

گزارش ویژه محور پنجم :

برنامه ریزی و توسعه شبکه

دکتر محمودرضا حقی فام - رئیس محور سوم

مقاله ۱۰۸۵، «طراحی شبکه‌های توزیع مبتنی بر بهره‌وری، گذار از رویکرد قابلیت اطمینان با بهره‌گیری از داده‌های مکانی»

چارچوب پیشنهادی با داده‌های موجود شرکت‌های توزیع قابل اجراست و به‌ویژه برای طراحی شبکه‌های جدید و بازسازی شبکه‌های موجود کاربرد دارد.

مقاله ۱۰۲۳، «بررسی تأثیر طرح تغییر ساعت تابستانی بر بار شبکه سراسری و انرژی الکتریکی مصرفی کشور»

این مقاله اثر عدم اجرای تغییر ساعت رسمی کشور (DST) در سال ۱۴۰۲ را بر پیک بار و مصرف برق شرکت‌های توزیع کشور بررسی می‌کند. نوآوری اصلی پژوهش، استفاده از یک سناریوی خلاف واقع است؛ به این معنا که وضعیت واقعی سال ۱۴۰۲، که در آن DST اجرا نشد، با وضعیتی فرضی مقایسه شده که در آن روند اجرای DST سال‌های قبل ادامه پیدا می‌کرد. برای ساخت این سناریوی فرضی، از داده‌های تاریخی بار، مصرف انرژی، تعداد مشترکان و متغیرهای آب‌وهوایی و از رگرسیون خطی قابل تفسیر استفاده شده و نتایج با مدل شبکه عصبی نیز صحت‌سنجی شده است. همچنین، پژوهش صرفاً به اثر کلی DST بر بار شبکه اکتفا نکرده و با یک تحلیل عددی جداگانه، سازوکار اثرگذاری آن بر مصرف روشنایی خانوارها را با توجه به زمان طلوع و غروب خورشید و پراکندگی جغرافیایی کشور بررسی کرده است.

نتایج نشان می‌دهد عدم اجرای DST در نیمه نخست سال ۱۴۰۲ با افزایش حدود ۹۸۴ مگاواتی پیک بار شبکه توزیع (معادل ۱۰۴۸ درصد) و افزایش حدود ۱۰۳۷ تراوات‌ساعتی مصرف برق (معادل ۰۰۸ درصد) همراه بوده است. در بخش خانگی نیز مصرف برق مربوط به روشنایی حدود ۱۰۸۹ گیگاوات‌ساعت بیشتر برآورد شده است. بنابراین، مهم‌ترین یافته مقاله این است که تغییر ساعت علاوه بر جابه‌جایی زمانی

یک چارچوب عملیاتی برای تغییر رویکرد طراحی شبکه‌های توزیع از تمرکز صرف بر قابلیت اطمینان به سمت بهره‌وری، کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ ارائه می‌کند. نوآوری اصلی پژوهش، استفاده از داده‌های مکانی مشترکین، دیماند و توپولوژی شبکه در GIS برای تعیین مرکز ثقل بار و جایابی بهینه ترانسفورماتور است. همچنین چهار راهبرد طراحی شامل قابلیت اطمینان، کمینه‌سازی هزینه سرمایه‌ای، بهره‌وری و طراحی چندهدفه به‌صورت نظام‌مند مقایسه شده‌اند. از نظر نظری نیز پژوهش میان دو حالت مهم تمایز می‌گذارد: در افزایش اندازه حوزه سرویس، تلفات با توان سوم شعاع رشد می‌کند، اما هنگام جابه‌جایی یک پست با بار کل ثابت، تلفات متناسب با توان اول طول مسیر است؛ این تفکیک یکی از نکات روش‌شناختی مهم مقاله است.

در مطالعه موردی روی یک شبکه فشارضعیف با ۲۳ نقطه مصرف، انتقال ترانسفورماتور به مرکز ثقل بار، متوسط طول مسیر تغذیه را از ۲۲۰ به ۱۴۵ متر، تلفات فنی را از ۴/۰۳ به ۱/۶۵ کیلووات (حدود ۵۹٪ کاهش) و کمینه ولتاژ را از ۰/۹۴۱ به ۰/۹۸ پریونیت بهبود داد و تعداد گره‌های زیر حد مجاز ولتاژ را از ۶ به صفر رساند. نوآوری مهم دیگر، تفکیک منشأ این کاهش تلفات است: تنها حدود ۳۶ واحد درصد از کاهش تلفات ناشی از کوتاه‌شدن مسیر بوده و ۲۳ واحد درصد دیگر از بازتوزیع جریان میان سه فیدر خروجی حاصل شده است؛ بنابراین، برآوردهای صرفاً مبتنی بر کاهش طول، می‌توانند بخش قابل توجهی از منفعت واقعی جابه‌جایی پست را نادیده بگیرند.

برنامه‌ریزی توسعه شبکه است که می‌تواند بازدهی‌های غیرضروری، هزینه مطالعات میدانی و زمان تصمیم‌گیری را کاهش دهد و در عین حال تصمیم درباره نصب ترانسفورماتور جدید یا افزایش ظرفیت ترانس موجود را هدفمندتر کند.

مقاله ۱۱۵۶، «بهینه‌سازی هوشمند جایابی خازن در شبکه‌های توزیع روستایی مبتنی بر تلفیق لایه‌های مکانی GIS و الگوهای بار واقعی»

نقطه قوت و نوآوری مهم این مقاله، حرکت از یک مسئله صرفاً ریاضی «جایابی خازن» به سمت یک چارچوب اجرایی و داده‌محور برای تصمیم‌گیری واقعی در شرکت توزیع است. برخلاف بسیاری از روش‌های کلاسیک که محل و ظرفیت خازن را عمدتاً بر اساس پخش بار، مدل‌های ایستا یا شبکه‌های نمونه تعیین می‌کنند، این پژوهش اطلاعات مکانی GIS، داده‌های واقعی و برخاسته از SCADA و الگوریتم تخصیص وزنی بار را در یک ساختار واحد تلفیق می‌کند. در نتیجه، مدل بار شبکه از شرایط واقعی بهره‌برداری استخراج شده و علاوه بر شاخص‌های الکتریکی، محدودیت‌هایی مانند موقعیت جغرافیایی تجهیزات، دسترسی به محل، شرایط عملیاتی و قابلیت اجرای واقعی پروژه نیز در تصمیم نهایی دخالت داده می‌شوند. همین یکپارچه‌سازی را می‌توان مهم‌ترین وجه تمایز پژوهش دانست، زیرا هدف مقاله صرفاً یافتن یک جواب بهینه عددی نیست، بلکه تولید یک فرایند تصمیم‌سازی قابل استفاده با زیرساخت‌های موجود شرکت‌های توزیع است.

نتایج عددی نیز اهمیت عملی روش را به خوبی نشان می‌دهند. در تحلیل سناریوهای مختلف، نصب بانک خازنی ۱۸۰۰ کیلووار در حدود ۷۰ درصد طول فیدر به عنوان گزینه بهینه انتخاب شد؛ این سناریو تلفات را از حدود ۱۴۲۶ به ۸۹۸ کیلووات، یعنی نزدیک به ۳۷ درصد کاهش داد و ضریب توان را به حدود ۰.۹۱ رساند، در حالی که وضعیت ولتاژ نیز به محدوده مناسب منتقل شد. اجرای PSO نیز جواب پیوسته‌ای در حدود ۱۷۶۰ کیلووار و موقعیت ۶۹.۷ درصد طول فیدر ارائه کرد که پس از تطبیق با ظرفیت‌های تجاری به ۱۸۰۰ کیلووار گرد شد و عملاً همان سناریوی بهینه را تأیید کرد. نکته مهم‌تر آن است که مقاله صرفاً کمینه‌کردن تلفات را معیار قرار نداده؛ سناریوی بزرگ‌تر اگرچه تلفات را باز هم کاهش می‌داد، اما به دلیل منفعت فنی محدود

منحنی بار، می‌تواند بر مقدار پیک و انرژی مصرفی نیز اثر بگذارد؛ بخش مهمی از این اثر از تغییر هم‌پوشانی ساعات فعالیت خانوارها با روشنایی طبیعی روز ناشی می‌شود. البته خود مقاله تأکید می‌کند که اندازه و حتی جهت اثر DST به شرایط اقلیمی، الگوی فعالیت اجتماعی، ترکیب مشترکان و سهم بارهای روشنایی و سرمایشی وابسته است.

مقاله ۱۰۸۶، «تشخیص هوشمند توسعه شبکه مبتنی بر داده‌کاوی و یادگیری ماشین مربوط به درخواست انشعاب جدید»

نوآوری اصلی این پژوهش، تبدیل فرایند نسبتاً تجربی تصمیم‌گیری درباره لزوم توسعه شبکه برای یک انشعاب جدید به یک فرایند داده‌محور و هوشمند است. نویسندگان به جای اتکا صرف به بازدید میدانی، اطلاعات ولتاژ کنتورهای دیجیتال، موقعیت مکانی مشترکان و وضعیت بارگذاری ترانسفورماتورها را تلفیق کرده‌اند تا مشخص شود نقطه درخواست انشعاب در محدوده ضعف ولتاژ یا ترانسفورماتور فول بار قرار دارد یا خیر. نکته متمایز مقاله فقط استفاده از Naive Bayes نیست، بلکه طراحی یک روش خاص برای آماده‌سازی و محدودسازی مکانی داده‌های آموزشی در اطراف محل انشعاب جدید است؛ به‌طوری‌که برای تحلیل ضعف ولتاژ، داده‌های اطراف نقطه درخواست در یک محدوده مشخص وارد مدل می‌شوند و تصمیم‌گیری بر مبنای شرایط محلی شبکه انجام می‌گیرد. این موضوع محدودیت استفاده مستقیم از یک مدل واحد در کل نقشه شبکه را تا حد زیادی برطرف کرده است.

از نظر عملکرد نیز مقاله نشان می‌دهد انتخاب Naive Bayes حاصل مقایسه آن با مجموعه‌ای از روش‌های یادگیری ماشین بوده و این الگوریتم به دلیل ترکیب مناسب دقت، سادگی و سرعت پردازش انتخاب شده است. در ارزیابی نهایی، ۲۰ نقطه درخواست انشعاب بررسی شدند؛ هر ۱۰ نقطه‌ای که در محدوده بدون ضعف ولتاژ و ترانسفورماتور دارای ظرفیت آزاد قرار داشتند به‌درستی تشخیص داده شدند، شش نقطه واقع در محدوده ترانسفورماتور فول بار نیز صحیح طبقه‌بندی شدند و چهار نقطه دارای ضعف ولتاژ نیز توسط مدل شناسایی شدند، هرچند سطح اطمینان در برخی نقاط ضعف ولتاژ پایین‌تر بود. بنابراین، ارزش اصلی پژوهش در ایجاد یک ابزار پشتیبان تصمیم برای

در برابر سرمایه‌گذاری اضافی کنار گذاشته شد. بنابراین مقاله نوعی پیوند مؤثر میان بهینه‌سازی فنی، واقعیت اجرایی و توجیه اقتصادی برقرار کرده است.

مقاله ۱۱۶۵

Assessing the Technological Maturity of Energy Management and Consumer Interaction: A Dual-Perspective Approach

نوآوری بنیادی این مقاله در نحوه تعریف «بلوغ فناوری» است. نویسندگان نشان می‌دهند که بررسی صرف مقالات علمی نمی‌تواند میزان بلوغ یک فناوری را نشان دهد و از طرف دیگر، تحلیل پتنت‌ها نیز به‌تنهایی تصویر کاملی از توسعه دانش ارائه نمی‌کند. بر همین اساس، یک چارچوب دودیدگاهی هوشمندی فناوری ایجاد شده است که تحلیل کتاب‌سنجی مقالات، تحلیل جهانی پتنت‌ها و مدل‌سازی موازی منحنی‌های لجستیک S را با یکدیگر ترکیب می‌کند. سه سهم اصلی پژوهش عبارت‌اند از: تحلیل یکپارچه تحول بلندمدت مقالات و پتنت‌ها، استفاده از دو منحنی S مستقل برای شناسایی مراحل توسعه و رابطه تقدم-تاخر میان علم و صنعت، و در نهایت ساخت نقشه فناوری و تحلیل شکاف برای شناسایی حوزه‌های همگرا، فناوری‌های نوظهور و موانع تجاری‌سازی. استفاده از ۳۲۸۱ مدرک علمی Scopus در بازه ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۵ و داده‌های پتنت The Lens از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۵ نیز باعث شده چارچوب بر یک مجموعه داده بلندمدت و نسبتاً گسترده استوار باشد.

مهم‌ترین یافته مقاله، ناهم‌زمان بودن مسیر بلوغ علمی و صنعتی است. منحنی پتنت حدود سال ۲۰۲۰ به نقطه عطف خود می‌رسد و به سمت کاهش نرخ رشد حرکت می‌کند، در حالی که تولیدات علمی همچنان در فاز رشد قوی‌تری قرار دارند؛ بنابراین توسعه صنعتی برخی فناوری‌ها زودتر از بلوغ مسیر علمی وارد مرحله تثبیت شده است، هرچند نویسندگان تأکید می‌کنند این موضوع را نباید معادل بلوغ کامل بازار دانست. در نقشه فناوری، حوزه‌هایی مانند HEMS/BEMS، پاسخگویی بار، کنترل‌های هوشمند و هماهنگی منابع انرژی توزیع‌شده دارای همگرایی بالای پژوهش و پتنت هستند؛ در مقابل، تجارت انرژی P2P، انرژی تراکنشی مبتنی بر بلاکچین، مدل‌سازی رفتار مصرف‌کننده و روش‌های حفظ حریم خصوصی هنوز پژوهش

علمی بیشتری نسبت به فعالیت پتنت دارند. مقاله همچنین شکاف‌های مهمی در رفتار واقعی مصرف‌کننده، قابلیت همکاری، کیفیت داده، امنیت سایبری، حریم خصوصی و انتقال پژوهش از آزمایشگاه به محیط واقعی شناسایی می‌کند که این بخش، خروجی مقاله را از یک تحلیل صرفاً آماری به ابزاری برای تعیین اولویت‌های آینده تحقیق و توسعه تبدیل کرده است.

مقاله ۱۱۸۸، «ارائه چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی AHP-PROMETHEE II جهت اولویت‌بندی نگهداری ترانسفورماتورهای توزیع در بستر CMMS»

نوآوری این مقاله در ایجاد یک ساختار چندلایه و قابل دفاع برای اولویت‌بندی نگهداری دارایی‌ها در شرایط محدودیت منابع است. پژوهش روی داده واقعی ۲۰۴۳ پست توزیع در پنج منطقه انجام شده و پنج معیار بارگذاری، سن، تعداد عیب، ظرفیت نامی و تعداد مشترکان را هم‌زمان وارد تصمیم‌گیری می‌کند. ویژگی متمایز کار، مقایسه دو فلسفه کاملاً متفاوت وزن‌دهی است: در رویکرد اول وزن‌ها با AHP و نظر خبرگان تعیین می‌شوند، در حالی که در رویکرد دوم، سه روش داده‌محور Entropy، CRITIC و MEREC با نظریه بازی ترکیب شده و روش GT-ECM شکل گرفته است. سپس PROMETHEE II به‌عنوان موتور اصلی رتبه‌بندی با ARAS، TOPSIS و CoCoSo مقایسه می‌شود. بدین ترتیب پژوهش تنها یک روش MCDM ارائه نکرده، بلکه اثر فلسفه وزن‌دهی، الگوریتم رتبه‌بندی و عدم قطعیت وزن‌ها را هم‌زمان بررسی کرده و خروجی را با اولویت‌های موجود در CMMS نیز مقایسه کرده است.

یافته‌های مقاله نشان می‌دهند که روش‌های مختلف MCDM در شناسایی پست‌های بحرانی سازگاری بسیار بالایی دارند؛ میانگین همبستگی اسپیرمن در پنج منطقه برای وزن‌های AHP و GT-ECM به ترتیب ۰.۹۶۷ و ۰.۹۷۳ بوده است، اما همبستگی آن‌ها با اولویت‌بندی موجود CMMS تنها حدود ۰.۴۰۹ و ۰.۴۷۹ بوده است. این اختلاف نشان می‌دهد روش موجود CMMS احتمالاً معیارهای تصمیم را به‌صورت شفاف و هم‌زمان تلفیق نمی‌کند. در مطالعه منطقه بعثت، پست‌های وفا، مشکیان و پارک شیرین در چارچوب AHP-PROMETHEE II در رتبه‌های نخست قرار گرفتند؛ وزن‌دهی AHP بیشتر بار و

سن را برجسته کرد، در حالی که GT-ECM بر عیب و تعداد مشترکان تأکید بیشتری داشت. همچنین ۱۰۰۰ تکرار مونت کارلو نشان داد با وجود امکان جابه‌جایی رتبه اول، دو گزینه بحرانی نخست تقریباً در تمام سناریوها حفظ می‌شوند. اهمیت علمی این نکته در آن است که مدل نه به‌عنوان «شاخص سلامت فیزیکی»، بلکه به‌عنوان شاخص اولویت نگهداشت و تخصیص منابع تعریف شده و از این رو قابلیت ادغام مستقیم و ممیزی‌پذیر در CMMS را دارد.

مقاله ۱۲۱۸، «ارائه مدل مدیریت دارایی و اولویت‌بندی جایگزینی پایه‌های فرسوده توزیع بر اساس شاخص سلامت و ریسک تلفیقی»

نوآوری برجسته این پژوهش، عبور از روش سنتی «تعویض دارایی بر اساس سن» و ارائه یک مدل دوسطحی سلامت-ریسک برای پایه‌های بتنی شبکه توزیع است. در سطح نخست، شاخص سلامت کمی در بازه صفر تا ۱۰۰ بر اساس هشت پارامتر فنی و با استفاده از Fuzzy AHP ساخته می‌شود؛ سپس در سطح دوم، احتمال خرابی در پنج سال آینده با پیامد خرابی شامل هزینه خاموشی، هزینه تعمیر و جایگزینی، ریسک ایمنی و ریسک محیط‌زیستی تلفیق می‌شود. نوآوری مهم‌تر، تبدیل این اطلاعات فنی به یک ماتریس ریسک 4×4 و تعریف چهار سطح اقدام «فوری، کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت» متناسب با محدودیت واقعی بودجه است. بنابراین مدل تنها وضعیت فیزیکی پایه را توصیف نمی‌کند، بلکه مستقیماً پاسخ می‌دهد که کدام دارایی، با چه فوریتی و با توجه به محدودیت منابع باید جایگزین شود؛ ویژگی‌ای که مدل را از یک ابزار ارزیابی وضعیت به یک ابزار مدیریت سرمایه تبدیل می‌کند.

اعتبار نتایج نیز یکی از نقاط قوت جدی مقاله است. مدل بر روی ۴۵۰ پایه اجرا شده و ۶۲ پایه معادل ۱۳.۸ درصد را بحرانی تشخیص داده است که از میان آن‌ها ۴۸ پایه در اولویت فوری جایگزینی قرار گرفتند. تطابق با نظر خبرگان با ضریب کلپای ۰.۷۸ و اعتبارسنجی تاریخی با حساسیت ۰.۹۰ و اختصاصیت ۰.۸۵، قابلیت اعتماد مدل را تأیید کرده است. مهم‌تر اینکه در مقایسه با روش سنتی مبتنی بر سن، مدل توانسته ۳۵ درصد از پایه‌های نسبتاً جوان اما بحرانی را که در روش سنتی نادیده

گرفته می‌شدند شناسایی کند و هم‌زمان ۲۸ درصد از پایه‌های مسن ولی سالم را از برنامه تعویض فوری خارج کند؛ نتیجه این بازتخصیص، صرفه‌جویی حدود ۲۵ میلیارد ریال در بودجه سالانه گزارش شده است. تحلیل حساسیت نیز نشان داده تغییر ± ۱۰ درصدی وزن پارامترهای اصلی کمتر از ۵ درصد اولویت نهایی را تغییر می‌دهد؛ بنابراین نوآوری مقله فقط در ساخت مدل نیست، بلکه در ارائه یک چارچوب کمی، اعتبارسنجی‌شده، نسبتاً پایدار و اقتصادی برای مدیریت دارایی است.

مقاله ۱۵۲۰،

A Two-Stage Mitigation Strategy of the Reverse-Flow Reactive Surge on an Ultra-Long MV Feeder with High PV Penetration

نوآوری مهم این مقاله، شناسایی و اثبات یک پدیده غیرمتعارف در فیدرهای بسیار طولانی دارای نفوذ بالای خورشیدی است: افزایش شدید توان راکتیو در پست بالادست، حتی در شرایطی که اینورترهای نیروگاه خورشیدی با ضریب توان واحد کار می‌کنند. پس از اتصال یک نیروگاه ۶ مگاواتی به انتهای یک فیدر ۲۰ کیلوولت به طول ۶۰ کیلومتر، توان راکتیو اندازه‌گیری‌شده از حدود ۰.۶ به میانگین ۲.۵ مگاوار رسید. پژوهش با استفاده از ۱۶ روز اندازه‌گیری میدانی و یک مدل شبه‌دینامیکی اعتبارسنجی‌شده نشان داد که منشأ این پدیده نه خطای اندازه‌گیری و نه عملکرد نادرست اینورتر، بلکه تلفات راکتیو سری I^2X ناشی از جریان معکوس است. یکی از یافته‌های بسیار مهم مقاله آن است که راکتانس مؤثر مسیر ۲۷.۵ اهم است و حدود ۲۴ درصد آن متعلق به ترانسفورماتورهاست؛ بنابراین مدل‌هایی که فقط راکتانس خط را لحاظ می‌کنند، شدت پدیده را به‌طور معناداری کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. پژوهش همچنین نشان می‌دهد کاهش توان راکتیو بالادست و کنترل اضافه‌ولتاژ انتهای فیدر دو هدف ذاتاً متعارض‌اند و روی یک جبهه پارتو قرار می‌گیرند؛ در نتیجه جست‌وجوی یک «ضریب توان ثابت مناسب» اصولاً نمی‌تواند مشکل را حل کند.

راهکار پیشنهادی مقاله نیز از همین تحلیل فیزیکی استخراج شده است. ابتدا یک مشخصه Volt-VAR نامتقارن و مقاوم برای اینورترها طراحی شده که بدون افزودن سخت‌افزار، توان

پیک، عملکرد بهتری ارائه می‌دهد. فرایند آموزش شبکه پس از ۲۲ دوره متوقف شده و ضرایب همبستگی گزارش شده برای آموزش، آزمون و کل داده‌ها به ترتیب حدود ۰.۹۱۵، ۰.۹۰۴ و ۰.۹۰۷ بوده‌اند که نشان‌دهنده توان تعمیم قابل قبول مدل است. اهمیت این نتیجه در آن است که تغییر بار در استان‌هایی مانند گلستان صرفاً با تاریخچه مصرف توضیح داده نمی‌شود و شرایط جوی بخشی از ساختار واقعی رفتار مصرف‌کننده است؛ بنابراین استفاده از مدل چندمتغیره می‌تواند مبنای مطمئن‌تری برای برنامه‌ریزی ظرفیت شبکه و توسعه تولید خورشیدی فراهم کند.

مقاله ۱۳۲۵،

Enhancing Photovoltaic Hosting Capacity in Distribution Networks Through Coordinated Smart Inverter, Battery, and Electric Vehicle Charging Control

نوآوری اصلی این پژوهش، ارائه یک چارچوب هماهنگی دوسطحی برای افزایش ظرفیت میزبانی فتوولتائیک است که سه منبع انعطاف‌پذیری، اینورتر هوشمند، ذخیره‌ساز باتری و شارژر هوشمند خودروهای برقی، را نه به صورت منفرد، بلکه در یک ساختار هماهنگ بررسی می‌کند. در سطح برنامه‌ریزی روزپیش، پروفیل شارژ و دشارژ BESS و زمان‌بندی شارژ خودروهای برقی با رعایت محدودیت انرژی تعیین می‌شود؛ در سطح محلی نیز کنترل Volt-VAR به طور پیوسته اعمال شده و Volt-Watt تنها در صورت باقی ماندن اضافه‌ولتاژ به عنوان اقدام اضطراری فعال می‌شود. نکته مهم این است که مقاله برای جلوگیری از بهبودهای مصنوعی، تراز انرژی روزانه خودروها و وضعیت نهایی باتری را صریحاً محدود می‌کند؛ بنابراین افزایش ظرفیت میزبانی از طریق شارژ نشدن خودرو یا تخلیه خالص باتری در پایان روز حاصل نمی‌شود. همچنین ظرفیت میزبانی بدون محدودسازی تولید و ظرفیت میزبانی انعطاف‌پذیر با مقدار اندکی curtailment به طور جداگانه تعریف شده‌اند.

نتایج روی فیدر ۳۳ باس نشان‌دهنده اثر قابل توجه هماهنگی منابع انعطاف‌پذیر است. ظرفیت میزبانی بدون محدودسازی در حالت پایه ۲.۳۰ مگاوات بوده که با Volt-VAR به ۲.۵۴، با BESS به ۳.۰۲ و با شارژر هوشمند EV به ۲.۸۱ مگاوات افزایش یافته است؛ اما در حالت هماهنگ این مقدار به ۳.۹۷

راکتیو بالادست را ۶۷ درصد و تلفات را ۹ درصد کاهش می‌دهد. در مرحله دوم، افزودن یک بانک خازنی کلیدزنی‌شونده ۱.۲ مگاوار در میانه فیدر، توان راکتیو پست را از ۲.۵۰ به ۰.۳۱ مگاوار کاهش داده، سهم تلفات از تولید را از ۶.۸ به ۴.۹ درصد رسانده و نیاز به محدودسازی تولید خورشیدی را به صفر رسانده است. نوآوری کاربردی دیگر، معرفی شاخص بدون بعد A برای غربالگری سریع فیدرهای مستعد این مشکل است؛ شاخصی که تنها به ظرفیت نیروگاه، ولتاژ نامی و راکتانس مؤثر مسیر نیاز دارد و با استفاده از آن ۱۱ فیدر دیگر در شبکه استان در معرض ریسک شناسایی شدند. بنابراین ارزش مقاله فقط حل یک مطالعه موردی نیست، بلکه ارائه یک روش تشخیصی و طراحی قابل تعمیم برای مطالعات اتصال نیروگاه‌های خورشیدی به فیدرهای بلند است.

مقاله ۱۳۰۴، «پیش‌بینی بار الکتریکی با در نظر گرفتن متغیرهای اقلیمی و مقایسه مدل‌های ANN و ARIMA با کاربرد در برنامه‌ریزی توسعه نیروگاه خورشیدی»

وجه متمایز این پژوهش، وارد کردن دما و رطوبت نسبی در کنار داده واقعی بار و مقایسه نظام‌مند دو فلسفه متفاوت پیش‌بینی، یعنی مدل آماری ARIMA و شبکه عصبی بازگشتی Elman، در اقلیم معتدل و مرطوب استان گلستان است. برخلاف پیش‌بینی‌های صرفاً مبتنی بر سابقه بار، مقاله اثر توأم اقلیم و حافظه زمانی مصرف را وارد مدل می‌کند. ARIMA برای استخراج ساختار روند و فصل‌گرایی مورد استفاده قرار گرفته و در کنار پیش‌بینی نقطه‌ای، با تولید ۱۰۰۰ سناریوی مبتنی بر باقیمانده‌های مدل، عدم قطعیت پیش‌بینی نیز بررسی شده است. در مقابل، شبکه Elman قادر است وابستگی زمانی و روابط غیرخطی میان بار گذشته، دما و رطوبت را هم‌زمان یاد بگیرد. نوآوری کاربردی مقاله نیز آن است که پیش‌بینی بار صرفاً به عنوان یک مسئله آماری دیده نشده، بلکه خروجی آن مستقیماً برای ارزیابی نیاز آینده به توسعه ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی استان به کار گرفته شده است.

نتایج نشان می‌دهد اگرچه ARIMA در بازتولید روند و الگوهای فصلی عملکرد قابل قبولی دارد، شبکه عصبی Elman به دلیل استفاده هم‌زمان از متغیرهای اقلیمی و توانایی مدل‌سازی رفتار غیرخطی، در دنبال کردن نوسانات بار، به خصوص در ساعات

مگاوات می‌رسد. با پذیرش حداکثر ۳ درصد محدودسازی نیز ظرفیت میزبانی به ۵۶۷ مگاوات با curtailment واقعی ۲۰۹۹ درصد افزایش یافته است. در ظرفیت ثابت ۲ مگاوات PV نیز روش هماهنگ پیشینه و لتاژ را ۰.۰۱۸۹ پریونیت کاهش داده، تلفات روزانه را ۲۴.۷ درصد کم کرده و ۱۶۳۳ مگاوات-ساعت انرژی معکوس حلت پایه را کاملاً حذف کرده است. اهمیت مقاله در این است که نشان می‌دهد پیش از سرمایه‌گذاری برای تقویت فیزیکی شبکه، می‌توان بخش قابل‌توجهی از ظرفیت اتصال PV را با مدیریت هماهنگ منابع موجود آزاد کرد.

مقاله ۱۳۷۸، «مسیریابی شبکه توزیع فشار متوسط تاب‌آور در مواجهه با طوفان‌های شدید»

نوآوری این مقاله در وارد کردن مفهوم تاب‌آوری در همان مرحله طراحی مسیر فیدر است، نه اینکه پس از وقوع حادثه صرفاً به بازآرایی یا بازیابی شبکه پرداخته شود. مسئله مسیریابی به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی تدوین شده که در آن مسیر خطوط به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که از مناطق کم‌خطرتر در برابر طوفان عبور کند و هم‌زمان امکان انتخاب میان خط هوایی و کابل زیرزمینی وجود داشته باشد. این موضوع اهمیت زیادی دارد، زیرا زمینی کردن تمام شبکه از نظر اقتصادی قابل‌توجه نیست؛ در نتیجه مدل باید مشخص کند کدام بخش‌ها ارزش زیرزمینی شدن دارند. برای حل مسئله از الگوریتم فراابتکاری Fire Hawk Optimizer استفاده شده و محدودیت‌های فنی شبکه، حفظ ساختار شعاعی، افت و لتاژ، تلفات، هزینه تجهیزات و ملاحظات جغرافیایی و آسیب‌پذیری در فرایند تصمیم‌گیری لحاظ شده‌اند.

نتایج نشان می‌دهد الگوریتم توانسته یک شبکه پیوسته و شعاعی ایجاد کند که تمام پست‌های فشار متوسط را به منبع بالادست متصل نگه می‌دارد و در عین حال، بخش‌هایی را که از دید تاب‌آوری مناسب‌تر است به‌صورت کابل زیرزمینی انتخاب می‌کند. نکته مهم آن است که الگوریتم صرفاً به دنبال کمترین هزینه اولیه نیست؛ محدودیت و لتاژ، هزینه تلفات و حاشیه‌های فنی باعث می‌شوند در برخی مسیرها هادی‌های با ظرفیت بیشتر یا اجرای زیرزمینی انتخاب شود. بنابراین دستاورد اصلی پژوهش، ایجاد یک طراحی پیشگیرانه قبل از بحران است که میان هزینه

احداث و کاهش آسیب‌پذیری مصالحه برقرار می‌کند و می‌تواند به‌عنوان طرح اولیه برای توسعه شبکه در مناطق مستعد طوفان استفاده شود. مقاله عدد مشخصی برای درصد کاهش آسیب‌پذیری نهایی گزارش نکرده، اما نشان داده است مدل پیشنهادی قادر به حفظ قیود شبکه و انتخاب هم‌زمان مسیر و نوع اجرای خطوط است.

مقاله ۱۳۸۱، «چارچوبی مکان‌محور برای محاسبه ضرایب دیماندر و همزمانی از طریق ادغام GIS و AMI جهت ظرفیت‌یابی ترانسفورماتورهای توزیع»

نوآوری اصلی مقاله، جایگزینی ضرایب ثابت و تجربی طراحی با ضرایب مکان‌محور و پویا مبتنی بر رفتار واقعی مصرف‌کنندگان است. نویسندگان یک معماری مبتنی بر وب‌سرویس طراحی کرده‌اند که GIS را به سامانه کنتورهای هوشمند فہام متصل می‌کند؛ به این ترتیب کارشناس می‌تواند محدوده جغرافیایی مورد نظر را انتخاب کند، کنتورهای واقع در آن محدوده به‌طور خودکار شناسایی شوند، داده‌های سری زمانی مصرف بازیابی و پالایش شوند و در نهایت پروفیل تجمیعی منطقه برای محاسبه ضریب دیماندر و ضریب همزمانی تشکیل شود. اهمیت این رویکرد در آن است که دو منطقه با تعداد و نوع مشترک مشابه الزاماً رفتار مصرف یکسانی ندارند و استفاده از یک ضریب عمومی ممکن است به بیش‌ظرفیت یا کم‌ظرفیت شدن ترانسفورماتور منجر شود. همچنین رویکرد مقاله تلاش می‌کند به‌جای حذف گسترده داده ناقص، حداکثر داده سالم قابل استفاده را حفظ و داده‌ها را ترمیم کند.

در مطالعه موردی تنکابن، از ۱۸ کنتور موجود، ۱۵ کنتور پس از ارزیابی کیفیت داده برای تحلیل نهایی انتخاب شدند. پس از پالایش و ترمیم داده‌ها و تشکیل پروفیل بار تجمیعی، پیک همزمان منطقه ۲۲.۴ کیلووات، ضریب دیماندر ۰.۲۷ و ضریب همزمانی ۰.۳۸ محاسبه شد. این در حالی است که در دستورالعمل جاری طراحی برای مناطق مشابه، ضریب همزمانی معمولاً در محدوده ۰.۲۵ تا ۰.۳۵ فرض می‌شود. همچنین مشخص شد پیک واقعی تجمیعی بسیار کمتر از مجموع دیماندر منصوبه مشترکان است؛ موضوعی که نشان می‌دهد روش سنتی می‌تواند به انتخاب ترانسفورماتور بزرگ‌تر از نیاز واقعی و تحمیل سرمایه‌گذاری اضافی منجر شود. از این رو، ارزش اصلی مقاله

مقاله ۱۳۹۹، «بررسی فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی برای پایداری ریزشک‌ها»

این مقاله از جنس پژوهش مروری-تحلیلی است؛ بنابراین نوآوری آن ارائه یک الگوریتم یا تجهیز جدید نیست، بلکه ایجاد یک چارچوب مقایسه‌ای میان فناوری‌های مختلف ذخیره‌سازی از منظر نیازهای واقعی ریزشک‌ها است. باتری‌های الکتروشیمیایی، ابرخازن‌ها، چرخ‌طیار، CAES، هیدروژن و SMES از نظر سرعت پاسخ، ظرفیت ذخیره انرژی، قابلیت کنترل فرکانس، پایداری ولتاژ، تعادل توان، مزایا، محدودیت‌ها و کاربرد مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. تفاوت مهم مقاله با یک مرور توصیفی ساده، استفاده از نتایج مطالعات تحلیلی و شبیه‌سازی برای ارتباط دادن مشخصات هر فناوری با نوع خدمت مورد نیاز ریزشک‌ها است؛ یعنی به‌جای معرفی یک «فناوری برتر»، نشان می‌دهد انتخاب بهینه تابع مقیاس زمانی مسئله و هدف بهره‌برداری است.

جمع‌بندی مقاله نشان می‌دهد باتری‌ها به دلیل ظرفیت و راندمان مناسب، گزینه مطلوبی برای مدیریت انرژی و هموارسازی خروجی تجدیدپذیرها هستند؛ در حالی که ابرخازن، چرخ‌طیار و SMES به دلیل پاسخ بسیار سریع، برای اغتشاشات گذرا، تنظیم فرکانس و ولتاژ مناسب‌ترند و CAES و هیدروژن بیشتر در ذخیره‌سازی بلندمدت و مقیاس بزرگ مزیت دارند. مهم‌ترین نتیجه تحلیلی مقاله آن است که هیچ فناوری منفردی قادر به پوشش همه نیازهای ریزشک‌ها نیست و ساختارهای هیبریدی، به‌ویژه ترکیب باتری با یک ذخیره‌ساز پرتوان و سریع نظیر ابرخازن، می‌توانند هم پاسخ دینامیکی را بهبود دهند و هم تنش کاری باتری را کاهش داده و عمر آن را افزایش دهند. بنابراین مقاله استفاده از ذخیره‌سازی هیبریدی همراه با کنترل هوشمند را به‌عنوان یکی از مسیرهای اصلی توسعه ریزشک‌های آینده برجسته می‌کند.

مقاله ۱۴۸۳، «پیش‌بینی بار ساعتی و تعیین پنجره پرریسک پیک در شبکه توزیع برق تهران بزرگ با ترکیب XGBoost و SARIMAX»

نوآوری مهم مقاله این است که پیش‌بینی بار را از «تخمین یک عدد برای پیک روزانه» به تولید یک خروجی زمانمند و مستقیماً

ایجاد پیوند مستقیم میان داده AMI، اطلاعات مکانی GIS و تصمیم مهندسی ظرفیت‌یابی است.

مقاله ۱۳۸۳،

DORNA: A Real-Time Decision Support System for Fair and Optimized Load Shedding Under Energy Imbalance Conditions

نوآوری DORNA در این است که مسئله خاموشی برنامه‌ریزی‌شده را از یک فرایند دستی و صرفاً فنی به یک سامانه تصمیم‌یار برخط با محوریت عدالت توزیع خاموشی تبدیل می‌کند. سامانه اطلاعات ایستا و پویا شامل توپولوژی شبکه، بار واقعی فیدرها، موقعیت مشترکان، محدودیت‌های بهره‌برداری و مراکز حساس را یکپارچه کرده و فیدرها را در سه طبقه «بدون خاموشی»، «خاموشی ثابت» و «خاموشی چرخشی» تقسیم می‌کند. برای فیدرهای چرخشی نیز الگوریتمی ارائه شده که ابتدا فیدرها را بر اساس بار و پست بالادست سازمان‌دهی و سپس میان گروه‌های خاموشی توزیع می‌کند. پنج عامل شامل متوسط زمان خاموشی شهر، برنامه خاموشی چرخشی، تعداد دفعات قطع روزانه، حساسیت مراکز مانند بیمارستان و محدودیت فعالیت بخش‌های تجاری و صنعتی در تصمیم‌گیری وارد می‌شوند؛ بنابراین مقاله مسئله عدالت را از یک مفهوم کیفی به یک معیار قابل‌اندازه‌گیری در برنامه‌ریزی بهره‌برداری تبدیل کرده است.

اهمیت پژوهش در این است که سامانه صرفاً شبیه‌سازی نشده، بلکه در تابستان ۲۰۲۵ در شبکه واقعی استان گیلان و برای ۱۹ شهر به کار گرفته شده است. حداکثر خطای کلی برنامه تولیدشده ۹.۹ درصد گزارش شد و انحراف معیار متوسط زمان خاموشی شهرها در سه بازه برنامه‌ریزی به ترتیب ۳.۸۷، ۳.۹۹ و ۳.۷۶ دقیقه بود که پراکندگی کم و توزیع نسبتاً متوازن خاموشی را نشان می‌دهد. علاوه بر مجموع مدت خاموشی، تعداد دفعات قطع نیز وارد برنامه می‌شود تا یک گروه از مشترکان چندین بار در روز متحمل خاموشی نشوند. بنابراین نوآوری واقعی DORNA در ترکیب قابلیت اجرای روزمره، داده‌های واقعی و معیار عدالت است؛ سامانه‌ای که علاوه بر بهبود کارایی، شفافیت و قابلیت دفاع از برنامه خاموشی در برابر شهرها و مشترکان را افزایش می‌دهد.

ظرفیت بر اساس کاهش تلفات و بهبود کمینه ولتاژ رتبه‌بندی شده‌اند. در بخش دوم، تولید سالیانه نیروگاه برای ۲۷ شهرستان با PVsyst محاسبه شده و برخلاف ارزیابی‌هایی که تنها تابش و دما را در نظر می‌گیرند، رطوبت و ریزگرد نیز در محاسبات اقلیمی وارد شده‌اند. این تلفیق از آن جهت مهم است که بهترین نقطه الکتریکی شبکه الزاماً در بهترین منطقه اقلیمی برای تولید انرژی قرار ندارد.

نتایج نشان داده‌اند انتخاب صحیح محل و ظرفیت می‌تواند تلفات میان‌باری را تا حدود ۷۰ درصد کاهش و کمینه ولتاژ پرباری را تا ۳۴ درصد بهبود دهد. اختلاف انرژی سالانه قابل تزریق میان بهترین و ضعیف‌ترین شهرستان نیز حدود ۱۸ درصد بوده است. علاوه بر تحلیل فنی، یک رابط گرافیکی مستقل مبتنی بر پایتون طراحی شده که مطالعات DiGSILENT را به‌صورت خودکار اجرا کرده و زمان مورد نیاز هر مطالعه را از چند روز محاسبه دستی به چند ساعت کاهش می‌دهد؛ در نتیجه حتی کارشناس بدون دانش برنامه‌نویسی می‌تواند با تغییر بار یا توپولوژی شبکه مطالعه را مجدداً اجرا کند. همچنین مشخص شده ظرفیت بهینه اکثر فیدرها بین ۱.۵ تا ۴ مگاوات است و الزاماً استفاده از سقف مجاز ۷ مگاوات انتخاب مناسبی نیست. بنابراین مقاله هم‌زمان یک روش مهندسی تصمیم‌گیری و یک ابزار اجرایی قابل استفاده در فرایند پاسخ به متقاضیان اتصال ارائه کرده است.

مقاله ۱۵۱۹، «طراحی نظام مدیریت کار متمرکز ناوگان خودرویی سازمانی با رویکرد پیاده‌سازی مدیریت دارایی‌های فیزیکی در شرکت‌های توزیع برق»

نوآوری این مقاله در بازتعریف ناوگان خودرو از یک واحد پشتیبانی اداری به یک دارایی فیزیکی راهبردی در چارچوب مدیریت چرخه عمر است. مدل پیشنهادی پنج محور برنامه‌ریزی ناوگان، مدیریت بهره‌برداری، نگهداری مبتنی بر وضعیت، هوشمندسازی اطلاعات و ارزیابی عملکرد را در یک ساختار یکپارچه قرار می‌دهد. در بخش نگهداری نیز سه سطح پیشگیرانه، مبتنی بر وضعیت و پیش‌بینانه تعریف شده و پیشنهاد می‌شود اطلاعات شناسنامه‌ای خودرو، سوابق تعمیر، پیمایش، مصرف سوخت، هزینه، رفتار راننده و خطاهای خودرو در یک سامانه اطلاعاتی مشترک جمع‌آوری شود. استفاده از IoT،

قابل استفاده برای عملیات شبکه تبدیل می‌کند. XGBoost با استفاده از سابقه بار، متغیرهای هواشناسی، روز هفته، تعطیلات، کاهش ساعت کاری، دورکاری و رخدادهای غیرعادی، کل منحنی ۲۴ ساعته روز آینده را تولید می‌کند؛ سپس از روی این منحنی مقدار پیک، ساعت وقوع پیک و سه ساعت پریسک استخراج می‌شوند. در کنار آن، SARIMAX با متغیرهای برون‌زا یک برآورد مستقل از پیک روزانه ارائه می‌کند تا به‌عنوان لایه کنترلی برای شناسایی روزهایی که خروجی دو مدل با یکدیگر ناسازگار است استفاده شود. مقاله حتی شاخص «کم‌برآورد خطرناک» را تعریف می‌کند؛ زیرا در بهره‌برداری، پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی پیک می‌تواند از بیش‌برآوردی زیان‌بارتر باشد و آمادگی بهره‌بردار را کاهش دهد.

آزمون کاملاً خارج از نمونه روی داده‌های سال ۱۴۰۴ نشان داد MAPE مدل XGBoost برابر ۳.۳۱ درصد است که از Ridge Regression با ۴.۵۹ درصد، Random Forest با ۴.۸۷ درصد و مبنای ساده روزانه و هفتگی بهتر بوده است. SARIMAX نیز MAPE برابر ۳.۳۶ درصد داشته و به دلیل RMSE پایین‌تر، نقش مناسبی به‌عنوان کنترل مستقل پیک دارد. نکته اصلی آن است که برتری XGBoost فقط از نظر خطا نیست؛ این مدل بر خلاف مدل‌های پیش‌بینی مستقیم پیک، می‌تواند «زمان» وقوع ریسک را نیز مشخص کند. از این رو، خروجی مقاله مستقیماً برای آماده‌باش بهره‌برداری، مدیریت مصرف، اولویت‌بندی روزهای پریسک و تمرکز اقدامات کنترلی در سه ساعت حساس کاربرد دارد؛ بنابراین مقاله فاصله میان پیش‌بینی آماری و تصمیم عملیاتی را کاهش داده است.

مقاله ۱۴۹۹، «جایابی و ظرفیت‌سنجی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از DiGSILENT و PVsyst با در نظر گرفتن اثرات تابش، دما، رطوبت و ریزگرد»

نوآوری این مقاله در تلفیق دو دیدگاه است که معمولاً جدا از یکدیگر بررسی می‌شوند: «مناسب بودن محل اتصال از دید شبکه» و «مناسب بودن محل احداث از دید تولید واقعی انرژی خورشیدی». در بخش نخست، ۵۲ فیدر متعلق به شش پست فوق‌توزیع در DiGSILENT و در سه وضعیت کم‌باری، میان‌باری و پرباری برای ظرفیت‌های صفر تا ۷ مگاوات با گام ۵۰۰ کیلووات بررسی شده‌اند و ترکیب‌های مختلف مکان-

ایجاد ارتباط مستقیم میان دستورکار، تجهیز، محل اجرا، منابع انسانی، کالا و بودجه است؛ به‌طوری‌که مصرف منابع قابل ردیابی شده و برنامه نگهداشت از یک فرایند واکنشی و منطقه‌ای به یک فرایند یکپارچه، مبتنی بر اولویت و قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌شود.

نتایج کمی مقاله بسیار قابل توجه‌اند و ارزش عملی مدل را نشان می‌دهند. پس از استقرار مدیریت کار متمرکز، زمان فرایند خرید کالا حدود ۳۰ درصد کاهش یافته و تعداد اعلام‌ها و مناقصات خرید اقلام نگهداشت حدود ۷۰ درصد کمتر شده است؛ میزان جذب اعتبارات نیز در سال نخست ۳۵ درصد افزایش یافته است. عدم واگذاری عملیات نگهداشت فشار متوسط و پست‌های توزیع به پیمانکار، طبق گزارش مقاله حدود ۲۷۴ میلیارد ریال خلق منابع و بازگشت سرمایه ایجاد کرده است. از منظر فنی، تعداد فیدرهای بحرانی از چهار مورد در سال ۱۴۰۳ به صفر در پایان ۱۴۰۴ رسیده، شاخص «آچار به‌دستی» از حدود ۳۰ به ۴۰ درصد افزایش یافته و سهم کارهای اضطراری به ۱۳ درصد رسیده است. بنابراین مهم‌ترین دستاورد مقاله، اثبات این موضوع است که تغییر ساختار مدیریت کار می‌تواند هم‌زمان اثر اقتصادی، فنی و مدیریتی داشته باشد و عملاً یکی از اهرم‌های ارتقای بلوغ مدیریت دارایی باشد، نه صرفاً یک تغییر تشکیلاتی.

فایل ۱۶۲۵، «برنامه‌ریزی مقاوم ذخیره‌ساز انرژی در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن عدم قطعیت زمان و مدت عملکرد جزیره‌ای»

نوآوری بنیادی این پژوهش، تغییر نگاه به ذخیره‌ساز از یک تجهیز صرفاً اقتصادی به یک منبع راهبردی برای آمادگی شبکه در برابر جزیره‌ای شدن نامطمئن است. در بسیاری از مدل‌های متداول، یا زمان وقوع حادثه مشخص فرض می‌شود یا یک مدت جزیره‌ای ثابت در نظر گرفته می‌شود؛ در این مقاله هم زمان وقوع و هم مدت جزیره‌ای شدن به‌صورت هم‌زمان نامطمئن هستند. برای این منظور یک مجموعه عدم قطعیت وابسته به زمان طراحی و مسئله جایابی و ظرفیت‌گذاری ESS به‌صورت MISOCIP فرموله شده است. نوآوری مهم‌تر، تعریف شاخص Cost of Islanding Readiness Commitment یا CIRC است که هزینه رزرو ظرفیت و هزینه فرصت ناشی از استفاده نکردن کامل ذخیره‌ساز برای بهره‌برداری اقتصادی را

تحلیل داده و هوش مصنوعی در این ساختار با هدف عبور از تعمیر پس از خرابی به سمت پیش‌بینی خرابی پیش از وقوع مطرح شده است؛ در نتیجه تصمیم درباره تعمیر، تخصیص یا جایگزینی خودرو از حالت سلیقه‌ای به تصمیم مبتنی بر داده و هزینه چرخه عمر تبدیل می‌شود. یکی دیگر از نکات مهم مقاله، تعریف ساختار اندازه‌گیری عملکرد است. شاخص‌هایی مانند آماده‌به‌کاری ناوگان، زمان توقف خودرو، هزینه نگهداری به ازای کیلومتر، مصرف سوخت و نرخ خرابی پیشنهاد شده‌اند و مقاله ایجاد یک داشبورد مدیریتی لحظه‌ای را برای مشاهده وضعیت خودروهای آماده‌به‌کار، در حال تعمیر و خراب، هزینه‌ها، پیمایش و مأموریت‌ها توصیه می‌کند. بر اساس مدل مفهومی پژوهش، زنجیره «دارایی» فرایند «داده» تصمیم مدیریتی «باید مبنای نظام مدیریت ناوگان قرار گیرد. مقاله مدعی ارائه نتیجه عددی حاصل از یک پیاده‌سازی میدانی کنترل‌شده نیست؛ ارزش آن بیشتر در ارائه یک چارچوب اجرایی جامع است که انتظار می‌رود آماده‌به‌کاری را افزایش داده، توقف‌های اضطراری، هزینه تعمیرات و مصرف سوخت را کاهش دهد و تصمیم‌نوسازی را بر اساس ارزش و ریسک دارایی انجام دهد. این تمایز مهم است، زیرا پژوهش بیشتر یک مدل مدیریتی-اجرایی قابل پیاده‌سازی ارائه می‌دهد تا یک مدل تجربی با درصد بهبود از پیش اندازه‌گیری شده.

مقاله ۱۶۰۵، «ارزیابی اثرات استقرار سیستم مدیریت کار متمرکز در بلوغ نظام مدیریت دارایی‌های فیزیکی شبکه توزیع برق؛ مطالعه موردی شرکت توزیع نیروی برق مازندران»

نوآوری اصلی این مقاله در آن است که «مدیریت کار متمرکز» را صرفاً به‌عنوان یک الگوی سازمانی یا پیشنهاد مدیریتی مطرح نمی‌کند، بلکه اثر واقعی استقرار آن را بر بلوغ مدیریت دارایی فیزیکی با داده‌های عملیاتی قبل و بعد از اجرا ارزیابی می‌کند. در ساختار پیشنهادی، فرایندهایی نظیر دریافت درخواست کار، اولویت‌بندی، برنامه‌ریزی، زمان‌بندی، تخصیص گروه اجرایی، تأمین کالا، اجرا و پایش عملکرد از سطح واحدهای پراکنده به یک مرکز متمرکز منتقل شده‌اند. برای ارزیابی نیز اطلاعات از سامانه مکانیزه نگهداری و تعمیرات، سامانه حوادث ۱۲۱ و سیستم‌های مالی و اداری استخراج شده است. نکته متمایز مقاله

به‌طور صریح ارزش‌گذاری می‌کند. مدل نیز با الگوریتم Column and Constraint Generation حل می‌شود که در هر مرحله بدترین سناریوی جزیره‌ای شدن را پیدا کرده و به مسئله اصلی اضافه می‌کند.

نتایج نشان می‌دهند لحاظ آمدگی اضطراری، محل و ظرفیت بهینه ذخیره‌ساز و حتی نحوه شارژ و دشارژ آن را تغییر می‌دهد. در مدل مقاوم، بخشی از انرژی ذخیره‌ساز عمداً به‌عنوان ذخیره راهبردی حفظ شده و از تخلیه عمیق آن جلوگیری می‌شود؛ در عین حال هزینه خرید برق از شبکه بالادست از ۵۸۱۰۵ به ۵۳۹۰۹۶ کاهش یافته است. با افزایش مدت جزیره‌ای شدن از یک به شش ساعت، سرمایه‌گذاری ذخیره‌ساز از حدود ۵۵۰۱۲ به ۹۱۶۵ × ۱۰^۴ دلار در سال افزایش یافته و هزینه کل نیز از حدود ۶۳۴۰۲۹ به ۶۴۳۰۳۸ × ۱۰^۴ دلار می‌رسد؛ ضمن آنکه محل بهینه ذخیره‌سازها نیز ممکن است تغییر کند. بنابراین مقاله به‌خوبی نشان می‌دهد که تاب‌آوری رایگان نیست، اما می‌توان هزینه آن را کمی کرد و بین اقتصاد بهره‌برداری و امنیت تأمین بارهای حیاتی یک موازنه قابل دفاع ایجاد نمود.

فایل ۱۶۹۳، «ارزیابی ریسک و بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع بزرگ مقیاس با در نظر گرفتن استقرار نامنظم منابع انرژی توزیع شده»

نقطه قوت اصلی این مقاله، انتقال مسئله جانمایی کلیدهای کنترل از راه دور از یک مسئله ساده قابلیت اطمینان به یک مسئله تصمیم‌گیری ریسک‌محور در شبکه واقعی بزرگ مقیاس و دارای DER نامطمئن است. نویسندگان برای مدل‌سازی بار و استقرار نامنظم منابع انرژی توزیع شده از بستر GIS استفاده کرده‌اند، عدم قطعیت‌ها را با روش سناریومحور تصادفی وارد مسئله کرده‌اند و برای سنجش ریسک از CVaR بهره گرفته‌اند. سپس شاخص انرژی تأمین نشده یا ENS در کنار تعداد کلیدهای RCS به‌عنوان دو سوی اصلی مصالحه، قابلیت اطمینان در برابر هزینه اتوماسیون، قرار گرفته‌اند. در نتیجه مدل فقط نمی‌پرسد «کجا کلید نصب شود؟»، بلکه به پرسش مهم‌تری پاسخ می‌دهد: تا چه سطحی از اتوماسیون، هزینه اضافی واقعاً به بهبود معنادار قابلیت اطمینان منجر می‌شود؟

مطالعه روی شبکه واقعی نشان می‌دهد شبکه موجود ۵۸ کلید RCS داشته و مدل، ۱۸۶ کلید جدید را پیشنهاد کرده است؛ بنابراین تعداد کلیدهای کنترل از راه دور در نقطه پیشنهادی به ۲۴۴ واحد می‌رسد. در این حالت ENS از ۳۶۵ به حدود ۳۰۶ مگاوات ساعت در سال کاهش می‌یابد، یعنی ۵۹ مگاوات ساعت بهبود حاصل می‌شود. هرچند تبدیل تعداد بسیار بیشتری از کلیدهای دستی به RCS می‌تواند ENS را باز هم کاهش دهد، هزینه آن به شدت افزایش یافته و بهبود حاشیه‌ای پس از نقطه مشخصی کاهش پیدا می‌کند. مقاله مقدار $\beta = 0.224$ را به‌عنوان نقطه‌ای برای ایجاد موازنه میان ریسک و هزینه بررسی می‌کند. نوآوری عملی پژوهش همین شناسایی نقطه اشباع اقتصادی اتوماسیون است؛ یعنی شرکت توزیع به‌جای رویکرد «هرچه RCS بیشتر بهتر»، می‌تواند مقدار سرمایه‌گذاری را بر اساس اثر واقعی آن بر ENS و ریسک شبکه تعیین کند.

مقاله ۱۷۱۹، «مدلسازی یکپارچه آثار برقی‌سازی ناوگان سواری و تاکسی درون‌شهری بر زنجیره تأمین برق و توسعه زیرساخت‌های انتقال و توزیع برق تهران»

نوآوری مقاله در نگاه یکپارچه انرژی-حمل‌ونقل-شبکه برق است. به‌جای آنکه توسعه خودروهای برقی فقط از منظر کاهش مصرف بنزین بررسی شود، کل زنجیره از تقاضای سفر تا مصرف سوخت و برق، تولید و دریافت برق منطقه تهران، تلفات شبکه و نهایتاً انتشار CO₂ در محیط LEAP برای افق ۱۴۰۲ تا ۱۴۱۵ مدل شده است. تقاضای حمل‌ونقل بر مبنای نفر-کیلومتر تعریف شده و پنج فناوری بنزینی، دوگانه‌سوز، PHEV، HEV و BEV در سه سناریوی مرجع، نفوذ متوسط و نفوذ بالا بررسی شده‌اند. مزیت روش این است که جمعیت و تقاضای سفر در سه سناریو ثابت نگه داشته شده و بنابراین تفاوت نتایج مستقیماً ناشی از تغییر فناوری ناوگان و بازده انرژی آن است؛ در نتیجه می‌توان اثر خالص برقی‌سازی را از رشد تقاضای سفر تفکیک کرد.

نتایج نشان می‌دهد تقاضای نهایی کل انرژی از حدود ۱۱۹۰۴ هزار گیگاوات ساعت در سال پایه، در سال ۱۴۱۵ به ۱۵۳۰۳۴ هزار GWh در سناریوی مرجع، ۱۵۰۰۵۲ هزار GWh در نفوذ متوسط و ۱۴۵۰۰۴ هزار GWh در نفوذ بالا می‌رسد؛ بنابراین با

وجود ثابت بودن سفر، برقی‌سازی و هیبریدی‌سازی به دلیل راندمان بالاتر رشد مصرف نهایی انرژی را محدود می‌کنند. از سوی دیگر، در سناریوی مرجع انتشار کل CO₂ از ۳۳.۴۹ به ۴۰.۷۴ میلیون تن افزایش می‌یابد، در حالی که سناریوهای برقی‌سازی انتشار کل را نسبت به مرجع کاهش می‌دهند. اما مقاله یک هشدار کلیدی نیز دارد: چون توسعه درون‌زای ظرفیت تولید در مدل لحاظ نشده، نفوذ بالای EV می‌تواند به افزایش انرژی تأمین‌نشده منجر شود. بنابراین توسعه خودرو برقی باید هم‌زمان با توسعه تولید، انتقال، توزیع، زیرساخت شارژ و منابع تجدیدپذیر انجام شود؛ همچنین تاکسی‌ها به دلیل پیمایش زیاد و امکان نوسازی متمرکز، گزینه مناسبی برای اولویت نخست برقی‌سازی معرفی شده‌اند.

فایل ۱۵۲۷، «برنامه‌ریزی توسعه سیستم‌های توزیع یکپارچه الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی در حضور عدم قطعیت‌ها»

نوآوری این مقاله، کنار گذاشتن برنامه‌ریزی مستقل حامل‌های انرژی و ارائه یک مدل توسعه هماهنگ و احتمالاتی برای برق، گرمایش و سرمایش است. در این مدل، فناوری‌های کوپل‌کننده از جمله PV، تولید هم‌زمان برق و حرارت، دیگ بخار، چیلر الکتریکی و چیلر جذبی به‌طور هم‌زمان وارد تصمیم توسعه می‌شوند. سه منبع مهم عدم قطعیت نیز به‌طور صریح لحاظ شده‌اند: نوسان تولید خورشیدی، تغییرات بارهای الکتریکی/گرمایشی/سرمایشی/گازی و تغییر قیمت حامل‌های انرژی. برای بازنمایی این عدم قطعیت‌ها، از تولید سناریو به کمک مونت کارلو و خوشه‌بندی استفاده شده و تصمیمات سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری به‌صورت هم‌زمان بهینه می‌شوند. در نتیجه، مقاله توسعه شبکه را نه صرفاً «احداث فیدر بیشتر»، بلکه انتخاب میان سرمایه‌گذاری در زیرساخت و استقرار منابع سمت مصرف تعریف می‌کند.

نتایج سیستم ۱۸ شینه اهمیت این هماهنگی را به‌خوبی نشان می‌دهد. در حالت توسعه صرف زیرساخت، هزینه سرمایه‌گذاری شبکه حدود ۰.۸۵۵ میلیون دلار، هزینه بهره‌برداری ۲۶۶.۸۶۷ میلیون دلار و هزینه کل ۲۶۷.۷۲۲ میلیون دلار است. با اجازه توسعه منابع سمت مصرف، سرمایه‌گذاری مستقیم شبکه به حدود ۰.۴۱۸ میلیون دلار کاهش می‌یابد؛ اگرچه ۲۵.۵۸۵ میلیون

دلار در منابع سمت مصرف سرمایه‌گذاری می‌شود، هزینه بهره‌برداری به ۲۱۱.۹۶۱ میلیون دلار و هزینه کل به ۳۳۷.۸۶ میلیون دلار می‌رسد. بنابراین هزینه بهره‌برداری حدود ۲۰.۵۷ درصد و هزینه کل حدود ۱۱.۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. همچنین نیاز به سرمایه‌گذاری جدید در پست‌های فوق توزیع در این حالت به صفر می‌رسد. این نتیجه نشان می‌دهد منابع پراکنده و فناوری‌های چندانرژی می‌توانند عملاً جایگزین بخشی از توسعه سنتی شبکه شوند و نوعی تعویق هوشمند سرمایه‌گذاری زیرساختی ایجاد کنند.

مقاله ۱۵۳۱، «بازآرایی پویای شبکه توزیع تحت عدم قطعیت مشارکت مشتریان در برنامه‌های پاسخگویی بار با رویکرد بهینه‌سازی مقاوم مبتنی بر الگوریتم جستجوی کلاغ»

نوآوری اصلی این مقاله، کنار گذاشتن فرض غیرواقعی «مشارکت قطعی مشتریان» در پاسخگویی بار است. در عمل، ممکن است مشترک متعدّد به کاهش بار شود اما میزان واقعی مشارکت با مقدار اعلام‌شده متفاوت باشد؛ بنابراین تنظیم توپولوژی شبکه بر اساس یک مقدار ثابت DR می‌تواند در شرایط واقعی غیربهینه شود. مقاله پنج سناریوی مشارکت از صفر تا ۲۰ درصد کاهش پیک را با توزیع احتمال نرمال گسسته مدل کرده و یک تابع هدف مقاوم Mean-Minimax تعریف می‌کند که عملکرد متوسط شبکه و بدترین سناریو را هم‌زمان لحاظ می‌کند. سپس الگوریتم Crow Search برای یافتن آرایش ۲۴ ساعته‌ای استفاده می‌شود که در برابر تغییر میزان مشارکت مشتریان مقاوم باشد. به بیان دیگر، نوآوری پژوهش صرفاً استفاده از CSA نیست، بلکه ترکیب رفتار احتمالی مشترک، بازآرایی پویا و تصمیم‌گیری مقاوم در یک مدل واحد است.

نتایج روی شبکه‌های IEEE ۳۳ و ۶۹ باس نشان می‌دهند در حالت بازآرایی با فرض قطعی مشارکت ۱۰ درصدی، تلفات حدود ۲۳ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که روش مقاوم پیشنهادی کاهش حدود ۳۳ درصدی تلفات را ایجاد می‌کند. حداقل و لثاژ نیز از حدود ۰.۹۱ پروبیت در حالت پایه به ۰.۹۷ پروبیت می‌رسد و در بدترین سناریوی مشارکت نیز روش پیشنهادی نسبت به آرایش قطعی تلفات کمتری دارد. برای اطمینان از پایداری الگوریتم، ده اجرای مستقل انجام شده و

روند همگرایی پایدار گزارش شده است. تحلیل حساسیت نیز مقدار $\alpha = 0.7$ را به عنوان توازن مناسب میان عملکرد میانگین و محافظت در برابر بدترین حالت انتخاب کرده است. بنابراین ارزش کاربردی مقاله در این است که شرکت توزیع برای بهره‌برداری بهینه لازم نیست به تحقق کامل وعده پاسخگویی بار وابسته باشد؛ آرایش انتخابی از ابتدا در برابر عدم همکاری یا مشارکت کمتر از انتظار مشترکان مقاوم طراحی می‌شود.

مقاله ۱۵۳۵، «مطالعه مهندسی ارزش اصلاح روشنایی معابر میدان قائم مشهد»

نوآوری این پژوهش در به‌کارگیری کامل متدولوژی مهندسی ارزش برای تصمیم‌گیری در اصلاح یک شبکه روشنایی معابر بزرگ و چندسطحی و ترکیب آن با AHP و تحلیل NPV است. مسئله میدان قائم صرفاً تعویض چراغ یا کاهش مصرف انرژی نبوده، بلکه سرقت کابل و تجهیزات، خاموشی مکرر، کیفیت و یکنواختی روشنایی، ایمنی ترافیک و هزینه تعمیرات هم‌زمان مطرح بوده‌اند. در کارگاه مهندسی ارزش با مشارکت ۲۲ خبره، ۱۷۳ ایده خام تولید شد که ۴۶ ایده قابلیت ارزیابی داشتند و در چهار بسته شامل کلبل، تغذیه برج‌ها، پایه‌ها و راهکارهای ضد سرقت دسته‌بندی شدند. سپس ایده‌های برتر به سناریوهای اجرایی تبدیل، معیارها با AHP وزن‌دهی و هزینه چرخه عمر ۳۰ ساله با NPV محاسبه شد. این ساختار باعث شده انتخاب طرح از ترجیح مدیر یا کمترین هزینه اولیه فاصله گرفته و بر اساس نسبت کارکرد به هزینه چرخه عمر انجام شود.

نتایج برخلاف تصور اولیه مدیران نشان داد حفظ و بهینه‌سازی هر ۱۷ برج نوری، در دوره ۳۰ ساله حدود ۵۰ درصد هزینه بیشتر ایجاد می‌کند و هزینه نگهداری سالانه آن تقریباً ۴.۵ برابر برخی گزینه‌های جایگزین است، ضمن اینکه ریسک سرقت نیز کاملاً حذف نمی‌شود. گزینه «ترکیب چهار برج نوری و شبکه روشنایی هوایی» با شاخص ارزش حدود ۱.۳ و «طرح مینا بهبود یافته با پایه سیمانی» با شاخص ۱.۲۴ به عنوان گزینه‌های برتر معرفی شدند. مدل هزینه مبتنی بر NPV نیز طبق نتایج مقاله می‌تواند حدود ۳۰ درصد از هزینه چرخه عمر شبکه روشنایی بکاهد. اهمیت مقاله این است که نشان می‌دهد راه‌حل ظاهراً ارزان یا مورد علاقه مدیران الزاماً از دید چرخه عمر بهترین گزینه نیست.

و مهندسی ارزش می‌تواند ایمنی، قابلیت اطمینان، کیفیت روشنایی و هزینه را در یک تصمیم واحد ترکیب کند.

مقاله ۱۵۶۷، «برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع فعال در حضور نفوذ بالای نیروگاه‌های خورشیدی با رویکرد افزایش میزان پذیری»

نوآوری این مقاله در بررسی مسئله Hosting Capacity روی یک شبکه واقعی با نفوذ بسیار بالای خورشیدی و مقایسه هم‌زمان راهکارهای کنترلی، بهره‌برداری و توسعه‌ای است. پست کوهپایه با ۴۷.۵ مگاوات ظرفیت خورشیدی موجود و برنامه افزایش آن تا حدود ۸۷ مگاوات مدل‌سازی شده و مدل DigSILENT با اطلاعات واقعی تجهیزات، بار، GIS و اندازه‌گیری‌های بهره‌برداری اعتبارسنجی شده است. سپس راهکارهایی از کم‌هزینه‌ترین مداخلات مانند تغییر تپ و Volt-Var گرفته تا بازتوزیع تولید، Volt-Watt، مدیریت بار، فیدر اختصاصی تولید، پست جدید و BESS بررسی شده‌اند. وجه متمایز مطالعه این است که راهکارها تنها بر اساس رفع اضافه‌ولتاژ رتبه‌بندی نشده‌اند؛ برگشت توان، تلفات، انرژی از دست‌رفته نیروگاه، هزینه، پیچیدگی اجرا و منافع سرمایه‌گذار نیز وارد مقایسه شده است.

نتایج نشان می‌دهد هیچ راه‌حل منفردی برای همه شرایط مناسب نیست. برای نمونه، انتقال ۶ مگاوات تولید از فیدر ۳ به فیدر ۱۵ شرایط ولتاژی فیدر بحرانی را بهبود داده و از محدودسازی نیروگاه جلوگیری کرده است. راهبرد ترکیبی Volt-Var/Volt-Watt نیز ابتدا از توان راکتیو استفاده کرده و تنها در شرایط بحرانی تولید اکتیو را محدود می‌کند؛ طبق مقایسه مقاله، این راهبرد می‌تواند اضافه‌ولتاژ را حدود ۵ درصد کاهش دهد در حالی که کاهش تولید در حدود یک درصد باقی می‌ماند. نکته کاربردی مهم دیگر آن است که مدیریت مصرف در ظهر آفتابی الزاماً مفید نیست؛ کاهش بار ممکن است نسبت تولید به مصرف را بیشتر کرده و برگشت توان و اضافه‌ولتاژ را تشدید کند. بنابراین مقاله یک راهبرد مرحله‌ای پیشنهاد می‌کند: ابتدا استفاده از کنترل اینورتر و بازتوزیع تولید، سپس در صورت کافی نبودن، حرکت به سمت فیدر اختصاصی، پست جدید یا ذخیره‌ساز. این چارچوب برای تصمیم درباره پذیرش درخواست‌های جدید نیروگاه خورشیدی بسیار کاربردی است.

عدم قطعیت‌های تصادفی و دانشی با هزینه محاسباتی قابل قبول وارد برنامه‌ریزی شوند.

مقاله ۱۱۹۰، «تاب‌آوری شبکه‌های توزیع هوشمند با مدل خرابی چندمتغیره زمانی توسط الگوریتم چتر دریایی چندهدفه بهبود یافته»

این مقاله بر برنامه‌ریزی پیشگیرانه کوتاه‌مدت شبکه توزیع در مواجهه با آب‌وهوای شدید تمرکز دارد و برخلاف مدل‌های کلاسیک که نرخ خرابی اجزا را ثابت فرض می‌کنند، احتمال خرابی خطوط را به‌صورت ساعتی و وابسته به وضعیت جوی محاسبه می‌کند. مسئله در افق ۲۴ ساعته و با چهار تابع هدف شامل هزینه ناشی از انرژی تأمین نشده و تعمیر، هزینه بهره‌برداری منابع، هزینه کلیدزنی و بیشینه‌سازی شاخص تاب‌آوری فرمول‌بندی شده و برای بازیابی شبکه نیز جزیره‌ای شدن پویای ریزشبکه‌ها و انتقال بار از طریق کلیدهای مانور لحاظ شده است. نتایج شبکه ۳۳ باس نشان می‌دهد غربالگری پیشنهادی تعداد سناریوهای هواشناسی را حدود ۹۰ درصد کاهش داده و روش پیشنهادی نسبت به حالت بدون برنامه‌ریزی پیشگیرانه، انرژی تأمین نشده را حدود ۶۱.۵ درصد کاهش داده و در سناریوی بحرانی، شاخص تاب‌آوری را نسبت به برنامه‌ریز قطعی حدود ۱۴.۳ درصد افزایش داده است؛ ضمن آنکه هزینه کلیدزنی تقریباً یک‌سوم روش‌های رقیب گزارش شده است.

اصلی‌ترین نوآوری این پژوهش، مدل نرخ خرابی چندمتغیره و وابسته به زمان است که اثر همزمان سرعت باد، شدت بارش، رطوبت نسبی و مشخصات توپوگرافی مسیر هر خط را به‌صورت غیرخطی در نظر می‌گیرد و با افزودن یک جمله زوال تجمعی، اثر تداوم شرایط نامساعد جوی را نیز وارد احتمال خرابی می‌کند؛ بنابراین دو ساعت با شرایط جوی یکسان الزاماً در صورت داشتن سابقه متفاوت تنش جوی، احتمال خرابی یکسانی ندارند. در کنار آن، مقاله سه نوآوری مکمل دارد: استخراج خودکار سناریوهای بحرانی با خوشه‌بندی چندمعیاره داده‌های ساعتی، مدل‌سازی جزیره‌ای شدن پویای ریزشبکه‌ها و انتقال بار پس از خرابی، و انتخاب پاسخ نهایی از جبهه پارتو با ترکیب وزن آنتروپی شانون و ترجیح بهره‌بردار همراه با سنجش پایداری تصمیم. این ترکیب باعث می‌شود مدل صرفاً یک بهینه‌سازی اقتصادی نباشد، بلکه

Multi-Objective Optimization Framework for Resilient Distribution Network Planning Coordinating Battery Storage, Demand Response, and Uncertainties

این مقاله یک چارچوب برنامه‌ریزی چندهدفه برای افزایش تاب‌آوری شبکه توزیع در شرایط عدم قطعیت ارائه می‌کند که در آن تصمیم‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری شامل مکان و ظرفیت تولید پراکنده، ذخیره‌ساز باتری، میزان مشارکت پاسخگویی بار، تقویت خطوط و نصب کلیدهای خودکار به‌طور هماهنگ تعیین می‌شوند. عدم قطعیت بار و تولید تجدیدپذیر ابتدا با شبیه‌سازی مونت کارلو و سپس کاهش سناریوها با Kameans مدل شده و مسئله با سه هدف کمینه‌سازی شاخص ترکیبی تاب‌آوری-هزینه، هزینه سرمایه‌گذاری و تلفات در بدترین سناریو حل می‌شود. در شبکه ۳۳ باس IEEE، طرح بهینه شامل ۱۰۱۱۴۵ مگاوات DG، ظرفیت ۱۶ مگاوات-ساعت BESS و ۱۲ درصد پاسخگویی بار بوده و در مقایسه با NSGA-II موجب کاهش ۸.۷ درصدی هزینه، کاهش ۱۳.۳ درصدی تلفات و بهبود ۱۶ درصدی SAIDI شده است. همچنین الگوریتم پیشنهادی از نظر Hypervolume حدود ۱۸.۵ درصد بهتر، از نظر IGD حدود ۴۸ درصد بهتر و از نظر زمان اجرا ۴۱.۸ درصد سریع‌تر از NSGA-II گزارش شده است.

مهم‌ترین نوآوری مقاله، یکپارچه‌سازی عدم قطعیت، شاخص‌های اقتصادی و قابلیت اطمینان و منابع انعطاف‌پذیر در یک ابزار تصمیم‌یار عملی است. نویسندگان شاخص جدید CRCI (Composite Resilience and Cost Index) را معرفی می‌کنند که هزینه کل، تلفات توان اکتیو و SAIDI را به‌صورت نرمال شده و وزن‌دار در یک شاخص واحد ترکیب می‌کند؛ بنابراین شرکت توزیع می‌تواند با تغییر وزن‌ها، برنامه را به سمت هزینه کمتر، تلفات کمتر یا قابلیت اطمینان بیشتر هدایت کند. نوآوری دیگر، استفاده از IMOGWO بهبودیافته با پارامترهای کنترلی تطبیقی، Levy Flight، فاصله ازدحام و مدیریت قیود است که ضمن جلوگیری از همگرایی زودرس، جبهه پارتوی متنوع‌تری ایجاد می‌کند. ترکیب ۱۰۰۰ سناریوی مونت کارلو و کاهش آنها به ۱۰ سناریوی نماینده نیز باعث شده

زنجیره «شرایط جوی ← احتمال خرابی ← عملکرد پس از
خرابی ← تصمیم بهره‌برداری» را به‌صورت زمان‌مند به هم
متصل کند.