**Iranian Electric Industry Journal**
**Quality & Productivity**
**P.P 1-13**

**Vol. 10 / No. 2/ Summer 2021**
**ISSN 2322-2344**
**eISSN 2717-1639**

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

Reza Ghotboddini[1], Heydar Toossian Shandiz[2]

[1] *Ph.D. Candidate, Faculty of Electrical and Robotic Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran,*
[1]*r.ghotboddini@gmail.com*
[2]*Associate Professor, Engineering Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad,* [2]*Iran*
*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**

**Iranian Electric Industry Journal**
**Quality & Productivity**
**ص.ص 1-13**

**Vol. 10 / No. 2/ Summer 2021**
**ISSN 2322-2344**
**eISSN 2717-1639**

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

نوع مطالعه: پژوهشی

رضا قطب الدینی[1]، حیدر طوسیان شاندیز[2]

[1]دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شاهرود- شاهرود- ایران،
r.ghotboddini@gmail.com
[2]دانشیار دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد ایران،
htoosian@um.ac.ir

**چکیده:** **شرکت‌های توزیع برق سرویس و نگهداری روشنایی معابر را که به منظور ایجاد امنیت اجتماعی و عبور ومرور احداث شده اند، انجام می دهند. با گسترش شهرها توسعه روشنایی معابر امری اجتناب ناپذیر است، و نتیجه آن انجام سرمایه‌گذاری‌های جدید است. علاوه بر این اجرای برنامه سرویس و نگهداری روشنایی موجود، هزینه‌های قابل‌توجهی را به شرکت های توزیع تحمیل می‌نماید. 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 اقدامی 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 سرمایه‌گذاری 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 می‌نماید. نتایج نشان می دهد که هزینه‌های نگهداری واقعی بصورت قابل توجهی بیش از هزینه های نگهداری براساس عمر نامی قطعات می باشد.**

**واژه‌های کلیدی:** **مدیریت دارائی، روشنایی معابر، سیستم‌های 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 مهم‌ترین دلایل ایجاد و نگهداری روشنایی معابر عمومی هستند. با توجه به وجود انحصار طبیعی در شبکه‌های 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 هزینه‌ها و رضایتمندی مردم اقدام می نماید.

در حال حاضر شرکت‌های توزیع برق سرویس و نگهداری روشنایی معابر را انجام می دهند. همه ساله برای توسعه روشنایی معابر سرمایه‌گذاری‌های جدید انجام می‌شود. این در حالی است که اجرای برنامه سرویس و نگهداری روشنایی موجود، هزینه‌های قابل‌توجهی را به شرکت های توزیع تحمیل می‌نماید.

شرکت توانیر در برنامه کوتاه‌مدت، افزایش کارایی، کاهش هزینه و مدیریت بهینه دارایی‌های روشنایی معابر را موردتوجه قرار داده است. با توجه به برنامه میان‌مدت برای واگذاری سرویس و نگهداری روشنایی معابر به بخش خصوصی و برنامه بلندمدت برای واگذاری توأم مالکیت و نگهداری روشنایی معابر به بخش خصوصی، نیاز است تجزیه‌وتحلیل‌های انتخاب تکنولوژی، سرمایه گذاری اولیه و هزینه های دوره عمر در قالب مدل فنی و اقتصادی صورت‌پذیرتا ضمن ایجاد جذابیت اقتصادی، کاهش هزینه و ارتقا کیفیت خدمات را به دنبال داشته باشد.

میزان سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های سرویس و نگهداری بهینه در دوره عمر روشنایی معابر از مهم‌ترین ضرورت های تجزیه‌وتحلیل و مدیریت دارایی‌های روشنایی معابر می‌باشند.

در ادامه و در بخش ۲ مروری بر مقالات قبلی انجام شده است. نتیجه تحقیقات انجام شده درزمینه ارزیابی کارایی و محک زنی در بخش ۲-۱ مدیریت دارایی ها در بخش ۲-۲، کاربرد سیستم های پویا در مدل‌سازی فرآیندها در بخش۲-۳ و روشنایی معابر در بخش ۲-۴ مرور می‌شوند.

در بخش ۳ روش و فرمول‌بندی مدل پیشنهادی و در بخش ۴ مطالعات عددی ارائه خواهد شد و در پایان در بخش ۵ نتیجه‌گیری انجام می‌شود.

## ۲. مرور ادبیات موضوع

با توجه به اهمیت توزیع انرژی الکتریکی باکیفیت 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 مدل‌ها نشان‌دهنده قوت و یا ضعف شرکت های توزیع در شاخص‌های موردمطالعه می‌باشند ولی به ریشه‌های نقاط قوت و ضعف نمی‌پردازند و راه‌کارهای عملی برای بهبود ارائه نمی‌دهند. در ادامه تجربیات استفاده از این مدل‌ها در تعدادی از کشورها مرور می‌شود.

### ۲.۱ ارزیابی کارایی و محک زنی

با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده ها برای ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع( Giannakis, Jamasb, and Pollitt۲۰۰۵) مشخص شده، بازدهی هزینه لزوماً کیفیت سرویس را نشان نمی‌دهد و بهبود در کیفیت، بیشتر به سودمندی نیروی کار ارتباط دارد و در محک‌زنی، ارزیابی کیفیت سرویس به ارزیابی هزینه‌ای ترجیح دارد. با توجه به حساسیت مدل تحلیل پوششی داده ها به تغییر پارامتر ها در( Sadjadi and Omrani۲۰۰۸) یک روش مقاوم به عدم قطعیت پارامتر ها پیشنهاد شده است، این روش برای تخمین بازدهی و رتبه‌بندی، روش قابل‌اطمینان‌تری 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 هم‌افزایی و افزایش هزینه معامله 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. در(رحیمی, ا; 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).

به‌منظور ارزیابی کارایی و افزایش بازدهی، یک مدل مرجع ثابت مهندسی تحت عنوان مدل ارزیابی کارایی شبکه معرفی شده است ( Jamasb and Pollitt۲۰۰۸) که در صورت افزایش عدم قطعیت‌ها و کاهش انگیزه برای نوع آوری ، مشکلات محک‌زنی و تنظیم با این مدل پیچیده‌تر خواهد شد.

تجزیه‌وتحلیل بلندمدت سیستم برق در( Verbong and Geels ۲۰۰۷) نشان می‌دهد، محرک های اجتماعی برای انرژی های نو و تجدید پذیر با توجه به زیست‌بوم می توانند جهشی در افزایش بازدهی و کاهش هزینه‌های برق بوجود آورند. در( Coelli et al. ۲۰۱۳) هزینه جلوگیری از قطع تغذیه تخمین زده‌شده تا از آن به‌عنوان معیاری برای تعیین جریمه و پاداش بازدارنده و یا مشوق استفاده شود. از آب‌و هوا به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر در ارزیابی کارایی یاد می شود. در( Yu, Jamasb, and Pollitt۲۰۰۹) با یک تحلیل دومرحله‌ای با تحلیل پوششی داده‌ها میزان تأثیر آب‌و هوا تحقیق شده است. نتایج نشان می‌دهد این عامل در کارایی کلی توزیع تأثیر آن‌چنان قابل‌توجهی نداشته است.

در( Azadeh et al. ۲۰۰۹) از مجموعه‌ای از مدل‌های تحلیل پوششی داده ها ، تحلیل مرزی تصادفی، تحلیل مؤلفه اصلی و آرایه‌شناسی عددی برای ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع استفاده‌شده است. نتایج نشان دهنده بهبود رتبه‌بندی شرکت های توزیع انرژی الکتریکی بر اساس این روش است.

با توجه به اهمیت تصدیق و صحه‌گذاری مدل‌های بکار رفته، در( Azadeh, Ghaderi, and Omrani ۲۰۰۹) یک روش تلفیقی با استفاده از تحلیل پوششی داده ها و تحلیل مؤلفه اصلی به‌منظور صحه‌گذاری نتایج پیشنهاد و آنالیز حساسیت ورودی ها و خروجی ها انجام‌شده است.

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

در مدل پیشنهادی در این تحقیق نه‌تنها امکان ارزیابی کارایی و محک زنی مناطق برای شرکت های توزیع فراهم می‌شود، بلکه شرکت های توزیع می‌تواند به ریشه‌های قوت و ضعف عملکرد پی برده و بدون نیاز به انجام تحقیقات گسترده، راهبرد های جدیدی را در سرمایه گذاری اولیه و نگهداری در دوره عمر در پیش‌گیرند و به اهداف اقتصادی بهتری دست یابند.

## ۲. ۲. مدیریت دارایی ها

تأمین برق مطمئن و پایدار و با حداقل هزینه مستلزم تعریف راهبردهای بهینه مدیریت دارایی است. شرکت های توزیع باید با سرمایه‌گذاری به‌موقع 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 شرکت های توزیع به مدل در سطوح میانی و عملیاتی را برآورده نمی‌نمایند.

وقتی‌که 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 دارایی های فیزیکی و تعیین استراتژی های تامین و نگهداری و تعمیرات یک دستگاه معدنی توسعه داده شده است.

درزمینه نگهداری و تعویض قطعات معیوب، صدها مدل ساخته‌شده است. مهمترین این مدل‌ها در چند گروه از راهبرد های نگهداری از جمله جایگزینی بعد از خرابی قطعه، جایگزینی مجموعه‌ای، نگهداری اقتضایی قابل دسته‌بندی هستند. در( Wang ۲۰۰۲) این راهبردها برای سیستم‌های تک‌واحدی و چند واحدی دسته‌بندی و مقایسه شده‌اند. در( Cho and Parlar ۱۹۹۱) مدل‌های پیشنهاد شده برای نگهداری سیستم‌های چند واحدی به تفضیل 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 به‌موقع توسط شرکت های 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 یارانه بیشتر به مصرف کننده، هزینه‌های نهایی را افزایش می‌دهد و فعالیت های انجام شده شرکت های توزیع را کم اثر می‌کند. در( Dashti and Afsharnia ۲۰۱۱) با استفاده از نظریه گراف یک مدل جدید برای آنالیز تأثیر پاسخ تقاضا روی بازدهی و درآمد شرکت های توزیع ارائه و از انرژی 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 شرکت های توزیع به یک مدل مدیریت دارایی را برآورده نمایند.

## ۲. ۳. سیستم های پویا

سیستم‌های پویا اولین بار به‌وسیله فورستر در سال ۱۹۶۱ مطرح شد( Forrester ۱۹۶۱). یکی از مهم‌ترین دلایل استفاده از آن، امکان شبیه‌سازی رابطه علت و معلولی متغیرها است. این رویکرد به فهم ساختار و تجزیه‌وتحلیل ارتباط‌های داخلی سیستم‌ها کمک می‌کند و اجازه می‌دهد تا راهبردهای مختلف را آزمایش و برای عملکرد سیستم و ارزیابی تأثیر تصمیم‌ها شبیه سازی انجام داد و از این طریق مجموعه‌ای از ابزار را برای فهم و ارتباط مدل‌ها با واقعیت فراهم آورد.

از این روش بیشتر در شبیه سازی فرآیندهای پیچیده و متغیر بازمان اقتصاد کلان انرژی استفاده‌شده است ولی برای تعریف مدل‌های مدیریت منابع و دارایی ها در حوزه شرکت های توزیع استفاده نشده است.

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

قطعی برق)، تأثیر سرمایه‌گذاری بر کاهش خسارت‌ها کمتر موردتو جه قرارگرف ته ا ست. در ( Olsina, Garcés, and Haubrich۲۰۰۶) پیش‌بینی‌شده باوجود حل قه‌های پس خورد و تأخیر ز مانی در بازار انرژی، امکان بروز رفتار غیرقابل‌پیش‌بینی در قیمت‌ها و عدم اطمی نان به تأمین انرژی وجود دارد. در سیستم‌های خرده‌فروشی برق، سفارش زیادتر از مصرف مشتریان منجر به ا فزایش هزی نه‌های خرده‌فرو شی می شود. در ( Rasjidin et al.۲۰۱۲) یک مدل سی ستم‌های پو یا به‌منظور بررسی تأثیر شرایط آب و هوایی و قراردادهای آتی بر تول ید و م صرف ا نرژی به‌منظور حداقل کردن هزی نه‌های خرده‌فرو شی پیشنهادشده ا ست. در ( Moumouni, Ahmad, and Baker۲۰۱۴) با استفاده از پارامترهای رشد جمعیت، مصرف انرژی و صنایع، وضعیت تأمین و مصرف انرژی در افق ۲۰۳۰ شبیه‌سازی‌شده است تا به‌عنوان راهنمای خط‌مشی‌های توسعه زیرساخت‌های انرژی مدنظر قرار گ یرد. در ( Chyong Chi, Nuttall, and Reiner۲۰۰۹) از مدل سازی سیستم‌های پو یا برای تجز یه‌وتحلیل سیا ست‌های بلند مدت ا نرژی استفاده است.

در این مقاله از ظرفیت قابل‌توجه سسیستم های پویا برای تجزیه و تحل یل بل ند مدت و همچ نین ساده سازی روا بط بین متغیر ها و شبیه سازی مدل مدیریت دارایی های رو شنایی م عابر ع مومی استفاده‌شده است.

## ۲. 4. روشنایی معابر

با توجه به نسبت قابل‌توجه هزینه‌های نگهداری روشنایی معابر در دوره عمر به سرمایه‌گذاری اولیه، نیاز است هزینه‌های تحمیلی تعویض اجزاء در دوره عمر چراغ ها شبیه سازی شوند. مقا له 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 ا ند را می توان در مو ضوع های مت نوعی تقسیم بندی کرد. بخشی از ا ین تحقی قات در راب طه با م یزان تاثیر روشنایی بر سلامتی، امنیت و جلوگیری از وقوع جرم است.

در ( Painter۱۹۹۶) تاثیر روشنایی معابر بر وقوع و نگرا نی از وقوع جرم تحق یق شده ا ست. در ( Peña-Garc\'ia et al.۲۰۱۶) تاثیر روشنایی معابر بر احساس امنیت و سلامتی مردم تحقیق شده ا ست. در ( Rodrigues et al.۲۰۱۱) یک مقای سه تجر بی بین فـ ناوری لامپ‌های دیودی و لامپ های بخار سدیم از منظر ادراک مردم صورت گرفته است. در ( Abdul Hadi et al.۲۰۱۳) چرخه عمر فناوری های روشنایی معابر برای چراغ‌های دیودی و چراغ‌های بخار سدیم ارز یابی شده است، بر اساس این تحقیق آثار زیست‌محیطی چراغ های د یودی نسبت به بـ خار سدیم کم تر ا ست. در ( Howarth and Rosenow۲۰۱۴) ارزیابی بنیادی در خصوص ممنوعیت ا ستفاده از لا مپ های رشته ای و فازهای ممنوعیت لامپ‌های رشته ای تشریح و تأثیر مث بت اشاعه لامپ‌های پربازده بحث شده است.

بخش دیگری از ا ین تحقی قات به ارت قا فـ ناوری و تأثیر آن بر پارامتر های م هم رو شنایی پرداخ ته ا ست. در ( Chen and Kane۱۹۸۲) نحوه دست‌یابی به کارایی بهینه لامپ‌های بخار سدیم پرف شار تحقیق شده ا ست. در ( Arafa and Mansour۲۰۱۵) جایگزینی بالاست های مغناطیسی با بالاست‌های الکترونیکی در روشنایی معابر از نظر اقتصادی تحقیق شده ا ست. در ( Mansour and Arafa۲۰۱۴) عمل کرد لامپ های بـ خار سدیم با بالا ست الکترونی کی و بالا ست مغناطی سی مطالـ عه ومقای سه شده ا ست. در ( Dehghani, Saghaiannejad, and Karshenas۲۰۰۹) یک بالاست الکترونی کی به صورت نـ ظری طراحی شده و کارکرد نمو نه نیمه صنعتی آن تجز یه‌وتحلیل شده ا ست. در ( Rico-Secades et al.۲۰۰۵) یک بالاست الکترونیکی کم‌هزینه پیشنهاد شده ا ست. در ( Dolara et al.۲۰۱۰) با معرفی یک قطعه الکترونیکی و استفاده از آن برای لامپ‌های بخار سدیم نشان داده شده علاوه بر صرفه‌جویی در م صرف ا نرژی، کیفیت توان هم بهـ بود پـ یدا می‌کـ ند. در ( Schleich, Mills, and D??tschke۲۰۱۴) بازگشت مستقیم نا شی از جایگزینی لامپ های التهابی و هالوژن با لامپ‌های فلورسنت فشرده و د یودی محاسبه شده است.

بخش دیـ گری از تحقی قات به ا ستفاده از فناوری های کن ترل و نظارت از راه دور روشنایی معابر و تأثیر آن در مدیریت روشنایی م عابر پرداخ ته ا ست. در ( Casa and Veroni۱۹۹۹) اتوما سیون شبکه رو شنایی م عابر با ا ستفاده از فـ ناوری م خابرات بر خط قدرت پیشنهادشده و از آن به‌عنوان یک فرصت اقتصادی واقعی برای ا فزایش بازدهی و کاهش هزینه یاد شده ا ست. در ( Da Fonseca, Pantoni, and Brandão۲۰۱۵) توسعه فناوری استفاده از یک حـ سگر بی سیم که می‌تواند از طریق شبکه و نرم‌ا فزار چراغ را پایش و نـ ظارت کـ ند تحقیق‌شده است.

تحقی قات پراکـ نده‌ای در سایر زمی نه‌ها انجام شده ا ست. در (شفابخش, غ; محمدی ۱۳۹۲) رفـ تار عابرین پـ یاده با مدل نـ یروی اجتماعی شبیه سازی شده است. در (راضی اردکانی, ح; احدی ۱۳۹۳) شدت تصادفات اتوبوس های درون و برون شهری مدلسازی و تجز یه و تحلیل شده است. نتایج تحقیقات اخیر می تواند در طرا حی رو شنایی معابر درون و برون شهری مورد استفاده قرار گیرد و نقش رو شنایی در رفتار عابرین پیاده و تصادفات درون و برون شهری تحق یق شود. در ( Rabaza et al.۲۰۱۳) با استفاده از الگوریتم ارزیابی چندهدفه بدون استفاده از نرم‌افزار های محا سباتی مع مول و ا ستفاده از راب طه بین پارامترها ازجمله ارتفاع نصب و فاصله پایه‌ها و توان چراغ یک روش طراحی ارائه‌شده است. در ( Bebbington, Lai, and Zitikis۲۰۰۸) ضمن بررسی مدل‌های قبلی تجزیه‌وتحلیل عمر لامپ‌های التهابی، یک مدل اصلاح‌شده برای تجزیه‌وتحلیل عمر پیشنهادشده است.

در ( Radulovic, Skok, and Kirincic۲۰۱۱) تجز یه‌وتحلیل مدیریت انرژی روشنایی معابر به‌منظور تعیین ارتباط آن با بازار انرژی و

تحمل‌پذیری توسعه در مناطق شهری انجام‌شده است. تحقیق نشان می دهد 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 ارائه‌شده است. تأثیر بهبود فناوری بر آهنگ خرابی سیستم‌های روشنایی معابر تحقیق‌شده و یک فرآیند برای انتخاب بهترین لامپ در بازار پیشنهادشده ولی سایر عوامل مؤثر بر مدیریت دارایی‌های روشنایی معابر موردتوجه قرار نگرفته‌اند.

در این مقاله از مدل مدیریت دارایی ها برای ارزیابی کارایی و محک زنی مدیریت دارایی های روشنایی معابر در یکی از شرکت های توزیع استفاده شده است.

## ۳. فرمول‌بندی و بیان روش

سیستم های پویا اغلب برای تجزیه و تحلیل سیستم های اجتماعی، مدیریتی و مالی پیچیده استفاده می شوند. در این تحقیق برای ساس سیستم های پویا، یک مدل زمان گسسته برای محاسبه میزان لامپ سوزی در روشنایی معابر عمومی مورد استفاده قرار می گیرد. 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 عمر های بالاتر تعمیم داده می شود. در شکل ۱ در $p, P_1, P_2, P_3, W$ ثابت و $S_0,...,D_1,...,INC, IMC, EC$ متغیر از نوع متغییر سطح یا حالت هستند. پیشوند $d$ که قبل از نام متغیر های حالت قرار گرفته، نشان دهنده متغیرهای از نوع نرخ یا آهنگ تغییرات است. در این مدل $S0, S1, S2,...$ به ترتیب به مفهوم تعداد لامپ سالم در ابتدای سال اول تا سوم هستند. $D1, D2, D3,...$ به ترتیب به مفهوم تعداد لامپ سوخته در پایان سال اول تا سوم هست و $P1, P2, P3,...$ به ترتیب احتمال معیوب شدن لامپ بعد از یک تا سه سال عمر می باشند. علائم اختصاری متغیرها در ادامه متن توضیح داده شده اند. بر اساس این مدل برای محاسبه تعداد لامپ های معیوب معادله (1) برقرار است.

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

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 لامپ های معیوب و $D_j[T]$ تعداد لامپ های معیوب با $j$ سال عمر در انتهای سال $T$ هستند. به عبارتی در پایان هر سال تعداد لامپ های معیوب شده با مجموع تعداد لامپ های معیوب شده با عمر های متفاوت برابر است. برای محاسبه تعداد لامپ های سالم با عمر $j$ سال (جاییکه $j = 1$ و $T = 1,2,...,Y$ ) از معادله (۲) استفاده شده است:

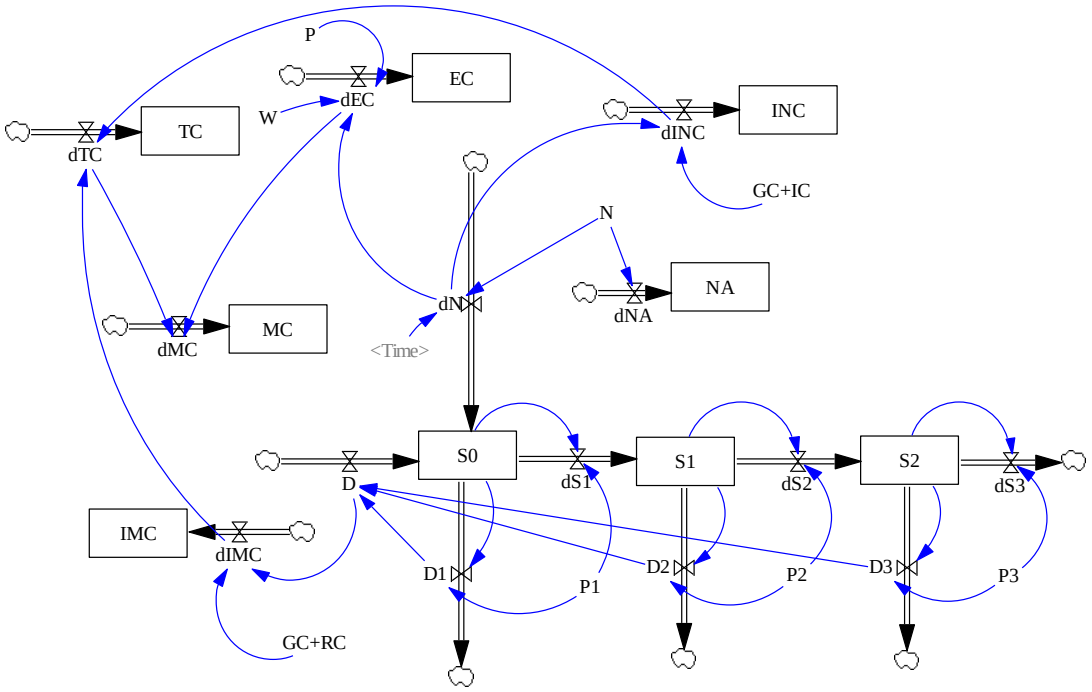
$$\begin{aligned} &S_0[1] = D[0] + N[0]; \\ &S_0[2] = D[1] + N[1]; \\ &S_{j-1}[T] = D[T-1] + N[T-1]; \; j = 1 \end{aligned} \qquad (۲)$$

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

$$\begin{aligned} &S_1[2] = S_0[1] \cdot (1 - P_1); \\ &S_2[3] = S_1[2] \cdot (1 - P_2); \\ &S_{j-1}[T] = S_{j-2}[T-1] \cdot (1 - P_{j-1}) \;\; ; T \geq j; (j \neq 1) \end{aligned} \qquad (۳)$$

در این معادله $S_1[2]$ تعداد لامپ های یکساله در سال دوم است که از حاصل ضرب احتمال سالم ماندن لامپ در سال اول $(1 - P_1)$ در تعداد های لامپ های سالم با عمر صفر $S_0[1]$ بدست می آید. در ادامه این معادله $S_2[3]$ تعداد لامپ های دو ساله در سال سوم است که از حاصل ضرب احتمال سالم ماندن لامپ در سال دوم $(1 - P_2)$ در تعداد های لامپ های سالم با عمر یکسال $S_1[2]$ بدست می آید. بعد از تعمیم روابط می توان نتیجه گرفت $S_{j-1}[T]$ (جاییکه $j \neq 1$ ) تعداد لامپ های سالم $(j-1)$ ساله در سال $T$ است که ازحاصل ضرب احتمال سالم ماندن لامپ $(1 - P_{j-1})$ در سال $(j-1)$ در تعداد لامپ های سالم $S_{j-2}[T-1]$ با عمر $(j-2)$ در سال قبل بدست می آید. معادله های (۲) و (۳) را می توان به صورت یک تابع دو ضابطه ای به شرح معادله (۴) دوباره نویسی کرد:

$$S_{j-1}[T] = \begin{cases} D[T-1] + N[T-1] & ; j = 1 \\ S_{j-2}[T-1] \cdot (1 - P_{j-1}) & ; T \geq j; (j \neq 1) \end{cases} \qquad (۴)$$




**شکل ۱:شمای کلی مدل مدیریت دارایی های روشنایی معابر**

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 (**1**) 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.

$$\begin{aligned} &D_1[1] = S_0[1]\cdot P_1; \\ &\text{---------} \\ &D_1[2] = S_0[2]\cdot P_1; \\ &D_2[2] = S_1[2]\cdot P_2; \\ &\text{---------} \\ &D_{j-1}[T] = S_{j-2}[T]\cdot P_{j-1}\ ;\ j\neq 1 \end{aligned} \qquad (۵)$$

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 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 ازحاصل 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 دارایی‌های روشنایی معابر در یک دوره چندساله، باید کلیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تحمیلی در دوره عمر روشنایی معابر شناسایی‌شده و در مدل پیشنهادی لحاظ گردند. در این مدل برای نشان دادن هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای نصب چراغ از معادله (۶) استفاده شده است:

$$INC[T] = N[T]\cdot(GC[T]\cdot IC[T]) \qquad (۶)$$

در این رابطه $INC[T]$، سرمایه‌گذاری انجام‌شده، $N[T]$، تعداد چراغ‌های نصب‌شده، $GC[T]$ هزینه چراغ و $IC[T]$ هزینه نصب در سال $T$ هست. جایی که $T=\{1,2,3,...,Y\}$ هست.

برای محاسبه هزینه‌های انرژی در این دوره از معادله (۷)استفاده می‌شود:

$$EC[T] = NA[T]\cdot W[T]\cdot P[T] \qquad (۷)$$

در این رابطه $EC[T]$ هزینه انرژی، $NA[T]$ مجموع تعداد چراغ‌ها نصب‌شده 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 هزینه‌ها مربوط به هزینه‌های سرویس و نگهداری روشنایی معابر در دوره عمر هست. هزینه‌های تحمیلی ناشی از سوختن لامپ با توجه به عمر مفید و احتمال سوختن لامپ محاسبه

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

$$IMC[T] = D[T] \cdot (RC[T] + GC[T]) \quad (۸)$$

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) استفاده‌شده است(Yaakov Bar-Shalom, X. Rong Li ۲۰۰۱). به عبارتی این احتمال از انتگرال تابع توزیع نرمال در بازه $(-\infty, Z_j)$ به دست می‌آید.

$$P_j = \int_{-\infty}^{Z_j} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{Z_j^2}{2}\right)} dz \quad (۹)$$

از طرفی اگر $X$ یک تابع توزیع نرمال غیراستاندارد باشد در ( Grinstead and Snell۲۰۱۲) نشان داده‌شده است که $Z$ در رابطه (۱۰) توزیع نرمال استاندارد خواهد داشت.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (۱۰)$$

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

$$Z_j = \frac{(h \times j) - \mu}{\sigma} \quad (۱۱)$$

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

هزینه‌های مدیریت دارایی‌های روشنایی معابر از حاصل جمع هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های تحمیلی در طول دوره بهره‌برداری از چراغ و مطابق با رابطه (۱۲) به دست می‌آید:

$$TC[T] = INC[T] + IMC[T] \quad (۱۲)$$

که در این رابطه $TC$ مجموع هزینه‌های مدیریت دارایی تا سال $T$ هست.

با توجه به اینکه در حال حاضر قیمت انرژی روشنایی معابر نیز جزو هزینه‌های دوره عمر شبکه روشنایی می‌باشند و شرکت‌های توزیع باید خطی مشی‌هایی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره نوری روشنایی طرح‌ریزی نمایند. در چنین شرایطی در هر سال کل هزینه‌های روشنایی معابر با احتساب هزینه‌های انرژی از رابطه (۱۳) به دست می‌آیند.

$$MC[T] = TC[T] + EC[T] \quad (۱۳)$$

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 تاثیر 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.

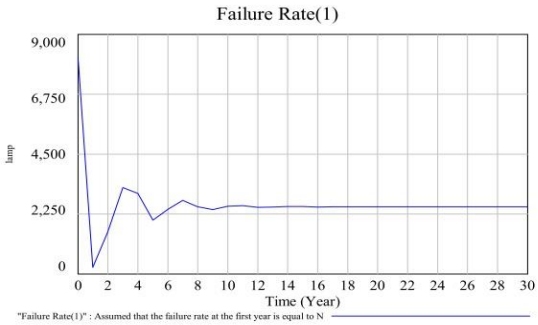
از آنجاییکه داده ها و اطلاعات سازندگان در خصوص مشخصه و قابلیت ها براساس شرایط آزمایشگاهی ارایه می شود، در صورت نگهداری اطلاعات سرویس و نگهداری (و در صورت عدم امکان صرفا با در اختیار داشتن هزینه نهایی) در مناطق مختلف می توان نسبت به ارزیابی کارایی و محک زنی مناطق اقدام و چه بسا عوامل غیر نرمالی که بر هزینه ها تاثیر 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 تقریبا 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 کاتالوگ‌ها و گزارش های سازندگان، میزان لامپ سوزی اسمی مناطق پنجگانه یک شرکت توزیع محاسبه و در مقایسه با تعداد واقعی عملکرد مدیریت دارایی های روشنایی معابر در مناطق مختلف مقایسه می شود.

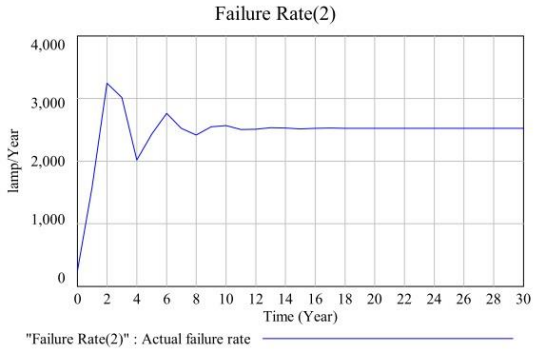
در ابتدا برای نشان دادن صحت و کارایی مدل پیشنهادی ، با فرض ثابت بودن تعداد چراغ‌ها در دوره عمر، آهنگ خرابی لامپ در دوره عمر چراغ با آهنگ خرابی محاسبه شده در مرجع ( Mirzaei et al. ۲۰۱۵) مقایسه می‌شود. همان‌گونه که در شکل 2 ملاحظه می شود، اولین سری لامپ‌های نصب‌شده در زمان نصب چراغ‌ها به‌عنوان آهنگ خرابی در ابتدای سال اول معرفی‌شده‌اند. گرچه این تعریف ازلحاظ محاسباتی در نتایج تأثیری ندارد ولی نمی‌توان اولین نصب را آهنگ خرابی معرفی نمود.




شکل :2 آهنگ خرابی لامپ ( Mirzaei et al.۲۰۱۵)

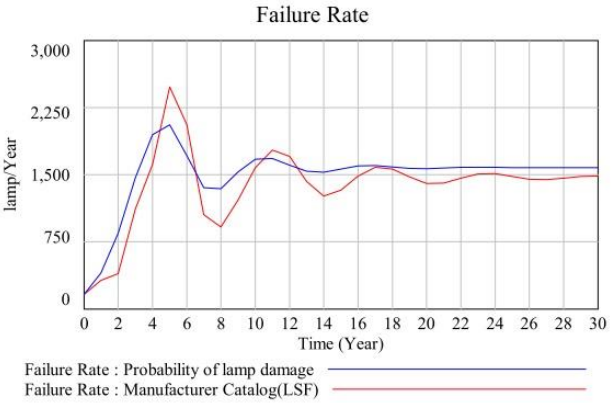
این موضوع در مدل پیشنهادی اصلاح‌شده است. آهنگ خرابی با

استفاده از مدل پیشنهادی برای یک دوره سی ساله در شکل 3 ر سم شده است.




شکل 3: آهنگ خرابی بر اساس مدل پیشنهادی

در ادامه برای ارزیابی صحت و کارایی استفاده از تابع توزیع نر مال برای محاسبه احتمال خراب شدن لامپ، بر اساس سن و با ا ستفاده از تابع توزیع نرمال $\mu = 24000$ و $\sigma = 9740$ نرخ خرابی محاسبه شده و با ن تایج آزمای شگاهی آه نگ سالم ما ندن لا مپ۱ که در کا تالوگ سازندگان اعلام می‌شود ( ۲۰۱۷vialox NAV-E) مقایسه شده است.




شکل 4: آهنگ خرابی بر اساس تابع احتمال و اعلام سازنده

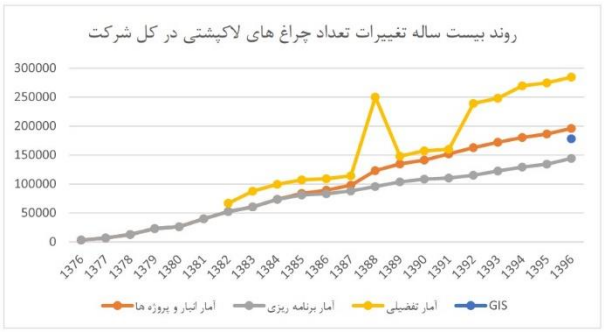
در شکل 4 آهنگ خرابی لامپ در یک دوره سی ساله با استفاده از روش محاسباتی و روش آزمایشگاهی ن شان داده شده ا ست. مقای سه نتایج نشان‌دهنده دقت قا بل‌قبول تخ مین با ا ستفاده از تابع توز یع احتمال نرمال هست.

لازم به ذکر است در این شرکت توزیع، روش ت عویض به صورت موردی و بعد از معیوب شدن لامپ می‌باشد. تعداد محدودی از شرکت ها از روش تعویض مجموعه‌ای براساس مع یار کاهش بازدهی نوری استفاده می‌نمایند.

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 ن حوه ا ستفاده از ماشین آلات و ابزار کار نمونه هایی از متغ یر های داخ لی و شرایط اقلیمی، اجتماعی و فرهنگی نمونه هایی از متغیرهای بیرونی موثر بر هزینه های بهره برداری از روشنایی معابر هستند.

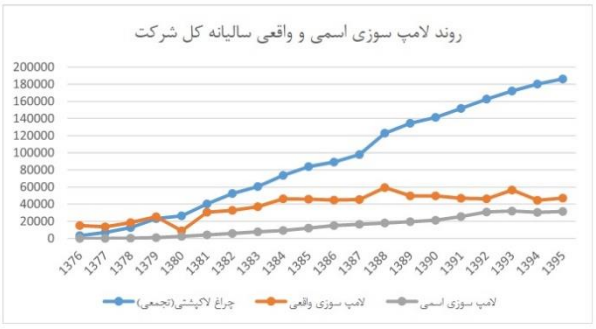
در این تحقیق با استفاده از آمار چراغ های لاکپشتی ن صب شده بین سال های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ در یکی از شرکت های توز یع، ت عداد لا مپ سوزی ا سمی برا ساس ساعت ع مر ا علام شده تو سط سازندگان(۲۰۰۰۰ساعت) محاسبه شده است. در ادامه با مقایسه تعداد لامپ سوزی واقعی و اسمی، از این اطلاعات بعنوان معیاری برای محک زنی میزان کارایی مناطق پنج گانه شرکت در حوزه بهره برداری بهی نه از روشنایی معابر استفاده شده است.

به منظور بررسی موضوع و جمع آوری اطلاعات، به آمار تف ضیلی شرکت توانیر رجوع شد. شایان ذکر است آمار تفکیکی روشنایی م عابر از سال ۱۳۸۲ در آمار تفضیلی منتشر شده است. با بررسی آمار شرکت توزیع مد نظر مشخص گردید دو ج هش در آ مار سال های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ رخ داده است که ج هش آ ماری سال ۱۳۸۸ در سال ب عد با کاهش زیادی مواجه شده است. با توجه به تغییرات زیاد آ مار در سال ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ و عدم امکان تجزیه و تحل یل برا ساس آ مار تف ضیلی شرکت توانیر با مراج عه به شرکت توز یع و ا خذ م جوز ا ستفاده از اطلاعات موجود در آن شرکت، آمار چراغ ها از واحد آ مار و اطلا عات برنامه ریزی در سال های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ ا خذ گرد ید. با برر سی جزییات آماری مشخص شد در سال ۱۳۸۸ سیاست شرکت توانیر بر حذف کلیه لامپ های رشته ای بوده و در این شرکت هم کل یه لا مپ های رشته ای با لامپ های کم مصرف جایگزین شده ا ند و آ مار ا ین لامپ ها (به اشتباه) در ستون سایر چراغ های کم م صرف لاکپ شتی ثبت گردیده است. از طرفی اعلام شد از سال ۱۳۸۹ تحویل لا مپ به مناطق برای تعویض با حساسیت بیشتر و به ن سبت ت عداد چراغ ها انجام شده، که این اقدام به دلیل اعتراض بعضی از واحد ها مب نی بر دقیق نبودن آمار چراغ ها، منجر به تغییر مبنای آ مار برا ساس ا علام مناطق در سال ۱۳۹۲ شده است. با عنایت به حساسیت های مو جود محقق به منظور بررسی دقیقتر موضوع و با همکاری شرکت توزیع آمار چراغ ها را از دو مرجع متفاوت آمار و اطلاعات برنامه ر یزی و آ مار و اطلاعات پروژه ها در مهندسی از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ استخراج ن مود. در شکل 5 نمودار رشد تعداد چراغ های لاکپشتی براساس سه مر جع متفاوت رسم گردیده است. شایان ذکر ا ست خو شبختانه همز مان با شروع نگارش این تحقیق، جمع بندی آمار و اطلاعات مکانی(GIS) این شرکت به پایان رسیده و تعداد چراغ ها در پا یان سال ۱۳۹۶ ن یز 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 م عابر منجم له تامین برق متقاضیان فاقد شبکه بوده و تغییر نرم افزار و رو یه های گزارش دهی در سال ۱۳۸۶ در این خطا موثر بوده اند.

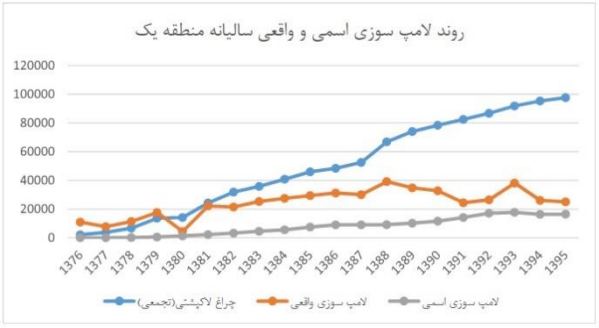



شکل 5: روند تغییرات تعداد چراغ براساس سه مرجع متفاوت

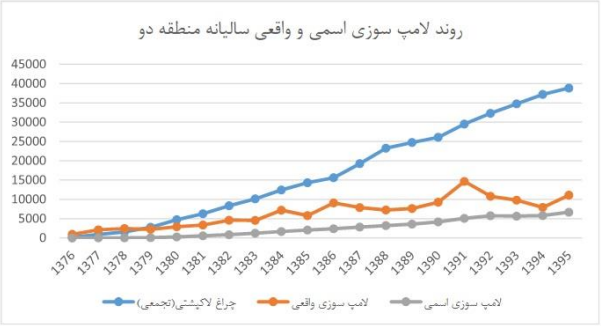
در ادامه تحقیق از آمار انبار و پروژه ها به منظور تجزیه و تحلیل استفاده خواهد شد. شایان ذکر است با توجه به مغایرت نزدیک به ده درصد بین آمار و اطلاعات مکانی(GIS) و آمار پروژه ها بایستی خطای ده درصدی در نتایج را نسبت به آنچه در عمل اتفاق می افتد را پذیرا باشیم. با استفاده از مدل پیشنهاد شده و با توجه به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



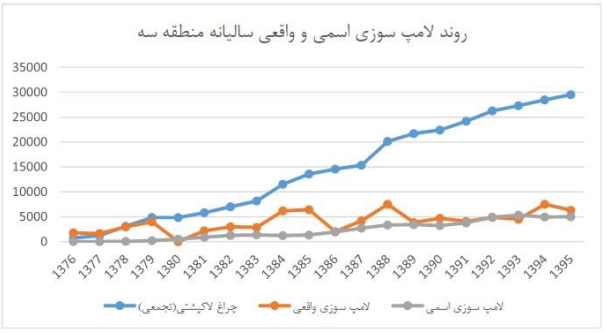

شکل 6:روند لامپ سوزی سالیانه



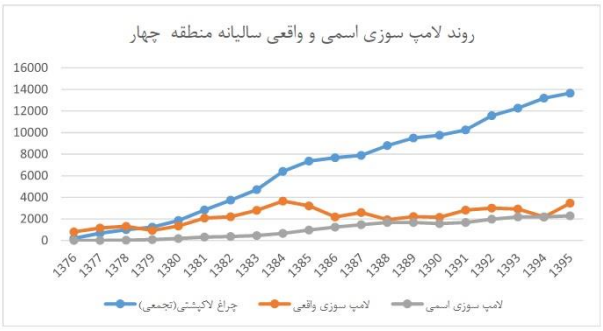

شکل 7:روند لامپ سوزی در منطقه ۱



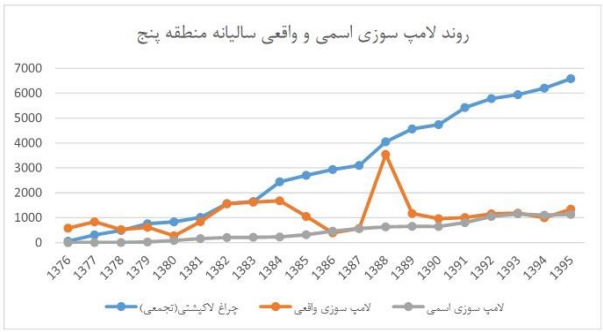

شکل 8: روند لامپ سوزی در منطقه ۲




شکل 9: روند لامپ سوزی در منطقه ۳




شکل 10: روند لامپ سوزی در منطقه ۴




شکل 11: روند لامپ سوزی در منطقه ۵

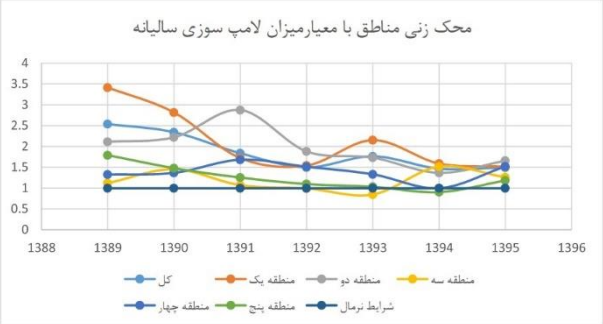
نتایج حاصله با تعداد لامپ خارج شده از انبار برای جایگزینی لامپ ها در شکل 6 مقایسه شده است. همانگونه که در شکل 6 مشخص است تفاوت قابل توجهی بین تعداد لامپ سوزی اسمی و واقعی وجود دارد. از سال ۱۳۹۰ به بعد این تفاوت کاهش قابل توجهی داشته است.

در این تحقیق قصد نداریم دلایل این اختلاف را بررسی کنیم ولی همانگونه که قبلا هم اشاره شد عوامل داخلی و بیرونی متعددی می توانند بر این اختلاف تاثیر گذار باشند که شناسایی آنها می تواند موضوع تحقیق دیگری باشد. در این تحقیق قصد داریم از لامپ سوزی اسمی بعنوان معیاری برای مقایسه مدیریت دارایی های 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 داده های واقعی به ترتیب برای منطقه یک تا پنج نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود تفاوت قابل ملاحظه ای بین تعداد لامپ سوزی اسمی و واقعی در مناطق وجود دارد و این تفاوت در سال های ۳۹۱ تا ۱۳۹۵ سیر نزولی داشته است.

نتایج نشان می دهد سیاست های بهره برداری بهینه از روشنایی

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 متغیر های داخلی و بیرونی موثر و سهم هر یک از آن ها 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 تجزیه و تحلیل هزینه های بهره برداری و نگهداری نیازمند مدلی است که قادر باشد با وجود تغییرات، معیار ها و سنجه هایی را برای محک زنی و ارزیابی در اختیار شرکت های توزیع قراردهد 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 برای تک تک مناطق محاسبه نمود. در

حداقل، حداکثر و میانگین قیمت کالاها در سال ۲۰۱۵ در بازار ایران درج گردیده است. به منظور تاثیر دادن تورم در قیمت ها، محاسبه قیمت براساس دلار انجام شده تا از این قیمت برای محاسبه سنوات گذشته و آینده هم استفاده گردد. با عنایت به اینکه بهای انرژی روشنایی معابر در تعرفه های برق صفر ریال ذکر می گردد. محاسبات مربوط به انرژی بایستی با قیمتی فرضی یا توافقی انجام شود و یا نرخ جهانی انرژی برق برای آن در نظر گرفته شود.

## ۵. نتیجه گیری

در اکثر شرکت های توزیع نگهداری و تعمیرات روشنایی 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 مخصوصا در سالهای اول نصب نوسانات شدیدی دارد( شکل ۳) و مبنا 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 |
| سرپیچ(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 |

توسعه غیر یکنواخت سالیانه شبکه های روشنایی معابر بر پیچ یدگی تحلیل ها می افزاید و معیار مورد نیاز برای ارزیابی مناطق را با چالش جدی مواجه می کند. ابزار فراهم شده در این تحقیق ضمن ر فع ا ین چالش، امکان ارزیابی در هر منطقه را فراهم می نماید. نتایج نشان می دهد رفتار نگهداری و تعمیرات منطقه ۵ ( شکل۱۱) بین سال های 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 می نماید.

شرکت توانیر و شرکت های توزیع علاقمند به معرفی نمونه های مثبت در همه زمینه ها منجمله نگهداری روشنایی 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 می دهد 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 می دهد منطقه ۵ بهترین عملکرد را داشته و رفتار آن می تواند بعنوان الگویی به سایر مناطق تسری داده شود.

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

نتایج نشان می دهد که هزینه‌های لامپ سوزی واقعی شامل قیمت کالا و هزینه های 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 می باشد و نیاز است سیاست های بهره برداری بهینه از روشنایی معابر در سایر مناطق بازنگری شوند.

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

## ۶. مراجع


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 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.

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 Amirioun. 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* I(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

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-Garc\’\ia, 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.

Rasjidin, 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, Cl??udio 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.

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 اتوبوس های درون و برون شهری." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۲(۳۸): ۵۹–۷۴.

رحیمی, ا; حسین زاده سلجوقی, ف. ۱۳۹۷. "کارایی هزینه و بازده به مقیاس در یک زنجیره تامین شبکه دو مرحله ای." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۶(۵۵): ۶–۶.

سیاح, علی; برادران کاظم زاده, رضا; سپهری, محمدمهدی; اسکندری, حمیدرضا. ۱۳۹۶. "تعین استراتژی مدیریت دارایی فیزیکی براساس فاکتور های تامین، نگهداری و تعمیرات." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۵(۵۱): ۱–۱۳.

شفابخش, غ; محمدی, م. ۱۳۹۲. "شبیه سازی 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 داده ها به منظور خوشه بندی مشتریان اعتباری بانک ها." *مجله مدل سازی در مهندسی* ۱۳(۴۱): ۵۹–۷۴.

شفابخش، غ; محمدی، م، (۱۳۹۲). شبیه سازی حرکت عابرین پیاده با استفاده از مدل نیروی اجتماعی، مجله مدل سازی در مهندسی، ۱۱(۳۴)،ص.ص۶۲-۴۹.

اردکانی، ر; احدی ، م، (۱۳۹۳). مدل سازی و تحلیل شدت تصادفات اتوبوس های درون و برون شهری، مجله مدل سازی در مهندسی، ۱۲ (۳۸)، ص.ص۷۴-۵۹.