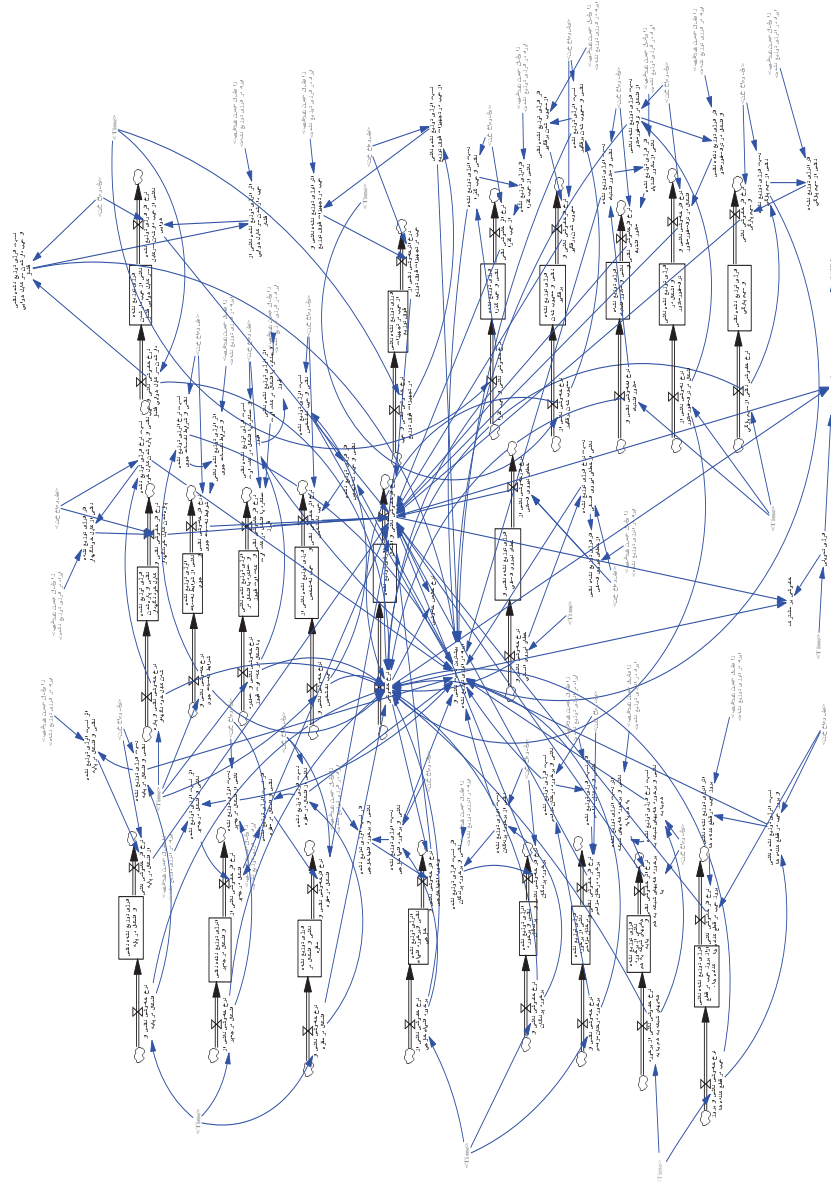
مذکور مشاهده می‌گردد. با شبیه‌سازی مدل، ملاحظه می‌گردد شرایط نامساعد جوی بیشترین انرژی توزیع نشده را در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲ به ترتیب به میزان ۴۲ و ۲۳ مگاوات ساعت به خود اختصاص داده است. همچنین بیشترین انرژی توزیع نشده در سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ به ترتیب با مقادیر ۵۶، ۵۱ و ۱۷ مگاوات ساعت به عیب نامشخص تعلق دارد (جدول ۱ و شکل‌های ۵ و ۶). همچنین تغییرات خاموشی در سال‌های ذکر شده به صورت شکل (۷) می‌باشد.

حال مدل‌سازی با اعمال سیاست‌های بهبود براساس عواملی که بیشترین تاثیر را در میزان انرژی توزیع نشده ناخواسته دارند، انجام می‌گردد (تاخیر ۱ سال برای بهبود مد نظر قرار گرفته شده است).

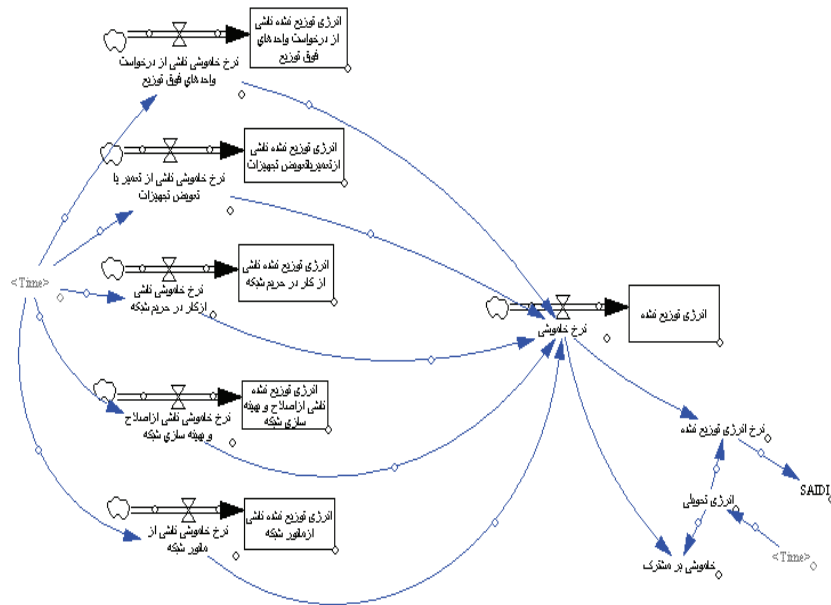
همان‌گونه که مشاهده شد، بروز خاموشی سبب بالا رفتن میزان انرژی توزیع نشده می‌گردد، لذا سهم هر یک از عوامل بروز خاموشی از انرژی توزیع نشده کل (خاموشی کل) با توجه به پارامترهای شبکه توزیع متفاوت است (نسبت انرژی توزیع نشده ناشی از هر یک از عوامل). بنابراین می‌توان پس از مشخص کردن بیشترین انرژی توزیع نشده (خاموشی) در هر سال از ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ (بیشترین نسبت ناشی از ایراد در انرژی توزیع نشده)، عامل ایجادکننده آن را مشخص نمود (اثر نسبت انرژی توزیع نشده ناشی از عامل خاموشی) و سپس تاثیر آن در بهبود انرژی توزیع نشده (نرخ اثر خاموشی ناشی از عامل مذکور) را مشاهده کرد. لذا در اینجا دو نکته مد نظر قرار می‌گیرد: اول اینکه، تاثیر دیده شده مربوط به عاملی است که بیشترین میزان انرژی توزیع نشده را در هر سال به خود اختصاص داده است و دوم اینکه، فرض شده است عامل مذکور با تاخیر یکساله سبب بهبود گردد. نهایتاً با توجه به جدول (۲)، مقادیر خاموشی‌های بی‌برنامه پس از بهبود به دست می‌آیند.



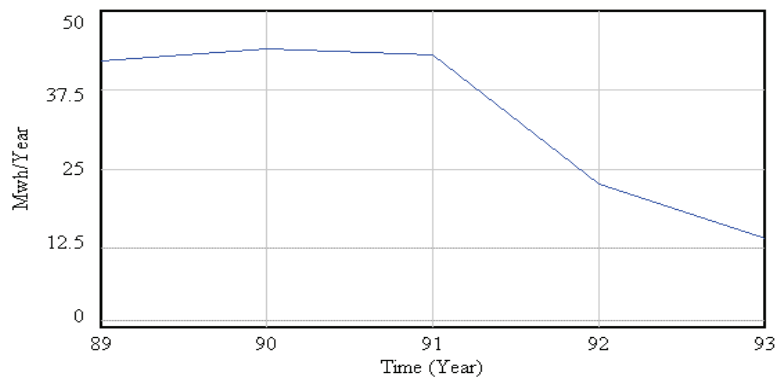
شکل ۲. نمودار انباشت جریان خاموشی بی برنامه



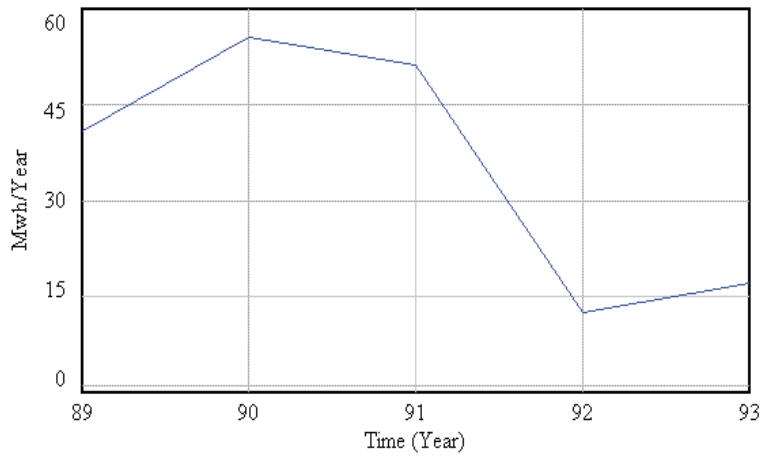
شکل ۳. نمودار اثبات جریان خاموشی بی برنامه با اعمال سیاست بهبود



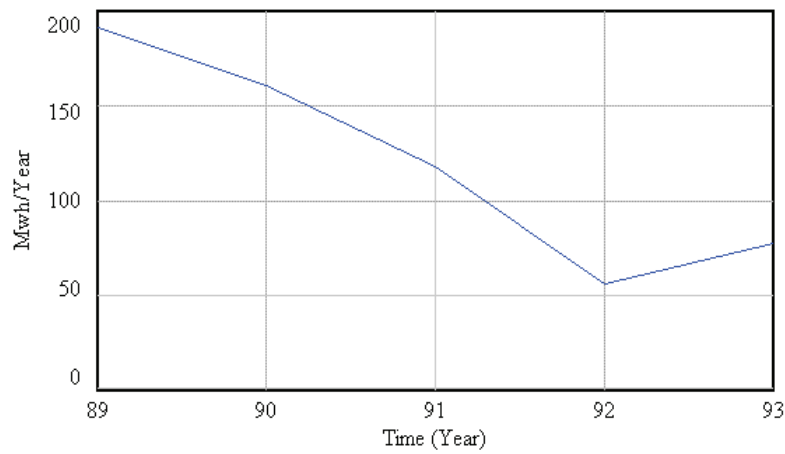
شکل ۴. نمودار انباشت جریان خاموشی با برنامه (انرژی توزیع نشده)



شکل ۵. انرژی توزیع نشده ناشی از شرایط نامساعد جوی (مگاوات ساعت)



شکل ۶. انرژی توزیع نشده ناشی از عیب نامشخص (مگاوات ساعت)



شکل ۷. انرژی توزیع نشده (مگاوات ساعت)

جدول ۱. انرژی توزیع نشده ناشی عوامل ایجاد خاموشی بی برنامه (مگاوات ساعت)

ردیف	نوع اشکال	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳
۱	اشکال در پایه (سیمانی، چوبی، فلزی)	۷/۳۵	۱۱/۵۷	۳/۷۵	۴/۰۸	۴/۵۲
۲	اشکال در جمپر	۱۰/۴۵	۶/۵۶	۰/۷۱	۰	۱۲/۴۹
۳	اشکال در مقره (بشقابی، سوزنی)	۱۹/۳	۰	۰/۲۴	۰/۷۲	۰
۴	برخورد اشیای خارجی	۳/۵	۰	۰	۲/۰۴	۱/۶۴
۵	برخورد پرندگان	۳/۲۴	۰/۷۲	۰/۵۵	۱/۶۵	۵/۳۲
۶	برخورد درختان مزاحم	۲/۹۲	۰	۱۰/۷۵	۴/۰۲	۰
۷	برخورد هادی‌های شبکه به هم یا به	۴/۵۷	۷/۹۴	۱/۴۴	۰/۷۵	۲/۷۶
۸	بروز عیب در قطع کننده ها (ریکلوزر،	۰/۲۷	۰	۰	۰	۰
۹	خطای نیروی انسانی	۰/۶۸	۰	۰/۳۸	۰/۳	۱/۶۲
۱۰	سیم پارگی	۴/۱۱	۵/۳۹	۰	۰	۰/۸۹
۱۱	پاره شدن کابل خود نگهدار	۰	۱/۷۲	۰	۰	۰
۱۲	شرایط نامساعد جوی	۴۲/۰۳	۴۳/۹۱	۴۳/۰۸	۲۲/۶۷	۱۳/۹۸
۱۳	عملکرد یا اشکال در کات اوت فیوز	۳۸/۶۶	۶/۲۲	۴/۶۶	۶/۱۶	۱۰/۱۴
۱۴	عیب دار شدن سر کابل هوایی فشار	۲/۲۶	۶/۴۴	۰	۰	۰
۱۵	عیب در تجهیزات فوق توزیع	۱۰/۴۱	۰/۶۴	۰	۰	۰
۱۶	عیب گذرا	۰/۱۳	۱۲/۳۶	۱/۲۹	۱/۲۸	۰/۹۸
۱۷	عیب نامشخص	۴۰/۹۹	۵۵/۶۳	۵۱/۲۵	۱۲/۴۳	۱۷
۱۸	معیوب شدن بر فکتر	۰/۳۳	۰	۰	۰	۰
۱۹	مانور اشتباه	۰	۱/۲۳	۰	۰	۰/۲۶
۲۰	اشکال در ترانسفورماتور	۰	۰	۰	۰/۳۵	۶/۲
	مجموع	۱۹۱/۲	۱۶۰/۳۳	۱۱۸/۱	۵۶/۴۵	۷۷/۸

مأخذ: یافته‌های تحقیق

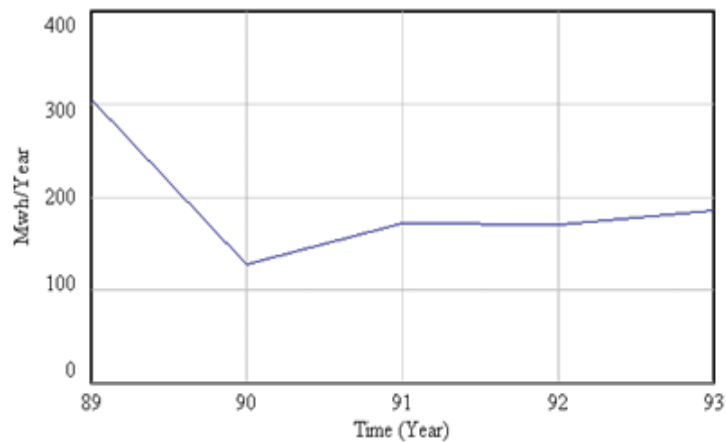
جدول ۲. اعمال سیاست های بهبود خاموشی بی برنامه

سال	خاموشی بی برنامه (مگاوات ساعت)
۱۳۸۹	۱۹۱/۲
۱۳۹۰	۱۱۸/۳
۱۳۹۱	۶۲/۴۷
۱۳۹۲	۵/۲
۱۳۹۳	۵۵/۱۳

مأخذ: یافته های تحقیق

انرژی توزیع نشده ناشی از خاموشی های خواسته (برنامه ریزی شده)

پس از شبیه سازی مدل شکل (۴)، داده ها به صورت جدول (۳) به دست آمد و همچنین نمودار شکل (۸) در خصوص انرژی توزیع نشده در سال های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ از اجرای مدل به دست آمده است.



شکل ۸. انرژی توزیع نشده ناشی از خاموشی با برنامه (مگاوات ساعت)

انرژی توزیع نشده ناشی از خاموشی های خواسته و ناخواسته

درحالت کلی، از دید مشترک، خاموشی خواسته و ناخواسته تفاوتی ندارد. لذا با توجه به مدل تهیه شده، اطلاعات طبق جدول (۴) به دست می آید.

جدول ۳. انرژی توزیع نشده ناشی از خاموشی های با برنامه (مگاوات ساعت)

ردیف	نوع اشکال	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳
۱	بنا به درخواست واحدهای فوق توزیع	۲/۰۲	۰	۰	۰	۰
۲	جهت اصلاح و بهینه سازی شبکه	۲۸/۵۳	۲/۶۷	۴/۱۲	۱۰۹/۶۶	۱۴۲/۵
۳	جهت تعمیر یا تعویض تجهیزات	۴/۰۱	۰	۰	۲/۶	۳/۷۳
۴	جهت کار در حریم شبکه	۲۶۸/۵۹	۱۲۲/۴۳	۱۶۶/۰۹	۵۶/۸۶	۳۸/۲۷
۵	جهت مانور شبکه	۲	۲/۱۳	۲/۲	۰/۴۴	۱/۴۳
	مجموع	۳۰۵/۱۵	۱۲۷/۲۳	۱۷۲/۴۱	۱۶۹/۵۶	۱۸۵/۹۳

مأخذ: یافته های تحقیق

جدول ۴. خاموشی بی برنامه و با برنامه

ردیف	عنوان	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳
۱	خاموشی بی برنامه (مگاوات ساعت)	۱۹۱/۲	۱۶۰/۳۳	۱۱۸/۱	۵۶/۴۵	۷۷/۸
۲	خاموشی با برنامه (مگاوات ساعت)	۳۰۵/۱۵	۱۲۷/۲۳	۱۷۲/۴۱	۱۶۹/۵۶	۱۸۵/۹۳
۳	خاموشی (مگاوات ساعت)	۴۹۶/۳۵	۲۸۷/۵۶	۲۹۰/۵۱	۲۲۶/۰۱	۲۶۳/۷۳

مأخذ: یافته های تحقیق

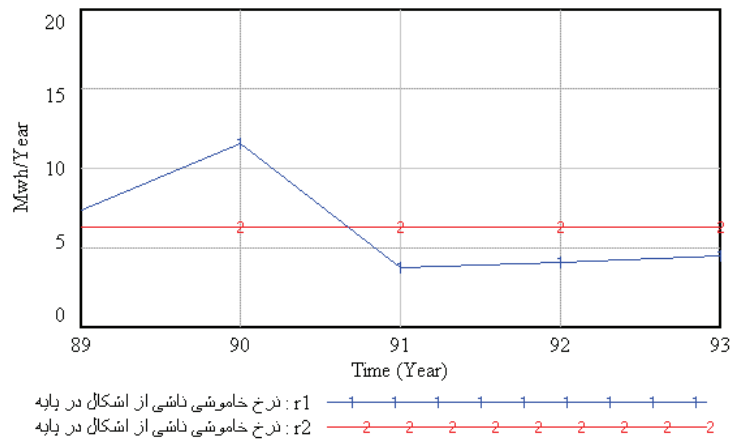
۵. اعتبارسنجی

رویکرد پویایی‌های سیستمی زمانی می‌تواند به عنوان ابزاری موثر مورد استفاده قرار گیرد که بتوان به وسیله آن فرآیندهای گوناگون را بررسی و یا به کمک آن، سناریوها و سیاست‌های مختلف را با دیدگاه سیستمی ارزیابی کرد. برای کسب اطمینان از اعتبار نتایج بررسی‌ها و ارزیابی‌ها، اعتبارسنجی مدل، شرطی لازم و ضروری است. آزمون‌های متعددی در زمینه اعتبارسنجی مدل‌های پویا مطرح شده است که به دو دسته آزمون‌های ساختاری و آزمون‌های رفتاری تقسیم می‌شوند.

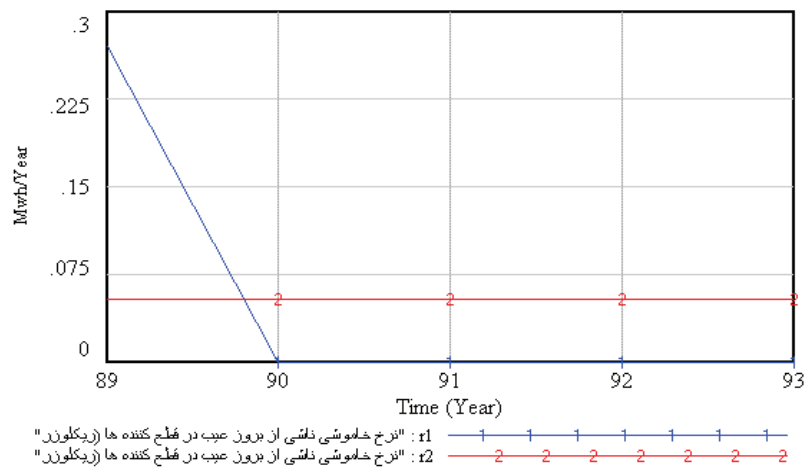
در سنجش اعتبار ساختار مدل، روابط و فرمول‌ها بدرستی تعریف شده است، به طوری که با اعمال مقادیر جدید و افزایش یا کاهش آنها روند منطقی تغییرات مشاهده می‌شود. البته الگوی پژوهش حاضر بارها از طریق آزمون‌های مختلف ساختاری مطرح شده، مورد ارزیابی و اصلاح قرار گرفته است. بعد از شبیه‌سازی و انطباق آن با واقعیات، امکان بیشتری برای بهبود کارایی الگو در شبیه‌سازی وضعیت خاموشی در سیستم توزیع برق فراهم گردید که در نهایت، منجر به الگوی حاضر شد.

به عنوان مثال، در اعتبارسنجی رفتار مدل، با استفاده از میانگین انرژی توزیع نشده به تفکیک هر عامل، تحلیل انجام می‌گردد. به عبارتی، میانگین انرژی توزیع نشده به تفکیک هر عامل به عنوان داده در مدل وارد شده و سپس رفتار متغیرها مشاهده می‌گردد.

در خصوص متغیرهای نرخ، همان گونه که در شکل‌های (۹) و (۱۰) ملاحظه می‌شود، انحراف وجود دارد که با توجه به اینکه مقدار میانگین مد نظر بوده است و از طرفی، انرژی توزیع نشده در سال‌های مختلف مقادیر متفاوتی دارد، امری بدیهی است.



شکل ۹. داده های مشاهده ای و میانگین برای خاموشی ناشی از اشکال در پایه



شکل ۱۰. داده های مشاهده ای و میانگین برای خاموشی ناشی از بروز عیب در قطع کننده ها

۶. نتیجه گیری

با توجه به اینکه وظیفه اصلی شرکت های توزیع تهیه و فراهم نمودن یک منبع تغذیه مناسب در سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان برای مشتریان خود در اقتصادی ترین حالت ممکن می باشد، لازم است تمهیداتی فراهم گردد تا این وظیفه سیستم در بهترین حالت انجام شود. در این راستا، یکی از وظایف مهم شرکت های توزیع، مدیریت انرژی و ارتباط آن با موضوعات اقتصادی و اجتماعی است.

در حالت کلی، عدم مدیریت مناسب بر شبکه می تواند منجر به صدمات زیادی به شرکت های توزیع به علت کاهش فروش برق و برای مشترکین به سبب کاهش تولید، از بین رفتن مواد اولیه، خرابی دستگاه ها و تجهیزات و... گردد. کاهش خاموشی های ناخواسته، برنامه جهت کاهش زمان و حجم خاموشی های با برنامه و اطلاع رسانی به مشترکین، اصلی ترین برنامه های مدیریت انرژی محسوب می گردد.

با توجه به مطالب ارائه شده و مدل تهیه شده در خصوص خاموشی های بی برنامه، ملاحظه می گردد شرایط نامساعد جوی بیشترین انرژی توزیع نشده را در سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲ به ترتیب به میزان ۴۲ و ۲۳ مگاوات ساعت به خود اختصاص داده است. همچنین بیشترین انرژی توزیع نشده در سال های ۱۳۹۰، ۱۳۹۱، و ۱۳۹۳ به ترتیب با مقادیر ۵۶، ۵۱ و ۱۷ مگاوات ساعت به عیب نامشخص تعلق دارد.

پس از مدل سازی با اعمال سیاست های بهبود براساس عواملی که بیشترین تاثیر را در میزان انرژی توزیع نشده ناخواسته دارند (تاخیر ۱ سال برای بهبود مد نظر قرار گیرد)، کاهش چشمگیر در انرژی توزیع نشده و شاخص های قابلیت اطمینان ذکر شده در سال های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ مشاهده می گردد. به عنوان مثال، انرژی توزیع نشده در سال ۱۳۹۳، ۷۷/۸

مگاوات ساعت می باشد به طوری که پس از اعمال سیاست به مقدار ۵۵/۱۳ بهبود می یابد. همچنین در خصوص نرخ انرژی توزیع نشده، بهبود آن از ۰/۴۰۴۹۶۸ به مقدار ۰/۲۸۶۹۹۹ مشاهده می شود. در خصوص خاموشی های با برنامه بیشترین مقدار انرژی توزیع نشده در سال ۱۳۸۹ با ۳۰۵/۱۵ مگاوات ساعت می باشد.

در مجموع، با توجه به اینکه از جمله سیاست های بخش توزیع، افزایش پایداری شبکه های تحت پوشش می باشد، لذا چنانچه در هر کدام از سال های ذکر شده با توجه به تاثیر عوامل در خاموشی ها، اصلاحات لازم انجام می گردید، تاثیر آن در بهبود قابلیت اطمینان شبکه در سال های بعد قابل ملاحظه می بود.

از جمله پیشنهادات و توصیه های این تحقیق آن است که با توجه به اینکه داده های این تحقیق از نرم افزار ثبت حوادث استخراج شده است، ثبت اشتباه داده ها در آینده منجر به نتایج غیر واقعی می شود. لذا آشنایی با این نرم افزار و نحوه ثبت اطلاعات برای شرکت های توزیع و محققان و تصمیم گیرندگان بسیار مهم است.

همچنین پیشنهاد می شود برای تحقیقات آتی، اثرات اقتصادی و نسبت های منافع به هزینه های ناشی از سرمایه گذاری در بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه و کم کردن میزان انرژی توزیع نشده بر اساس عوامل مختلف خاموشی بررسی شود.

منابع

- ابونوری، اسمعیل و حسن لاجوردی (۱۳۹۲)، "دیدگاه مشترکین برق خانگی شهر تهران در مورد فازاول هدفمندی بارانه ها و شروع فاز دوم"، فصلنامه پژوهش های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، شماره ۱، صص ۷۹-۹۸.
- استرمین، جی (۱۳۹۲)، پویاشناسی سیستم، ترجمه میرزایی درینانی، ش و همکاران، تهران: انتشارات ترمه، چاپ اول.
- اکبری، احسان (۱۳۹۲)، "ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع و فوق توزیع با حضور تولیدات پراکنده"، همایش ملی مهندسی برق و توسعه پایدار با محوریت دستاوردهای نوین در مهندسی برق، موسسه آموزش عالی خاوران مشهد.
- امینی، بابک و آزاده زمانی فر (۱۳۸۳)، "طراحی و پیاده سازی سیستم مدیریت کاهش قطع برق در شبکه های توزیع (NRI OMS)"، نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق، پژوهشگاه نیرو.
- انبیایی، محمد صادق (۱۳۸۳)، "عوامل مهم افزایش زمان خاموشی برق"، نهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، دانشگاه زنجان.
- انصاری، احمد و علیرضا حاتمی (۱۳۹۰)، "مدیریت پیری تجهیزات در شبکه های الکتریکی"، دومین کنفرانس قابلیت اطمینان، پژوهشگاه هوافضا.
- حمیدی زاده، محمد رضا (۱۳۹۲)، پویایی های سیستم، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، چاپ اول.
- زارع مهرجردی، یحیی (۱۳۹۲)، راهنمای نرم افزار ونسیم، تهران: انتشارات مهرجرد، چاپ اول.
- همدانی گلشن، محمد مهدی (۱۳۹۱)، طراحی و محاسبات سیستم های توزیع انرژی الکتریکی، اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان.
- علیزاده، محمد و ابوالقا سم گل خندان، (۱۳۹۵)، "مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشورهای عضو OPEC: شواهد تجربی جدید از هم‌انباشتی پاولی با وابستگی مقطعی"، فصلنامه پژوهش های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، شماره ۵، صص ۱۶۴-۱۳۱.

Ahmad, S; Tahar, R. M; Muhammad-Sukki, F; Munir, A. B. and R. A. Rahim (2016), "Application of System Dynamics Approach in Electricity Sector Modelling: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 56, PP. 29-37.

Celli, G; Ghiani, E; Pilo, F. and G. Giuseppe Soma (2013), "Reliability Assessment in Smart Distribution Network", *Electric Power Systems Research*, Vol. 104, PP.164–175.

Li Duan, D; Dong Ling, X; Yue Wu, X. and B. Zhong (2015), "Reconfiguration of Distribution Network for Loss Reduction and Reliability Improvement Based on an Enhance Genetic Algorithm", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 64, PP. 88–95.

Liu, X. and M. Zeng (2017), "Renewable Energy investment Risk Evaluation Model Based on System Dynamics", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 73, PP. 782-788.

Miloca, S.A; Volpi, N. M. P; Yuan, J. and C. L. S. Pinto (2015), "Expansion Planning Problem in Distribution System with Reliability Evaluation: An Application in Real Network Using Georeferenced Database", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 70, PP. 9–16.

Tziogas C; Georgiadis P; Tsolakis N. and C. Yakinthos (2017), "Electricity Pricing Mechanism in a Sustainable Environment: A Review and a System Dynamics Modeling Approach", in: Kavoura A., Sakas D., Tomaras P. (eds) *Strategic Innovative Marketing*, Springer Proceedings in Business and Economics, Springer, Cham.