

Evaluating the Efficiency and Benchmarking of Regions in an Electricity Distribution Company Using a Public Lighting Asset Management Model

Reza Ghotboddini¹, Heydar Toossian Shandiz²

¹ Ph.D. Candidate, Faculty of Electrical and Robotic Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran,

¹r.ghotboddini@gmail.com

²Associate Professor, Engineering Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, ²Iran

htoosian@um.ac.ir

Abstract: Public lighting networks are constructed and maintained to provide social security and traffic safety. Due to the expansion of cities, the development in public lighting is inevitable. In addition to new investment, the public lighting service and maintenance program imposes high costs on distribution companies. Since performance assessment methods focus on a combination of key performance indicators and provide relative efficiency, distribution companies should identify the effective efficiency factors and then set economic goals. This research simultaneously uses a public lighting asset management model and assesses the efficiency and benchmarking of regions, and finally proposes a tool for setting economic goals for initial investment and maintenance of public lighting to Regulator and Distribution Company. This tool allows comparing costs and using manufacturer information on the lifetime of the parts. The results show that actual maintenance costs are significantly higher than maintenance costs based on the nominal lifetime of the parts.

Keywords: Asset management, Public lighting, System Dynamics

Received:2020 April 13

Accepted:2021 June 1

ارزیابی کارایی و محک زنی مناطق در یکی از شرکت های توزیع برق با استفاده از مدل مدیریت دارایی های روشنایی معابر

نوع مطالعه: پژوهشی

رضا قطب الدینی^۱، حیدر طوسیان شاندریز^۲

^۱ دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شاهرود- شاهرود- ایران،

r.ghotboddini@gmail.com

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران،

htoosian@um.ac.ir

چکیده: شرکت های توزیع برق سرویس و نگهداری روشنایی معابر را که به منظور ایجاد امنیت اجتماعی و عبور و مرور حوادث شده اند، انجام می دهند. با گسترش شهرها توسعه روشنایی معابر امری اجتناب ناپذیر است، و نتیجه آن انجام سرمایه گذاری های جدید است. علاوه بر این اجرای برنامه سرویس و نگهداری روشنایی موجود، هزینه های قابل توجهی را به شرکت های توزیع تحمیل می نماید. از آنجائی که روش های ارزیابی کارایی روی شاخص های کلیدی عملکرد تمرکز دارند و در نهایت میزان کارایی نسبی را براساس ترکیبی از شاخص های کلیدی در اختیار شرکت های توزیع قرار می دهند، لذا بررسی عوامل موثر بر کارایی و تنظیم اهداف اقتصادی بایستی بعنوان اقدام ثانویه از طریق شرکت های توزیع انجام شود. در این تحقیق با استفاده از مدل مدیریت دارایی های روشنایی معابر و بدون نیاز به اقدام ثانویه، همزمان با ارزیابی کارایی و محک زنی مناطق، ابزاری برای تنظیم اهداف اقتصادی در سرمایه گذاری اولیه و سرویس و نگهداری دوره عمر روشنایی معابر به شرکت توانیر و شرکت توزیع پیشنهاد می شود. این مدل با استفاده از اطلاعات سازندگان در خصوص عمر نامی قطعات، امکان مقایسه هزینه ها براساس عمر نامی و واقعی را برای شرکت توزیع فراهم می نماید. نتایج نشان می دهد که هزینه های نگهداری واقعی بصورت قابل توجهی بیش از هزینه های نگهداری براساس عمر نامی قطعات می باشد.

واژه های کلیدی: مدیریت دارائی، روشنایی معابر، سیستم های پویا.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

آدرس نویسنده مسئول: دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، میدان آزادی

۱. مقدمه

امنیت اجتماعی و امنیت عبور و مرور برای عابرین پیاده و وسایل نقلیه از مهم ترین دلایل ایجاد و نگهداری روشنایی معابر عمومی هستند. با توجه به وجود انحصار طبیعی در شبکه های توزیع برق و روشنایی معابر عمومی، شرکت توانیر برای پوشش دادن مطالبات امنیتی و اجتماعی مردم، نسبت به ارزیابی کارایی شرکت های توزیع و تنظیم روابط اقتصادی و فنی بین خود و شرکت های توزیع از طریق وضع استاندارد های فنی، تعرفه، جریمه و پاداش به منظور حفظ و ارتقاء کیفیت خدمات، کاهش هزینه ها و رضایتمندی مردم اقدام می نماید.

در حال حاضر شرکت های توزیع برق سرویس و نگهداری روشنایی معابر را انجام می دهند. همه ساله برای توسعه روشنایی معابر سرمایه گذاری های جدید انجام می شود. این در حالی است که اجرای برنامه سرویس و نگهداری روشنایی موجود، هزینه های قابل توجهی را به شرکت های توزیع تحمیل می نماید.

شرکت توانیر در برنامه کوتاه مدت، افزایش کارایی، کاهش هزینه و مدیریت بهینه دارایی های روشنایی معابر را مورد توجه قرار داده است. با توجه به برنامه میان مدت برای واگذاری سرویس و نگهداری روشنایی معابر به بخش خصوصی و برنامه بلند مدت برای واگذاری توأم مالکیت و نگهداری روشنایی معابر به بخش خصوصی، نیاز است تجزیه و تحلیل های انتخاب تکنولوژی، سرمایه گذاری اولیه و هزینه های دوره عمر در قالب مدل فنی و اقتصادی صورت پذیرد تا ضمن ایجاد جذابیت اقتصادی، کاهش هزینه و ارتقاء کیفیت خدمات را به دنبال داشته باشد.

میزان سرمایه گذاری اولیه و هزینه های سرویس و نگهداری بهینه در دوره عمر روشنایی معابر از مهم ترین ضرورت های تجزیه و تحلیل و مدیریت دارایی های روشنایی معابر می باشند.

در ادامه و در بخش ۲ مروری بر مقالات قبلی انجام شده است. نتیجه تحقیقات انجام شده در زمینه ارزیابی کارایی و محک زنی در بخش ۲-۱ مدیریت دارایی ها در بخش ۲-۲، کاربرد سیستم های پویا در مدل سازی فرایندها در بخش ۲-۳ و روشنایی معابر در بخش ۲-۴ مرور می شوند.

در بخش ۳ روش و فرمول بندی مدل پیشنهادی و در بخش ۴ مطالعات عددی ارائه خواهد شد و در پایان در بخش ۵ نتیجه گیری انجام می شود.

۲. مرور ادبیات موضوع

با توجه به اهمیت توزیع انرژی الکتریکی با کیفیت و حداقل هزینه، روش هایی برای ارزیابی کارایی و محک زنی به منظور دستیابی به اهداف کیفی تعریف و برای اطمینان از حصول اهداف، مکانیزم های انگیزشی اعمال می شود. این مدل ها نشان دهنده قوت و یا ضعف شرکت های توزیع در شاخص های مورد مطالعه می باشند و می تواند به

ریشه های نقاط قوت و ضعف نمی پردازند و راه کارهای عملی برای بهبود ارائه نمی دهند. در ادامه تجربیات استفاده از این مدل ها در تعدادی از کشورها مرور می شود.

۱.۲ ارزیابی کارایی و محک زنی

با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده ها برای ارزیابی کارایی شرکت های توزیع (Giannakis, Jamasb, and Pollitt ۲۰۰۵) مشخص شده، بازدهی هزینه لزوماً کیفیت سرویس را نشان نمی دهد و بهبود در کیفیت، بیشتر به سودمندی نیروی کار ارتباط دارد و در محک زنی، ارزیابی کیفیت سرویس به ارزیابی هزینه ای ترجیح دارد. با توجه به حساسیت مدل تحلیل پوششی داده ها به تغییر پارامترها در (Sadjadi and Omrani ۲۰۰۸) یک روش مقاوم به عدم قطعیت پارامترها پیشنهاد شده است، این روش برای تخمین بازدهی و رتبه بندی، روش قابل اطمینان تری است. بعضی از کشورها برای افزایش بازدهی و ساده شدن ساختار، شبکه و تأسیسات را از بازرگانی برق جدا نموده اند. علیرغم مزایا، این جدائی منجر به افزایش هزینه مستقیم، کاهش هم افزایی و افزایش هزینه معاملاتی شده است. (Baarsma et al. ۲۰۰۷). از مدل تحلیل پوششی داده ها علاوه بر استفاده در ارزیابی کارایی در حوزه توزیع انرژی الکتریکی در سایر حوزه ها نیز استفاده شده است. (رحیمی، از حسین زاده سلجوقی ۱۳۹۷) از مدل تحلیل پوششی داده ها برای ارزیابی عملکرد شبکه توزیع شرکت های تولید کننده محصولات لبنی استفاده شده است. استفاده از مدل توسعه یافته تحلیل پوششی داده ها منجر به خوشه بندی و ارزیابی عملکرد چند شرکت حقوقی متقاضی برای مشتریان اعتباری بانک ها شده است (علی حیدری بیوکی، ط؛ خادمی زارع ۱۳۹۴).

به منظور ارزیابی کارایی و افزایش بازدهی، یک مدل مرجع ثابت مهندسی تحت عنوان مدل ارزیابی کارایی شبکه معرفی شده است (Jamasb and Pollitt ۲۰۰۸) که در صورت افزایش عدم قطعیت ها و کاهش انگیزه برای نوع آوری، مشکلات محک زنی و تنظیم با این مدل پیچیده تر خواهد شد.

تجزیه و تحلیل بلند مدت سیستم برق در (Verbong and Geels ۲۰۰۷) نشان می دهد، محرک های اجتماعی برای انرژی های نو و تجدید پذیر با توجه به زیست بوم می توانند جهشی در افزایش بازدهی و کاهش هزینه های برق بوجود آورند. در (Coelli et al. ۲۰۱۳) هزینه جلوگیری از قطع تغذیه تخمین زده شده تا از آن به عنوان معیاری برای تعیین جریمه و پاداش بازدارنده و یا مشوق استفاده شود. از آب و هوا به عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در ارزیابی کارایی یاد می شود. در (Yu, Jamasb, and Pollitt ۲۰۰۹) با یک تحلیل دوجمله ای با تحلیل پوششی داده ها میزان تأثیر آب و هوا تحقیق شده است. نتایج نشان می دهد این عوامل در کارایی کلی توزیع تأثیر آنچنان قابل توجهی نداشته است.

نگهداری از جمله جایگزینی بعد از خرابی قطعه، جایگزینی مجموعه‌ای، نگهداری اقتضایی قابل دست‌بندی هستند. در (Wang ۲۰۰۲) این راهبردها برای سیستم‌های تک‌واحدی و چند واحدی دست‌بندی و مقایسه شده‌اند. در (Cho and Parlar ۱۹۹۱) مدل‌های پیشنهاد شده برای نگهداری سیستم‌های چند واحدی به تفصیل تشریح شده‌اند.

در (Morton and Stoker ۱۹۹۷) مکانیزمی برای پیش‌بینی عمر سیستم‌های میکرو الکترومکانیک معرفی شده تا اطمینان به این سیستم‌ها را افزایش دهد.

مدیریت بار بلند مدت یکی از مؤلفه‌ها در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری به موقع توسط شرکت‌های توزیع است. در (Dashti, Afsharnia, and Ghasemi ۲۰۱۰) از شاخص‌های ظرفیت بهره‌برداری و تعداد نقاط مانور در مدیریت بلندمدت بار استفاده شده است. این شاخص‌ها امکان مقایسه و مصالحه بین قابلیت اطمینان و اداره اقتصادی سیستم را فراهم می‌کنند. در (Dashti, Afsharnia, and Ghaderi ۲۰۱۰) نشان داده شده که پارانه بیشتر به مصرف کننده، هزینه‌های نهایی را افزایش می‌دهد و فعالیت‌های انجام شده شرکت‌های توزیع را کم‌اثر می‌کند. در (Dashti and Afsharnia ۲۰۱۱) با استفاده از نظریه گراف یک مدل جدید برای آنالیز تأثیر پاسخ تقاضا روی بازدهی و درآمد شرکت‌های توزیع ارائه و از آنالیز توزیع نشده برای ارزیابی کیفیت سرویس استفاده شده است. در (Dashti et al. ۲۰۱۰) زیر ساخت‌های اضطراری برای بهبود شاخص‌های توزیع برای هر فرآیند تعریف و یک مدل مفصل برای شاخص‌های مدیریت دارایی‌ها پیشنهاد شده است.

مدل پیشنهادی در این مقاله ضمن اینکه ابزاری برای تعریف چارچوب‌های هزینه‌ای برای شرکت توانیر فراهم می‌کند قادر خواهد بود نیاز شرکت‌های توزیع به یک مدل مدیریت دارایی را برآورده نمایند.

۳.۲. سیستم‌های پویا

سیستم‌های پویا اولین بار به وسیله فورستر در سال ۱۹۶۱ مطرح شد (Forrester ۱۹۶۱). یکی از مهم‌ترین دلایل استفاده از آن، امکان شبیه‌سازی رابطه علت و معلولی متغیرهاست. این رویکرد به فهم ساختار و تجزیه و تحلیل ارتباط‌های داخلی سیستم‌ها کمک می‌کند و اجازه می‌دهد تا راهبردهای مختلف را آزمایش و برای عملکرد سیستم ارزش‌یابی تأثیر تصمیم‌ها شبیه‌سازی انجام داد و از این طریق مجموعه‌ای از ابزار را برای فهم و ارتباط مدل‌ها با واقعیت فراهم آورد. از این روش بیشتر در شبیه‌سازی فرآیندهای پیچیده و متغیر با زمان اقتصاد کلان انرژی استفاده شده است ولی برای تعریف مدل‌های مدیریت منابع و دارایی‌ها در حوزه شرکت‌های توزیع استفاده نشده است.

در (Joaquim ۲۰۰۸) با استفاده از سیستم‌های پویا نشان داده شده (که به جز سیاست کاهش خسارت ناشی از تعداد و مدت‌زمان

در (Azadeh et al. ۲۰۰۹) از مجموعه‌ای از مدل‌های تحلیلی پوششی داده‌ها، تحلیلی مرزی تصادفی، تحلیلی مؤلفه اصلی و آرایه‌شناسی عددی برای ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع استفاده شده است. نتایج نشان دهنده بهبود رتبه‌بندی شرکت‌های توزیع انرژی الکتریکی بر اساس این روش است.

با توجه به اهمیت تصدیق و صحت‌گذاری مدل‌های به کار رفته، در (Azadeh, Ghaderi, and Omrani ۲۰۰۹) یک روش تلفیقی با استفاده از تحلیلی پوششی داده‌ها و تحلیلی مؤلفه اصلی به منظور صحت‌گذاری نتایج پیشنهاد و آنالیز حساسیت ورودی‌ها و خروجی‌ها انجام شده است.

با توجه به رسوخ تولید پراکنده در بخش توزیع انرژی الکتریکی، در (Cossent, Gómez, and Frías ۲۰۰۹) مروری بر قواعد تنظیم فعلی انجام و پاسخگو بودن این قواعد با شرایط جدید و تأثیر آن‌ها در کیفیت سرویس و تلفات تحقیق شده است.

در (Dashti, Yousefi, and Parsa Moghaddam ۲۰۱۳) یک مدل ارزیابی برای تعیین رابطه بین بازدهی انرژی، زیر ساخت‌ها و منابع انسانی با بازدهی کلی سیستم توزیع پیشنهاد شده است. در مدل پیشنهادی در این تحقیق نه تنها امکان ارزیابی کارایی و محک زنی مناطق برای شرکت‌های توزیع فراهم می‌شود، بلکه شرکت‌های توزیع می‌توانند به ریشه‌های قوت و ضعف عملکرد پی برده و بدون نیاز به انجام تحقیقات گسترده، راهبرد‌های جدیدی را در سرمایه‌گذاری اولیه و نگهداری در دوره عمر در پیش گیرند و به اهداف اقتصادی بهتری دست یابند.

۲.۲. مدیریت دارایی‌ها

تأمین برق مطمئن و پایدار و حداقل هزینه مستلزم تعریف راهبردهای بهینه مدیریت دارایی است. شرکت‌های توزیع باید با سرمایه‌گذاری به موقع و نگهداری مناسب، دارایی‌ها را به صورت مداوم در شرایط قابل قبولی نگهدارند. تحقیقات انجام شده در این زمینه منجر به پیشنهاد مدل‌هایی برای تنظیم و تعریف سیاست‌های کلان مدیریتی از نگاه دولت شده‌اند، اما نیاز شرکت‌های توزیع به مدل در سطوح میانی و عملیاتی را برآورده نمی‌نمایند.

وقتی که دارایی‌ها در سطح بالایی از قابلیت اطمینان قرار داشته و یا داده‌های خرابی محدود و ناقص باشند، اتخاذ تصمیم‌های مدیریت دارایی مشکل خواهد بود. در (Hoskins, Brint, and Strbac ۱۹۹۹) با جمع‌آوری مثال در دیگر صنایع یک روش عمومی برای مدیریت دارایی‌ها ارائه شده است. در (سیاح، علی؛ برادران کاظم زاده، رضا؛ سپهری، محمدمهدی؛ اسکندری ۱۳۹۶) یک مدل ریاضی برای مدیریت دارایی‌های فیزیکی و تعیین استراتژی‌های تأمین و نگهداری و تعمیرات یک دستگاه معدنی توسعه داده شده است.

در زمینه نگهداری و تعویض قطعات معیوب، صدها مدل ساخته شده است. مهم‌ترین این مدل‌ها در چند گروه از راهبردهای

قطعی برق)، تأثیر سرمایه گذاری بر کاهش خسارت ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در (Olsina, Garcés, and Haubrich, 2006) پیش بینی شده با وجود حلقه های پس خورد و تأخیر زمانی در بازار انرژی، امکان بروز رفتار غیرقابل پیش بینی در قیمت ها و عدم اطمینان به تأمین انرژی وجود دارد. در سیستم های خرده فروشی برق، سفارش زیادتر از مصرف مشتریان منجر به افزایش هزینه های خرده فروشی می شود. در (Rasjedin et al., 2012) یک مدل سیستم های پویا به منظور بررسی تأثیر شرایط آب و هوایی و قراردادهای آتی بر تولید و مصرف انرژی به منظور حداقل کردن هزینه های خرده فروشی پیشنهاد شده است. در (Moumouni, Ahmad, and Baker, 2014) با استفاده از پارامترهای رشد جمعیت، مصرف انرژی و صنایع، وضعیت تأمین و مصرف انرژی در افق ۲۰۳۰ شبیه سازی شده است تا به عنوان راهنمای خط مشی های توسعه زیرساخت های انرژی مدنظر قرار گیرد. در (Chyong Chi, Nuttall, and Reiner, 2009) از مدل سازی سیستم های پویا برای تجزیه و تحلیل سیاست های بلند مدت انرژی استفاده است.

در این مقاله از ظرفیت قابل توجه سیستم های پویا برای تجزیه و تحلیل بلند مدت و همچنین ساده سازی روابط بین متغیرها و شبیه سازی مدل مدیریت دارایی های روشنایی معابر عمومی استفاده شده است.

۲.۴. روشنایی معابر

با توجه به نسبت قابل توجه هزینه های نگهداری روشنایی معابر در دوره عمر به سرمایه گذاری اولیه، نیاز است هزینه های احتمالی تعویض اجزاء در دوره عمر چراغ ها شبیه سازی شوند. مقاله های چاپ شده در موضوع مدیریت دارایی های روشنایی معابر در نشریات محدود هستند. تحقیقات انجام شده در زمینه روشنایی معابر عمومی که نتایج آنها در نشریات به چاپ رسیده اند را می توان در موضوع های متنوعی تقسیم بندی کرد. بخشی از این تحقیقات در رابطه با میزان تأثیر روشنایی بر سلامتی، امنیت و جلوگیری از وقوع جرم است.

در (Painter, 1996) تأثیر روشنایی معابر بر وقوع و نگرانی از وقوع جرم تحقیق شده است. در (Peña-García et al., 2016) تأثیر روشنایی معابر بر احساس امنیت و سلامتی مردم تحقیق شده است. در (Rodrigues et al., 2011) یک مقایسه تجربی بین فناوری لامپ های دیودی و لامپ های بخار سدیم از منظر ادراک مردم صورت گرفته است. در (Abdul Hadi et al., 2013) چرخه عمر فناوری های روشنایی معابر برای چراغ های دیودی و چراغ های بخار سدیم ارزیابی شده است، بر اساس این تحقیق آثار زیست محیطی چراغ های دیودی نسبت به بخار سدیم کمتر است. در (Howarth and Rosenow, 2014) ارزیابی بنیادی در خصوص ممنوعیت استفاده از لامپ های رشته ای و فازهای ممنوعیت لامپ های رشته ای تشریح و تأثیر مثبت اشاعه لامپ های پربازده بحث شده است.

بخش دیگری از این تحقیقات به ارتقاء فناوری و تأثیر آن بر پارامترهای مهم روشنایی پرداخته است. در (Chen and Kane, 1982) نحوه دستیابی به کارایی بهینه لامپ های بخار سدیم پرفشار تحقیق شده است. در (Arafa and Mansour, 2015) جایگزینی بالاست های مغناطیسی با بالاست های الکترونیکی در روشنایی معابر از نظر اقتصادی تحقیق شده است. در (Mansour and Arafa, 2014) عمل کرد لامپ های بخار سدیم با بالاست الکترونیکی و بالاست مغناطیسی مطالعه و مقایسه شده است. در (Dehghani, Saghaiannejad, and Karshenas, 2009) یک بالاست الکترونیکی به صورت نظری طراحی شده و کارکرد نمونه نیمه صنعتی آن تجزیه و تحلیل شده است. در (Rico-Secades et al., 2005) یک بالاست الکترونیکی کم هزینه پیشنهاد شده است. در (Dolara et al., 2010) با معرفی یک قطعه الکترونیکی و استفاده از آن برای لامپ های بخار سدیم نشان داده شده علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی، کیفیت توان هم بهبود پیدا می کند. در (Schleich, Mills, and Dtschke, 2014) بازگشت مستقیم ناشی از جایگزینی لامپ های التهدایی و هالوژن با لامپ های فلورسنت فشرده و دیودی محاسبه شده است.

بخش دیگری از تحقیقات به استفاده از فناوری های کنترل و نظارت از راه دور روشنایی معابر و تأثیر آن در مدیریت روشنایی معابر پرداخته است. در (Casa and Veroni, 1999) اتوماسیون شبکه روشنایی معابر با استفاده از فناوری مخابرات برخط قدرت پیشنهاد شده و از آن به عنوان یک فرصت اقتصادی واقعی برای افزایش بازدهی و کاهش هزینه یاد شده است. در (Da Fonseca, Pantoni, and Brandão, 2015) توسعه فناوری استفاده از یک حسگر بی سیم که می تواند از طریق شبکه و نرم افزار چراغ را پایش و نظارت کند تحقیق شده است.

تحقیقات پراکنده ای در سایر زمینه ها انجام شده است. در (شفابخش، غ؛ محمدی، ۱۳۹۲) رفتار عابرین پیاده با مدل نیروی اجتماعی شبیه سازی شده است. در (راضی اردکانی، ح؛ احدی، ۱۳۹۳) شدت تصادفات اتوبوس های درون و برون شهری مدلسازی و تجزیه و تحلیل شده است. نتایج تحقیقات اخیر می تواند در طراحی روشنایی معابر درون و برون شهری مورد استفاده قرار گیرد و نقش روشنایی رفتار عابرین پیاده و تصادفات درون و برون شهری تحقیق شود. در (Rabaza et al., 2013) با استفاده از الگوریتم ارزیابی چندهدفه بدون استفاده از نرم افزارهای محاسباتی معمول و استفاده از رابطه بین پارامترها از جمله ارتفاع نصب و فاصله پایه ها و توان چراغ یک روش طراحی ارائه شده است. در (Bebbington, Lai, and Zitakis, 2008) ضمن بررسی مدل های قبلی تجزیه و تحلیل عمر لامپ های التهدایی، یک مدل اصلاح شده برای تجزیه و تحلیل عمر پیشنهاد شده است.

در (Radulovic, Skok, and Kirincic, 2011) تجزیه و تحلیل مدیریت انرژی روشنایی معابر به منظور تعیین ارتباط آن با بازار انرژی و

است. برای محاسبه تعداد لامپ‌های سالم با عمر j سال (جاییکه $j = 1, 2, \dots, Y$ و $T = 1, 2, \dots, Y$) از معادله (۲) استفاده شده است:

$$\begin{aligned} S_0[1] &= D[0] + N[0]; \\ S_0[2] &= D[1] + N[1]; \\ S_{j-1}[T] &= D[T-1] + N[T-1]; j=1 \end{aligned} \quad (2)$$

در این معادله $S_0[1]$ تعداد لامپ‌های جدید (عمر صفر) در سال اول است که از مجموع تعداد لامپ‌های معیوب شده در سال قبل ($D[0]$) با تعداد لامپ مربوط به چراغ‌های جدید نصب شده در سال قبل ($N[0]$) حاصل می‌شود. شایان ذکر است در ابتدای سال اول تعداد لامپ‌های معیوب سال قبل صفر است ($D[0]=0$). در ادامه معادله $S_0[2]$ تعداد لامپ‌های جدید در سال دوم است که از مجموع تعداد لامپ‌های معیوب شده در سال اول ($D[1]$) با تعداد لامپ مربوط به چراغ‌های جدید نصب شده در سال اول ($N[1]$) حاصل می‌شود. بعد از تعمیم روابط می‌توان نتیجه گرفت $S_{j-1}[T]$ (جاییکه $j=1$) تعداد لامپ‌های جدید در T است که از مجموع تعداد لامپ‌های معیوب شده در سال اول ($D[1]$) با تعداد لامپ مربوط به چراغ‌های جدید نصب شده در سال اول ($N[1]$) حاصل می‌شود. بعد از تعمیم روابط می‌توان نتیجه گرفت $S_{j-1}[T]$ (جاییکه $j=1$) تعداد لامپ‌های جدید در T است که از مجموع تعداد لامپ‌های معیوب شده ($D[T-1]$) و لامپ مربوط به چراغ‌های نصب شده جدید ($N[T-1]$) در سال ($T-1$) به دست می‌آید. لازم به ذکر است با توجه به گسسته زمان بودن مدل، فرض بر این است که در ابتدای هر سال، لامپ‌های معیوب شده در سال قبل با لامپ‌های جدید جایگزین می‌شوند. تعداد لامپ‌های سالم با عمر یکسال و بالاتر با در نظر گرفتن احتمال معیوب شدن آنها در عمرهای متفاوت از معادله (۳) قابل محاسبه است.

$$\begin{aligned} S_1[2] &= S_0[1] \cdot (1 - P_1); \\ S_2[3] &= S_1[2] \cdot (1 - P_2); \\ S_{j-1}[T] &= S_{j-2}[T-1] \cdot (1 - P_{j-1}); T \geq j; (j \neq 1) \end{aligned} \quad (3)$$

در این معادله $S_1[2]$ تعداد لامپ‌های یکساله در سال دوم است که از حاصل ضرب احتمال سالم ماندن لامپ در سال اول ($1 - P_1$) در تعداد های لامپ‌های سالم با عمر صفر $S_0[1]$ بدست می‌آید. در ادامه این معادله $S_2[3]$ تعداد لامپ‌های دو ساله در سال سوم است که از حاصل ضرب احتمال سالم ماندن لامپ در سال دوم ($1 - P_2$) در تعداد های لامپ‌های سالم با عمر یکسال $S_1[2]$ بدست می‌آید. بعد از تعمیم روابط می‌توان نتیجه گرفت $S_{j-1}[T]$ (جاییکه $j \neq 1$) تعداد لامپ‌های سالم ($j-1$) ساله در سال T است که از حاصل ضرب احتمال سالم ماندن لامپ ($1 - P_{j-1}$) در سال ($j-1$) در تعداد لامپ‌های سالم $S_{j-2}[T-1]$ با عمر ($j-2$) در سال قبل بدست می‌آید. معادله های (۲) و (۳) را می‌توان به صورت یک تابع دو ضابطه‌ای به شرح

$$S_{j-1}[T] = \begin{cases} D[T-1] + N[T-1] & ; j=1 \\ S_{j-2}[T-1] \cdot (1 - P_{j-1}) & ; T \geq j; (j \neq 1) \end{cases} \quad (4)$$

معادله (۴) دوباره نویسی کرد:

تحمل‌پذیری توسعه در مناطق شهری انجام‌شده است. تحقیق نشان می‌دهد ارتباط معنی‌دار بین سرمایه‌گذاری در مدیریت انرژی روشنایی معابر و کاهش گازهای گلخانه‌ای وجود دارد.

در (Mirzaei et al. ۲۰۱۵) یک روش جدید برای تخمین آه‌نگ خرابی لامپ‌ها ارائه شده است. تأثیر بهبود فناوری بر آه‌نگ خرابی سیستم‌های روشنایی معابر تحقیق شده و یک فرآیند برای انتخاب بهترین لامپ در بازار پیشنهاد شده ولی سایر عوامل مؤثر بر مدیریت دارایی‌های روشنایی معابر مورد توجه قرار نگرفته‌اند.

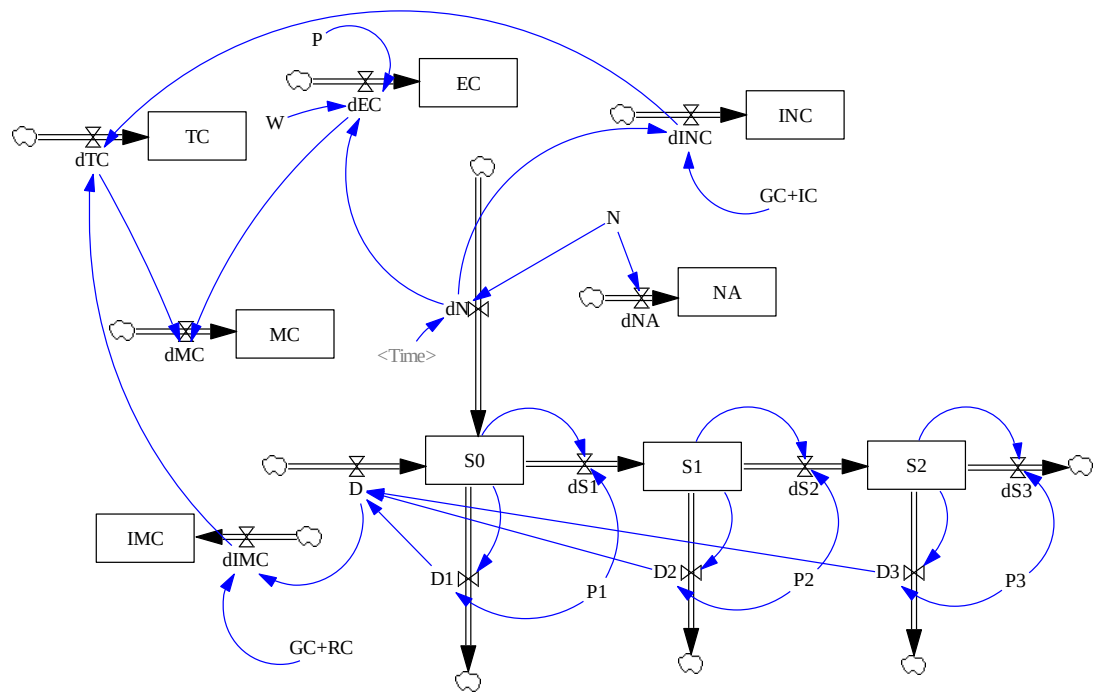
در این مقاله از مدل مدیریت دارایی‌ها برای ارزیابی کارایی و محک زنی مدیریت دارایی‌های روشنایی معابر در یکی از شرکت‌های توزیع استفاده شده است.

۳. فرمول‌بندی و بیان روش

سیستم‌های پویا اغلب برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های اجتهامی، مدیریتی و مالی پیچیده استفاده می‌شوند. در این تحقیق بر اساس سیستم‌های پویا، یک مدل زمان گسسته برای محاسبه میزان لامپ سوزی در روشنایی معابر عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اجتناب از پیچیدگی، در شکل ۱ یک مدل برای محاسبه میزان خرابی قطعات با طول عمر حداکثر سه سال نشان داده شده و در نهایت نتایج به طول عمرهای بالاتر تعمیم داده می‌شود. در شکل ۱ در p, P_1, P_2, P_3, W ثابت و $S_0, \dots, D_1, \dots, INC, IMC, EC$ متغیر از نوع متغیر سطح یا حالت هستند. پیشوند d که قبل از نام متغیرهای حالت قرار گرفته، نشان دهنده متغیرهای از نوع نرخ یا آهنگ تغییرات است. در این مدل $S_0, S_1, S_2, \dots$ به ترتیب به مفهوم تعداد لامپ سالم در ابتدای سال اول تا سوم هستند. $D_1, D_2, D_3, \dots$ به ترتیب به مفهوم تعداد لامپ سوخته در پایان سال اول تا سوم هست و $P_1, P_2, P_3, \dots$ به ترتیب احتمال معیوب شدن لامپ بعد از یک تا سه سال عمر می‌باشند. علائم اختصاری متغیرها در ادامه متن توضیح داده شده‌اند. بر اساس این مدل برای محاسبه تعداد لامپ‌های معیوب معادله (1)

$$\begin{aligned} D[1] &= D_1[1]; \\ D[2] &= D_1[2] + D_2[2]; \\ D[3] &= D_1[3] + D_2[3] + D_3[3]; \\ D[T] &= \sum_{j=2}^T D_{j-1}[T] \end{aligned} \quad (1)$$

در معادله (1) همه متغیرها بطور ضمنی وابسته به زمان هستند، به عبارتی $D_1 = D_1[T]$ جاییکه T نشان دهنده سال و همچنین زمان گسسته بودن متغیرهاست. در این معادله $D[T]$ تعداد لامپ‌های معیوب و $D_j[T]$ تعداد لامپ‌های معیوب با j سال عمر در انتهای سال T هستند. به عبارتی در پایان هر سال تعداد لامپ‌های معیوب شده با مجموع تعداد لامپ‌های معیوب شده با عمرهای متفاوت برابر



شکل ۱: شمای کلی مدل مدیریت دارایی های روشنایی معابر

بدست می آید. بعد از تعمیم روابط می توان نتیجه گرفت $D_{j-1}[T]$ (جاییکه $j \neq 1$) تعداد لامپ های معیوب $(j-1)$ ساله در سال T است که از حاصل ضرب احتمال معیوب شدن لامپ (P_{j-1}) در سال $(j-1)$ در تعداد لامپ های سالم $S_{j-2}[T]$ با عمر $(j-2)$ بدست می آید. برای مدیریت دارایی های روشنایی معابر در یک دوره چندساله، باید کلیه هزینه های سرمایه گذاری و تحمیلی در دوره عمر روشنایی معابر شناسایی شده و در مدل پیشنهادی لحاظ گردند. در این مدل برای نشان دادن هزینه های سرمایه گذاری برای نصب چراغ از معادله (۶) استفاده شده است:

$$INC[T] = N[T] \cdot (GC[T] \cdot IC[T]) \quad (6)$$

در این رابطه $INC[T]$ ، سرمایه گذاری انجام شده، $N[T]$ ، تعداد چراغ های نصب شده، $GC[T]$ هزینه چراغ و $IC[T]$ هزینه نصب در سال T هست. جایی که $T = \{1, 2, 3, \dots, Y\}$ هست. برای محاسبه هزینه های انرژی در این دوره از معادله (۷) استفاده می شود:

$$EC[T] = NA[T] \cdot W[T] \cdot P[T] \quad (7)$$

در این رابطه $EC[T]$ هزینه انرژی، $NA[T]$ مجموع تعداد چراغ ها نصب شده تا پایان سال T ، $W[T]$ انرژی مصرفی چراغ و $P[T]$ قیمت انرژی به ازای هر کیلووات ساعت در سال T هست. بخش دیگری از هزینه ها مربوط به هزینه های سرویس و نگهداری روشنایی معابر در دوره عمر هست. هزینه های تحمیلی ناشی از سوختن لامپ با توجه به عمر مفید و احتمال سوختن لامپ محاسبه

همانگونه که ملاحظه می شود برای محاسبه تعداد لامپ های جدید باید از ضابطه اول و برای محاسبه تعداد لامپ های سالم با عمر های یک سال و بیشتر بایستی از ضابطه دوم استفاده نمود. در ادامه همانگونه که در معادله (۱) اشاره شد، تعداد لامپ های معیوب شده در هر سال برابر است با مجموع تعداد لامپ های معیوب شده با عمر های متفاوت، لذا لازم است تعداد لامپ های معیوب با عمر های متفاوت را بتوان به صورت جداگانه محاسبه نمود. برای این منظور از معادله (۵) به شرح ذیل می توان استفاده کرد.

$$\begin{aligned} D_1[1] &= S_0[1] \cdot P_1; \\ D_1[2] &= S_0[2] \cdot P_1; \\ D_2[2] &= S_1[2] \cdot P_2; \\ D_{j-1}[T] &= S_{j-2}[T] \cdot P_{j-1}; \quad j \neq 1 \end{aligned} \quad (5)$$

در این معادله $D_1[1]$ تعداد لامپ های معیوب یکساله است که از حاصل ضرب احتمال معیوب شدن لامپ در سال اول عمر (P_1) در تعداد های لامپ های سالم با عمر صفر $S_0[1]$ بدست می آید. در ادامه این معادله $D_1[2]$ تعداد لامپ های معیوب یکساله در سال دوم است که از حاصل ضرب احتمال معیوب شدن لامپ در سال اول عمر (P_1) در تعداد های لامپ های سالم با عمر صفر $S_0[2]$ در سال دوم بدست می آید. همچنین $D_2[2]$ تعداد لامپ های معیوب دوساله در سال دوم است که از حاصل ضرب احتمال معیوب شدن لامپ در سال دوم عمر (P_2) در تعداد های لامپ های سالم یکساله $S_0[2]$ در سال دوم

تأثیر هر یک از عوامل بر هزینه نهایی و میزان حساسیت هزینه نهایی به تغییر عوامل اصلی از دیگر مزایای این مدل می باشد. در صورت استفاده از این مدل برای تکنولوژی های مختلف می توان بر اساس هزینه نهایی بهترین تکنولوژی را انتخاب نمود.

از آنجاییکه داده ها و اطلاعات سازندگان در خصوص مشخصه و قابلیت ها براساس شرایط آزمایشگاهی ارایه می شود، در صورت نگهداری اطلاعات سرویس و نگهداری (و در صورت عدم امکان صرفاً با در اختیار داشتن هزینه نهایی) در مناطق مختلف می توان نسبت به ارزیابی کارایی و محک زنی مناطق اقدام و چه بسا عوامل غیر نرمالی که بر هزینه ها تأثیر مستقیم دارند را کشف و به مدل اضافه نمود. در ادامه این تحقیق و با توجه به همکاری یکی از شرکت های توزیع و در اختیار گذاشتن آمار واقعی تعداد لامپ سوزی چراغ های بخار سدیم و همچنین اطلاعات توسعه این چراغ ها در ۲۰ سال گذشته، کارایی مدل پیشنهادی نشان داده می شود. شایان ذکر یکی از مزایایی که نتایج حاصله و میزان کارایی مدل را بیشتر می کند این است که تامین کننده و مشخصات لامپ های خریداری تقریباً در کل دوره ثابت بوده و در موارد استثنایی هم با توجه به توزیع متناسب بین مناطق شرایط برای مقایسه و محک زنی برای مناطق مختلف یکسان است.

۴. مطالعات عددی

در این بخش با استفاده از مدل پیشنهادی و کاتالوگ ها و گزارش های سازندگان، میزان لامپ سوزی اسمی مناطق پنجگانه یک شرکت توزیع محاسبه و در مقایسه با تعداد واقعی عمل کرد مدیریت دارایی های روشنایی معابر در مناطق مختلف مقایسه می شود.

در ابتدا برای نشان دادن صحت و کارایی مدل پیشنهادی، با فرض ثابت بودن تعداد چراغ ها در دوره ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰ سال عمر چراغ با آهنگ خرابی محاسبه شده در مرجع (Mirzaei et al. ۲۰۱۵) مقایسه می شود. همان گونه که در شکل ۲ ملاحظه می شود، اولین سری لامپ های نصب شده در زمان نصب چراغ ها به عنوان آهنگ خرابی در ابتدای سال اول معرفی شده اند. گرچه این تعریف از لحاظ محاسباتی در نتایج تأثیری ندارد ولی نمی توان اولین نصب را آهنگ خرابی معرفی نمود.



شکل ۲: آهنگ خرابی لامپ (Mirzaei et al. ۲۰۱۵)

این موضوع در مدل پیشنهادی اصلاح شده است. آهنگ خرابی با

می شود. در ادامه برای محاسبه هزینه تحمیلی ناشی از تعویض لامپ از معادله (۸) استفاده می شود:

$$IMC[T] = D[T] \cdot (RC[T] + GC[T]) \quad (8)$$

که در این رابطه $D[T]$ تعداد لامپ های معیوب شده، $RC[T]$ هزینه تعویض لامپ، $GC[T]$ قیمت لامپ در سال T هست.

در این تحقیق برای محاسبه احتمال خرابی قطعه (P_j) در سال j از تابع توزیع نرمال با معادله (۹) استفاده شده است (Yaakov Bar-Shalom, X. Rong Li ۲۰۰۱). به عبارتی این احتمال از انتگرال تابع توزیع نرمال در بازه $(-\infty, Z_j)$ به دست می آید.

$$P_j = \int_{-\infty}^{Z_j} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{Z_j^2}{2}\right)} dz \quad (9)$$

از طرفی اگر X یک تابع توزیع نرمال غیراستاندارد باشد در (Grinstead and Snell ۲۰۱۲) نشان داده شده است که Z در رابطه (۱۰) توزیع نرمال استاندارد خواهد داشت.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (10)$$

برای محاسبه Z_j از رابطه (۱۱) در (Mirzaei et al. ۲۰۱۵) استفاده شده است.

$$Z_j = \frac{(h \times j) - \mu}{\sigma} \quad (11)$$

مؤلفه h میانگین ساعت روشن بودن قطعه در یک سال، μ میانگین عمر و σ انحراف معیار است. برای اطلاع بیشتر از جزئیات نحوه محاسبه احتمال خرابی قطعات می توانید به مرجع (Mirzaei et al. ۲۰۱۵) مراجعه نمایید.

هزینه های مدیریت دارایی های روشنایی معابر از حاصل جمع هزینه های سرمایه گذاری اولیه و هزینه های تحمیلی در طول دوره بهره برداری از چراغ و مطابق با رابطه (۱۲) به دست می آید:

$$TC[T] = INC[T] + IMC[T] \quad (12)$$

که در این رابطه TC مجموع هزینه های مدیریت دارایی تا سال T هست.

با توجه به اینکه در حال حاضر قیمت انرژی روشنایی معابر نیز جزو هزینه های دوره عمر شبکه روشنایی می باشند و شرکت های توزیع باید خطی مشی هایی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره نوری روشنایی طرح ریزی نمایند. در چنین شرایطی در هر سال کل هزینه های روشنایی معابر با احتساب هزینه های انرژی از رابطه (۱۳) به دست می آیند.

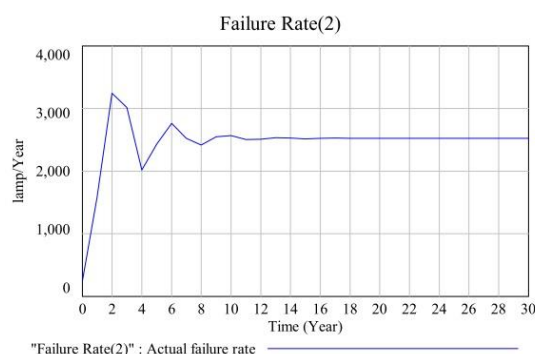
$$MC[T] = TC[T] + EC[T] \quad (13)$$

با توجه به مدل پیشنهادی، همانگونه که ملاحظه می شود برای یک دوره زمانی طولانی مدت (به اندازه دوره عمر چراغ که ۲۵ تا ۳۰ سال تخمین زده می شود)، انتخاب تکنولوژی، سرمایه گذاری اولیه و هزینه های دوره عمر با جزییات کامل قابل تجزیه و تحلیل هستند. از طرفی

بین سال های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ در یکی از شرکت های توزیع، تعداد لامپ سوزی اسمی براساس ساعت علام شده توسط سازندگان (۲۰۰۰ ساعت) محاسبه شده است. در ادامه با مقایسه تعداد لامپ سوزی واقعی و اسمی، از این اطلاعات بعنوان معیاری برای محک زنی میزان کارایی مناطق پنج گانه شرکت در حوزه بهره برداری بهیچنه از روشنایی معابر استفاده شده است.

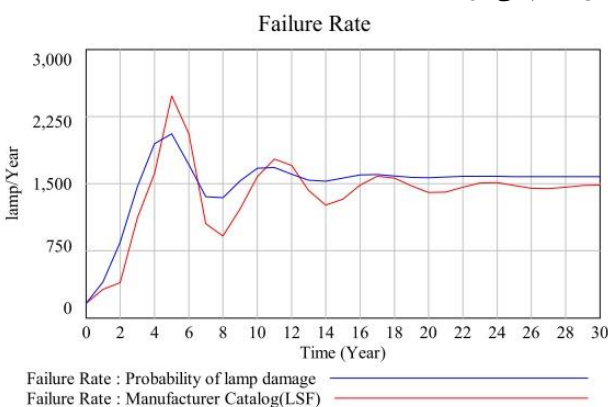
به منظور بررسی موضوع و جمع آوری اطلاعات، به آمار تفصیلی شرکت توانیر رجوع شد. شایان ذکر است آمار تفکیکی روشنایی معابر از سال ۱۳۸۲ در آمار تفصیلی منتشر شده است. با بررسی آمار شرکت توزیع مدنظر مشخص گردید دو ج هشت در آمار سال های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ رخ داده است که ج هشت آمار سال ۱۳۸۸ در سال بعد با کاهش زیادی مواجه شده است. با توجه به تغییرات زیاد آمار در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ و عدم امکان تجزیه و تحلیل براساس آمار تفصیلی شرکت توانیر با مراجعه به شرکت توزیع و اخذ مجوز استفاده از اطلاعات موجود در آن شرکت، آمار چراغ ها از واحد آمار و اطلاعات برنامه ریزی در سال های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ اخذ گردید. با بررسی جزئیات آماری مشخص شد در سال ۱۳۸۸ سیاست شرکت توانیر بر حذف کلیه لامپ های رشته ای بوده و در این شرکت هم کلیه لامپ های رشته ای با لامپ های کم مصرف جایگزین شده اند و آمار این لامپ ها (به اشتباه) در ستون سایر چراغ های کم مصرف لاکپشتی ثبت گردیده است. از طرفی اعلام شد از سال ۱۳۸۹ تحویل لامپ به مناطق برای تعویض با حساسیت بیشتر و به نسبت تعداد چراغ ها انجام شده، که این اقدام به دلیل اعتراض بعضی از واحد ها مبنی بر دقیق نبودن آمار چراغ ها، منجر به تغییر مبنای آمار براساس اعلام مناطق در سال ۱۳۹۲ شده است. با عنایت به حساسیت های موجود محقق به منظور بررسی دقیقتر موضوع و با همکاری شرکت توزیع آمار چراغ ها را از دو مرجع متفاوت آمار و اطلاعات برنامه ریزی و آمار و اطلاعات پروژه ها در مهندسی از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ استخراج نمود. در شکل ۵ نمودار رشد تعداد چراغ های لاکپشتی براساس سه مرجع متفاوت رسم گردیده است. شایان ذکر است خوشبختانه همزمان با شروع نگارش این تحقیق، جمع بندی آمار و اطلاعات مکانی (GIS) این شرکت به پایان رسیده و تعداد چراغ ها در پایان سال ۱۳۹۶ نیز در نمودار نشان داده شده است. با مقایسه آمار ها مشخص می شود که اگر مبنا را آمار و اطلاعات مکانی (GIS) قرار دهیم، نزدیکترین روند به آن، آمار انبار و پروژه هاست. با بررسی های انجام شده به نظر می رسد مهمترین دلیل این مغایرت عدم گزارش و یا عدم ثبت تعداد چراغ های منصوبه در پروژه ها با عناوینی غیر از روشنایی معابر منجمله تمامین برق متقاضیان فاقد شبکه بوده و تغییر نرم افزار و رویه های گزارش دهی در سال ۱۳۸۶ در این خطا موثر بوده اند.

استفاده از مدل پیشنهادی برای یک دوره سی ساله در شکل ۳ رسم شده است.



شکل ۳: آهنگ خرابی بر اساس مدل پیشنهادی

در ادامه برای ارزیابی صحت و کارایی استفاده از تابع توزیع نرمال برای محاسبه احتمال خراب شدن لامپ، براساس سن و با استفاده از تابع توزیع نرمال $\mu = 24000$ و $\sigma = 9740$ نرخ خرابی محاسبه شده و با نتایج آزمایشگاهی آهنگ سالم ماندن لامپ ۱ که در کاتالوگ سازندگان اعلام می شود (۲۰۱۷ vialox NAV-E) مقایسه شده است.



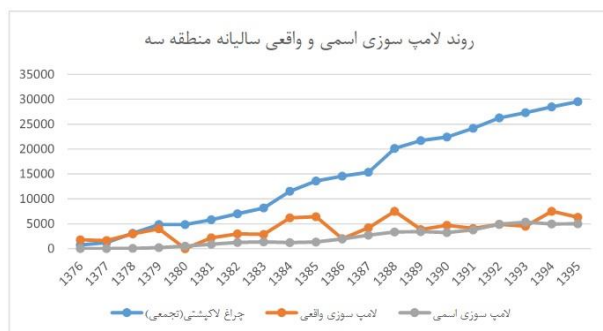
شکل ۴: آهنگ خرابی بر اساس تابع احتمال و اعلام سازنده

در شکل ۴ آهنگ خرابی لامپ در یک دوره سی ساله با استفاده از روش محاسباتی و روش آزمایشگاهی نشان داده شده است. مقایسه نتایج نشان دهنده دقت قابل قبول تخمین با استفاده از تابع توزیع احتمال نرمال هست.

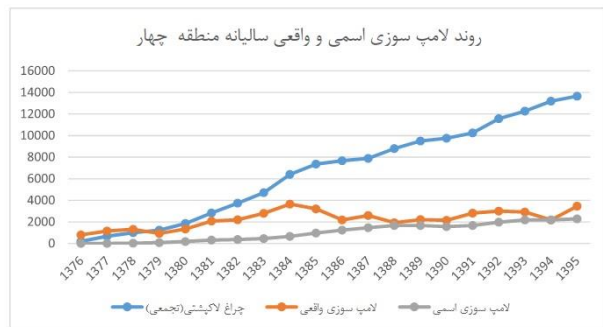
لازم به ذکر است در این شرکت توزیع، روش تعویض به صورت موردی و بعد از معیوب شدن لامپ می باشد. تعداد محدودی از شرکت ها از روش تعویض مجموعه ای براساس معیار کاهش بازدهی نوری استفاده می نمایند.

نوع تکنولوژی و متغیر های داخلی و بیرونی تاثیر به سزایی در هزینه های دوره عمر روشنایی معابر عمومی دارند. کیفیت و طول عمر کالاها، صلاحیت و کیفیت کار نیروی انسانی، نوع و نحوه استفاده از ماشین آلات و ابزار کار نمونه هایی از متغیر های داخلی و شرایط اقلیمی، اجتماعی و فرهنگی نمونه هایی از متغیر های بیرونی موثر بر هزینه های بهره برداری از روشنایی معابر هستند.

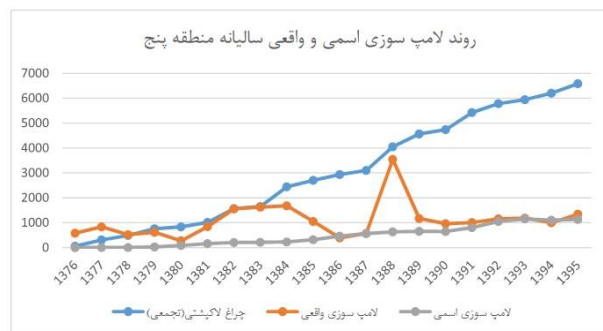
در این تحقیق با استفاده از آمار چراغ های لاکپشتی نصب شده



شکل 9: روند لامپ سوزی در منطقه ۳



شکل 10: روند لامپ سوزی در منطقه ۴



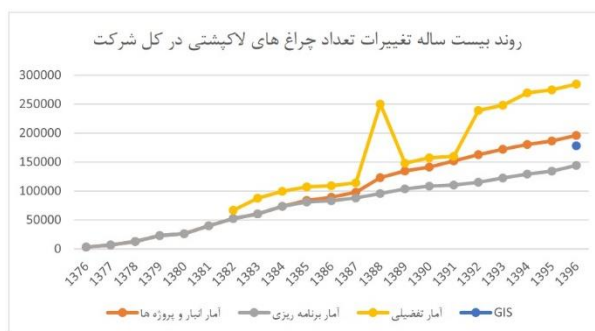
شکل 11: روند لامپ سوزی در منطقه ۵

نتایج حاصله با تعداد لامپ خارج شده از انبار برای جایگزینی لامپ‌ها در شکل 6 مقایسه شده است. همانگونه که در شکل 6 مشخص است تفاوت قابل توجهی بین تعداد لامپ سوزی اسمی و واقعی وجود دارد. از سال ۱۳۹۰ به بعد این تفاوت کاهش قابل توجهی داشته است.

در این تحقیق قصد نداریم دلایل این اختلاف را بررسی کنیم ولی همانگونه که قبلاً هم اشاره شد عوامل داخلی و بیرونی متعددی می‌توانند بر این اختلاف تاثیر گذار باشند که شناسایی آنها می‌تواند موضوع تحقیق دیگری باشد. در این تحقیق قصد داریم از لامپ سوزی اسمی بعنوان معیاری برای مقایسه مدیریت دارایی‌های روشنایی معابر در مناطق مختلف این شرکت استفاده نمایم.

در شکل 7 تا شکل 11 روند لامپ سوزی از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ براساس مدل و داده‌های واقعی به ترتیب برای منطقه یک تا پنج نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین تعداد لامپ سوزی اسمی و واقعی در مناطق وجود دارد و این تفاوت در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ سیر نزولی داشته است.

نتایج نشان می‌دهد سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از روش‌شنایی

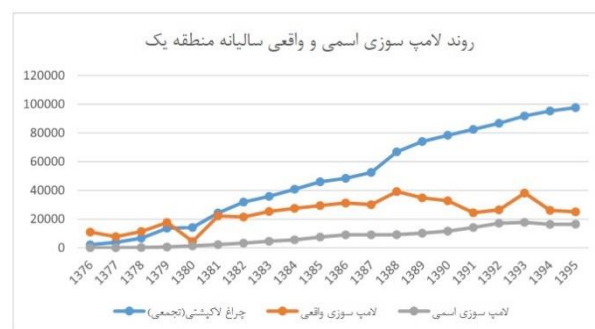


شکل 5: روند تغییرات تعداد چراغ براساس سه مرجع متفاوت

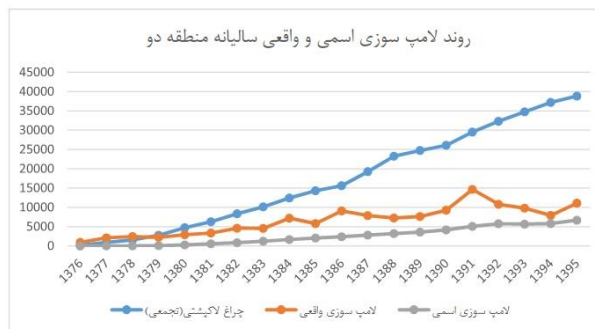
در ادامه تحقیق از آمار انبار و پروژه‌ها به منظور تجزیه و تحلیل استفاده خواهد شد. شایان ذکر است با توجه به مغایرت نزدیک به ده درصد بین آمار و اطلاعات مکانی (GIS) و آمار پروژه‌ها بایستی خطای ده درصدی در نتایج را نسبت به آنچه در عمل اتفاق می‌افتد را پذیرا باشیم. با استفاده از مدل پیشنهاد شده و با توجه به روند تغییرات تعداد چراغ‌های لاکپشتی در مدت بیست سال تعداد لامپ سوزی اسمی براساس عمر اعلام شده توسط سازنده محاسبه شده اند.



شکل 6: روند لامپ سوزی سالیانه

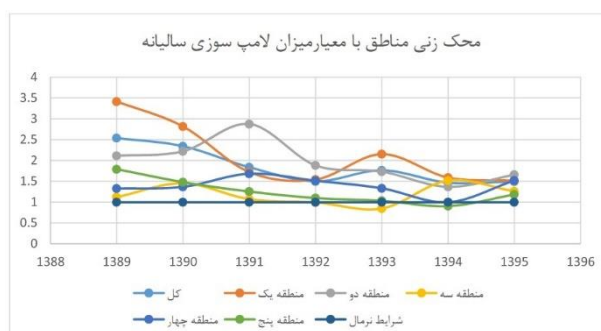


شکل 7: روند لامپ سوزی در منطقه ۱



شکل 8: روند لامپ سوزی در منطقه ۲

معابر در هفت سال اخیر منجر به بهبود نسبت تعداد لامپ سوزی واقعی به اسمی در همه مناطق شده است. از آنجاییکه تعداد چراغ ها در مناطق مختلف متفاوت است و به منظور ایجاد امکان مقایسه، نسبت تعداد لامپ سوزی واقعی به لامپ سوزی اسمی برای تک تک مناطق محاسبه و به صورت همزمان در شکل 12 نمایش داده شده است. مشاهده می شود این نسبت گرچه روند کاهشی را دارد ولی کماکان در سال ۱۳۹۵ انحراف ۵۰ درصدی بین تعداد واقعی و اسمی را در شرکت نشان می دهد. این تفاوت می تواند موضوع تحقیق برای استخراج متغیرهای داخلی و بیرونی موثر و سهم هر یک از آنها بر لامپ سوزی باشد.



شکل 12: محک زنی مناطق در سالهای اخیر

همانگونه که ملاحظه می شود لامپ سوزی منطقه ۵ نسبت به سایر مناطق مناسبترین و منطقه ۱ نامناسب ترین وضعیت را دارد. لازم به ذکر است تغییر در تعداد چراغ ها در مناطق شرکت های توزیع اجتناب ناپذیر است و تجربه و تحلیل هزینه های بهره برداری و نگهداری نیازمند مدلی است که قادر باشد با وجود تغییرات، معیارها و سنجه هایی را برای محک زنی و ارزیابی در اختیار شرکت های توزیع قرار دهد که این مدل قابلیت های لازم برای این نیاز را دارا می باشد. با در اختیار داشتن قیمت قطعات، دستمزد نصب و تعویض، مجموع انرژی مصرفی چراغ ها و نرخ انرژی، می توان براساس معادله های (۶) تا (۱۳) هزینه های نهایی را بصورت سالیانه و یا در مجموع ۳۰ سال

۵. نتیجه گیری

در اکثر شرکت های توزیع نگهداری و تعمیرات روشنیایی معابر در زمانی رخ می دهد که چراغ دچار نقص شده باشد. با توجه به اینکه لامپ سوخته با لامپ جدید جایگزین می شود، شرکت های توزیع به مرور زمان با مجموعه ای از لامپ ها با عمر متفاوت مواجه می شوند. از آنجاییکه احتمال معیوب شدن لامپ با عمر آن ارتباط مستقیم دارد و رویه ای برای ثبت و نگهداری عمر وجود ندارد، لذا پیش بینی نیاز و ارزیابی عملکرد و محک زنی مناطق بر مبنای روند عملکرد سال گذشته انجام می شود.

سازندگان لامپ مجموعه ثابتی از لامپ ها را تحت شرایط استاندارد روشن و تعداد لامپ های سوخته را بدون جایگزینی در طول زمان ثبت می نمایند. این آزمایش تا سوختن ۵۰ درصد از لامپ ها ادامه می یابد و در نهایت نتایج را تحت عنوان فاکتور بقاء لامپ منتشر می نمایند. در این تحقیق با استفاده از این داده ها، شبیه سازی برای تعداد ثابتی لامپ با شرط جایگزینی لامپ انجام شده، نتایج نشان می دهد که تعداد لامپ سوزی مخصوصاً در سالهای اول نصب نوسانات شدیدی دارد (شکل ۳) و مبنای قراردادن روند سال گذشته برای سال های اول نصب اشتباه است.

جدول 1: قیمت چراغ، اجزاء چراغ و هزینه نصب و تعویض

نام قطعه	هزینه خرید قطعه (دلار)			هزینه جایگزینی قطعه (دلار)
	حداکثر	میانگین	حداقل	
لامپ ۷۰ وات بخار سدیم	۷/۴۱	۶/۷۲	۵/۶۱	۱/۷۴
بالاست	۶/۹۴	۵/۴۷	۴/۰۴	۲/۴
ایگنیتور (استارتر)	۴/۵۸	۳/۹۲	۲/۷۸	۲/۴
خازن	۲/۰۸	۱/۵۹	۰/۹	۲/۴
سریچ (سوکت)	۰/۹۹	۰/۶۶	۰/۴۱	۲/۴
چراغ ۷۰ وات بخار سدیم	۴۲/۴	۳۵/۳۹	۳۱/۷۸	۲/۶۵

جدول ۲: آمار بیست ساله تعداد چراغ در مناطق پنجگانه یکی از شرکت های توزیع

دهه اول	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385
منطقه ۱	2,166	3,815	6,692	13,608	14,130	24,286	31,884	35,904	40,805	46,027
منطقه ۲	202	909	1,540	2,781	4,722	6,258	8,353	10,137	12,440	14,293
منطقه ۳	745	1,219	3,085	4,858	4,858	5,817	7,019	8,172	11,528	13,601
منطقه ۴	196	683	994	1,239	1,861	2,826	3,733	4,713	6,408	7,353
منطقه ۵	59	309	490	759	833	1,015	1,566	1,653	2,444	2,704
کل	3,368	6,935	12,801	23,245	26,404	40,202	52,555	60,579	73,625	83,978
دهه دوم	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395
منطقه ۱	48,452	52,452	66,846	74,070	78,362	82,526	86,742	91,869	95,309	97,676
منطقه ۲	15,621	19,250	23,243	24,731	26,069	29,502	32,309	34,725	37,176	38,853
منطقه ۳	14,568	15,345	20,156	21,708	22,435	24,197	26,259	27,305	28,463	29,538
منطقه ۴	7,667	7,885	8,805	9,505	9,749	10,256	11,560	12,262	13,184	13,654
منطقه ۵	2,936	3,098	4,053	4,569	4,737	5,424	5,789	5,940	6,206	6,584
کل	89,244	98,030	123,103	134,583	141,352	151,905	162,659	172,101	180,338	186,305

از آنجایی که اجرای برنامه سرویس و نگهداری روشنائی معابر، هزینه‌های قابل توجهی را به شرکت های توزیع تحمیل می‌نماید با استفاده از نتایج این تحقیق همزمان با ارزیابی کارایی و محک زنی مناطق، ارزیابی برای تنظیم اهداف اقتصادی و مصالحه بین سرمایه‌گذاری اولیه و سرویس و نگهداری دوره عمر روشنائی معابر برای شرکت توزیع فراهم گردیده است.

نتایج نشان می‌دهد که هزینه‌های لامپ سوزی واقعی شامل قیمت کالا و هزینه‌های تعویض بصورت قابل توجهی در مقایسه با منطقه ۵ که الگوی مثبت در این تحقیق تشخیص داده شده بیش از هزینه براساس عمر اسمی لامپ می‌باشد و نیاز است سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از روشنائی معابر در سایر مناطق بازنگری شوند.

با توجه به اینکه عوامل غیر نرمال متفاوت و متنوعی بر کارایی در بخش روشنائی معابر موثر هستند موضوع باز برای تحقیقات بعدی استخراج این عوامل و تخمین تاثیر آنها بر افزایش هزینه‌ها و وارد کردن این متغیرها در مدل و توسعه مدل به یک مدل کامل تر برای مدیریت دارایی‌های روشنائی معابر می‌باشد

توسعه غیر یکنواخت سالیانه شبکه های روشنائی معابر بر پیچیدگی تحلیل‌ها می‌افزاید و معیار مورد نیاز برای ارزیابی مناطق را با چالش جدی مواجه می‌کند. ابزار فراهم شده در این تحقیق ضمن رفع این چالش، امکان ارزیابی در هر منطقه را فراهم می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد رفتار نگهداری و تعمیرات منطقه ۵ (شکل ۱۱) بین سال‌های ۸۶ تا ۹۵ با تخمین لامپ سوزی اسمی بیشترین مطابقت را دارد و رفتار نگهداری و تعمیرات منطقه ۱ (شکل ۷) بین سال‌های ۸۲ تا ۹۵ فاصله معنی داری با لامپ سوزی اسمی دارد که جای بررسی بیشتر را برای مناطق و ناظر فراهم می‌نماید.

شرکت توانیر و شرکت های توزیع علاقمند به معرفی نمونه های مثبت در همه زمینه ها منجمله نگهداری روشنائی معابر برای ترغیب و در مواردی محک زنی هستند. ابزار فراهم شده در این تحقیق امکان محک زنی مناطق را با یکدیگر فراهم نموده است. با نرمالیزه کردن لامپ سوزی واقعی به اسمی شرایط مقایسه مناطق با یکدیگر فراهم گردیده است. نتایج نشان می‌دهد روند بهبود شاخص برای همه مناطق در طول زمان مثبت بوده و بیشینه این شاخص از ۳.۵ به ۱.۵ تقلیل یافته است (شکل ۱۲). همچنین نتایج نشان می‌دهد منطقه ۵ بهترین عملکرد را داشته و رفتار آن می‌تواند بعنوان الگویی به سایر مناطق تسری داده شود.

۶. مراجع

Emirates.” *Energy for Sustainable Development* 17(5): 438–50.

Arafa, Osama M., and Ahmed A. Mansour. 2015. “Economic Study of Replacing Conventional Ballast with Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamps Used in Public Lighting in Egypt.” *Journal of Electrical Systems and Information Technology* 2(1): 120–32.

Abdul Hadi, Sabina, Muna R. Al Kaabi, Meshayel O. Al Ali, and Hassan A. Arafat. 2013. “Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Streetlight Technologies for Minor Roads in United Arab

- Cost) in Electricity Distribution Sector.” *Energy* 35(12): 4996–5007.
- Dashti, Reza, Saeed Afsharnia, and Hassan Ghasemi. 2010. “A New Long Term Load Management Model for Asset Governance of Electrical Distribution Systems.” *Applied Energy* 87(12): 3661–67.
- Dashti, Reza, Shaghayegh Yousefi, and Mohsen Parsa Moghaddam. 2013. “Comprehensive Efficiency Evaluation Model for Electrical Distribution System Considering Social and Urban Factors.” *Energy* 60: 53–61.
- Dehghani, Majid, Seid Mortaza Saghaiannejad, and Hamid Reza Karshenas. 2009. “Electronic Ballast for HPS Lamps with Intrinsic Power Regulation over Lamp Life.” *Journal of Power Electronics* 9(4): 526–34.
- Dolara, A, R Faranda, S Guzzetti, and S Leva. 2010. “Power Quality in Public Lighting Systems.” In *Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010* 14, 1–7.
- Da Fonseca, Cleber Costa, Rodrigo Palucci Pantoni, and Dennis Brandão. 2015. “Public Street Lighting Remote Operation and Supervision System.” *Computer Standards and Interfaces* 38: 25–34.
- Forrester, Jay W. 1961. *Industrial Dynamics*. Portland, Or Productivity Press.
- Giannakis, Dimitrios, Tooraj Jamasb, and Michael Pollitt. 2005. “Benchmarking and Incentive Regulation of Quality of Service: An Application to the UK Electricity Distribution Networks.” *Energy Policy* 33(17): 2256–71.
- Grinstead, Charles Miller, and James Laurie Snell. 2012. *Introduction to Probability*. American Mathematical Soc.
- Hoskins, R.P., A.T. Brint, and G. Strbac. 1999. “A Structured Approach to Asset Management within the Electricity Industry.” *Utilities Policy* 7(4): 221–32.
- Howarth, Nicholas A A, and Jan Rosenow. 2014. “Banning the Bulb: Institutional Evolution and the Phased Ban of Incandescent Lighting in Germany.” *Energy Policy* 67: 737–46.
- Jamasb, Tooraj, and Michael Pollitt. 2008. “Reference Models and Incentive Regulation of Electricity Distribution Networks: An Evaluation of Sweden’s Network Performance Assessment Model (NPAM).” *Energy Policy* 36(5): 1788–1801.
- Joaquim, Alcídio. 2008. “A System Dynamics Model for Simulation of the Impact of the Regulatory Policies in the Electricity Distribution Market.” (September).
- Mansour, Ahmed A., and Osama A. Arafa. 2014. “Comparative Study of 250W High Pressure Sodium Lamp Operating from Both Conventional and Electronic Ballast.” *Journal of Electrical Systems and Information Technology* 1(3): 234–54.
- Mirzaei, Mohammad Javad, Reza Dashti, Ahad Kazemi, and Mohammad Hassan Amiroun. 2015. “An Asset-Management Model for Use in the
- Azadeh, A., S.F. Ghaderi, and H. Omrani. 2009. “A Deterministic Approach for Performance Assessment and Optimization of Power Distribution Units in Iran.” *Energy Policy* 37(1): 274–80.
- Azadeh, A., S.F. Ghaderi, H. Omrani, and H. Eivazy. 2009. “An Integrated DEA–COLS–SFA Algorithm for Optimization and Policy Making of Electricity Distribution Units.” *Energy Policy* 37(7): 2605–18.
- Baarsma, Barbara, Michiel de Nooij, Weero Koster, and Cecilia van der Weijden. 2007. “Divide and Rule. The Economic and Legal Implications of the Proposed Ownership Unbundling of Distribution and Supply Companies in the Dutch Electricity Sector.” *Energy Policy* 35(3): 1785–94.
- Bebbington, Mark, Chin-diew Lai, and Ričardas Zitikis. 2008. “Lifetime Analysis of Incandescent Lamps: The Menon-Agrawal Model Revisited.” *THEORY & APPLICATIONS* 1(1990): 97–108.
- Casa, G, and F Veroni. 1999. “A New Way to Manage Public Lighting.” *Metering and Tariffs for Energy Supply, 1999. Ninth International Conference on (Conf. Publ. No. 462)* (462): 91–95.
- Chen, Kao A O, and Raymond M Kane. 1982. “Achieving Optimum Performance in a High Pressure Sodium Lighting System.” *IEEE Transactions on Industry Applications* 1(4): 416–23.
- Cho, Danny I., and Mahmut Parlar. 1991. “Invited Review A Survey of Maintenance Models for Multi- Unit Systems.” *European Journal of Operational Research* 51: 1–23.
- Chyong Chi, Kong, William J. Nuttall, and David M. Reiner. 2009. “Dynamics of the UK Natural Gas Industry: System Dynamics Modelling and Long-Term Energy Policy Analysis.” *Technological Forecasting and Social Change* 76(3): 339–57.
- Coelli, Tim J., Axel Gautier, Sergio Perelman, and Roxana Saplacan-Pop. 2013. “Estimating the Cost of Improving Quality in Electricity Distribution: A Parametric Distance Function Approach.” *Energy Policy* 53: 287–97.
- Cossent, Rafael, Tomás Gómez, and Pablo Frías. 2009. “Towards a Future with Large Penetration of Distributed Generation: Is the Current Regulation of Electricity Distribution Ready? Regulatory Recommendations under a European Perspective.” *Energy Policy* 37(3): 1145–55.
- Dashti, Reza, and Saeed Afsharnia. 2011. “Demand Response Regulation Modeling Based on Distribution System Asset Efficiency.” *Electric Power Systems Research* 81(2): 667–76.
- Dashti, Reza, Saeed Afsharnia, Behnam Bayat, and Ali Barband. 2010. “Energy Efficiency Based Asset Management Infrastructures in Electrical Distribution System.” *2010 IEEE International Conference on Power and Energy*: 880–85.
- Dashti, Reza, Saeed Afsharnia, and Farid Ghaderi. 2010. “AGA (Asset Governance Assessment) for Analyzing Affect of Subsidy on MC (Marginal

- Wang, Hongzhou. 2002. "A Survey of Maintenance Policies of Deteriorating Systems." *European Journal of Operational Research* 139(3): 469–89.
- Yaakov Bar-Shalom, X. Rong Li, Thiagalingam Kirubarajan. 2001. *Estimation with Applications to Tracking and Navigation*. John Wiley Sons.
- Yu, William, Tooraj Jamasb, and Michael Pollitt. 2009. "Does Weather Explain Cost and Quality Performance? An Analysis of UK Electricity Distribution Companies." *Energy Policy* 37(11): 4177–88.
- راضی اردکانی، ح؛ احدی، م. ۱۳۹۳. "مدل سازی و تحلیل شدت تصادفات اتوبوس‌های درون و برون شهری." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۲(۳۸): ۵۹–۷۴.
- رحیمی، از حسین زاده سلجوقی، ف. ۱۳۹۷. "کارایی هزینه و بازده به مقیاس در یک زنجیره تامین شبکه دو مرحله‌ای." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۶(۵۵): ۶–۶.
- سیاح، علی؛ برادران کاظم زاده، رضا؛ سپهری، محمدهدی؛ اسکندری، حمیدرضا. ۱۳۹۶. "تعیین استراتژی مدیریت دارایی فیزیکی براساس فاکتورهای تامین، نگهداری و تعمیرات." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۵(۵۱): ۱–۱۳.
- شفابخش، غ؛ محمدی، م. ۱۳۹۲. "شبیه‌سازی حرکت عابرین پیاده با استفاده از مدل نیروی اجتماعی." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۱(۳۴): ۴۹–۶۲.
- علی حیدری بیوکی، ط؛ خادمی زارع، ح. ۱۳۹۴. "توسعه روش تحلیل پوششی داده‌ها به منظور خوشه‌بندی مشتریان اعتباری بانک‌ها." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۳(۴۱): ۵۹–۷۴.
- شفابخش، غ؛ محمدی، م. ۱۳۹۲. "شبیه‌سازی حرکت عابرین پیاده با استفاده از مدل نیروی اجتماعی." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۱(۳۴): ۴۹–۶۲.
- اردکانی، ر؛ احدی، م. ۱۳۹۳. "مدل سازی و تحلیل شدت تصادفات اتوبوس‌های درون و برون شهری." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۲(۳۸): ۵۹–۷۴.
- Evaluation and Regulation of Public-Lighting Systems." *Utilities Policy* 32: 19–28.
- Morton, A C, and M S Stoker. 1997. "Series Editors." In *Archaeology*, springer, 2000–2000.
- Moumouni, Yacouba, Sajjad Ahmad, and R Jacob Baker. 2014. "A System Dynamics Model for Energy Planning in Niger." *International Journal of Energy and Power Engineering* 3(6): 308–22.
- Olsina, Fernando, Francisco Garcés, and H. J. Haubrich. 2006. "Modeling Long-Term Dynamics of Electricity Markets." *Energy Policy* 34(12): 1411–33.
- Painter, Kate. 1996. "The Influence of Street Lighting on Crime and Fear of Crime." *Landscape and Urban Planning* 35(28): 193–201.
- Peña-García, A et al. 2016. "Considerations about the Impact of Public Lighting on Pedestrians' Perception of Safety and Well-Being." *Safety science* 89: 315–18.
- Rabaza, O., A. Peña-García, F. Pérez-Ocón, and D. Gómez-Lorente. 2013. "A Simple Method for Designing Efficient Public Lighting, Based on New Parameter Relationships." *Expert Systems with Applications* 40(18): 7305–15.
- Radulovic, Dusko, Srdjan Skok, and Vedran Kirincic. 2011. "Energy Efficiency Public Lighting Management in the Cities." *Energy* 36(4): 1908–15.
- Rasjadin, Roesfiansjah, Arun Kumar, Firoz Alam, and Shougi Abosuliman. 2012. "A System Dynamics Conceptual Model on Retail Electricity Supply and Demand System to Minimize Retailer's Cost in Eastern Australia." *Procedia Engineering* 49: 330–37.
- Rico-Secades, Manuel et al. 2005. "Complete Low-Cost Two-Stage Electronic Ballast for 70-W High-Pressure Sodium Vapor Lamp Based on Current-Mode-Controlled Buck-Boost Inverter." *IEEE Transactions on Industry Applications* 41(3): 728–34.
- Rodrigues, Cláudio R B S et al. 2011. "An Experimental Comparison between Different Technologies Arising for Public Lighting: LED Luminaires Replacing High Pressure Sodium Lamps." *Proceedings - ISIE 2011: 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*: 141–46.
- Sadjadi, S. J., and H. Omrani. 2008. "Data Envelopment Analysis with Uncertain Data: An Application for Iranian Electricity Distribution Companies." *Energy Policy* 36(11): 4247–54.
- Schleich, Joachim, Bradford Mills, and Elisabeth D?tschke. 2014. "A Brighter Future? Quantifying the Rebound Effect in Energy Efficient Lighting." *Energy Policy* 72: 35–42.
- Verbong, Geert, and Frank Geels. 2007. "The Ongoing Energy Transition: Lessons from a Socio-Technical, Multi-Level Analysis of the Dutch Electricity System (1960-2004)." *Energy Policy* 35(2): 1025–37.
- Vialox NAV-E. 2017.