فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال دهم/ شماره ۱/ بهار ۱۴۰۲/ صفحات ۱۶۴-۱۲۹

# تاثیر کیفیت خدمات بر کارایی: شواهدی از شرکت‌های توزیع برق ایران[۱]

**رضا خلفی**

*دانشجوی دکتری اقتصاد صنعتی دانشگاه تبریز، khalafi.63@gmail.com*

**محسن پورعبادالهان کویچ***

*دانشیار اقتصاد دانشگاه تبریز، mohsen_p54@hotmail.com*

**زهرا احمدلو**

*دانشجوی کارشناسی ارشد توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز، ahmadlowzahra@gmail.com*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳

## چکیده

به خاطر اثرات نامطلوب رهیافت‌های انگیزشی بر کیفیت خدمات شرکت‌های توزیع برق، توجه به جنبه کیفی خدمات آن‌ها در مدل‌های محک‌زنی افزایش یافته است. هر چند تبادل بین کیفیت خدمات و هزینه، تحت تاثیر به کار بردن این رهیافت‌ها، در مورد ایران مصداق ندارد، اما ورود کیفیت خدمات در تحلیل کارایی، به لحاظ نظری و نیز به دلیل امکان چنین تبادلی بین مقیاس و کیفیت خدمات در ساختار انحصاری اهمیت دارد. این مطالعه به بررسی تاثیر کیفیت خدمات بر کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران، با استفاده از متغیر زمان خاموشی به عنوان تقریب کیفیت خدمات و دلالت آن در خصوص لزوم توجه به کیفیت در تحلیل کارایی و مدل محک‌زنی می‌پردازد. برآورد کارایی شرکت‌های مزبور با استفاده از روش تابع فاصله نهاده طی دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۹۰ نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین نتایج تحلیل کارایی با لحاظ نمودن کیفیت خدمات و بدون لحاظ کردن آن وجود ندارد. هر چند یافته‌ها در حمایت از رهیافت هزینه-خالص برای محک‌زنی می‌باشد، اما همچنان پیشنهاد می‌گردد که اثرات سایر جنبه‌های کیفیت خدمات شرکت‌های توزیع برق ایران در تحلیل کارایی مورد بررسی قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** کیفیت خدمات، کارایی، تابع فاصله نهاده، شرکت‌های توزیع برق، ایران.

**طبقه‌بندی JEL:** L12، L25، L94.

---

[۱] این مقاله مستخرج از رساله دکترای نویسنده اول است.

* نویسنده مسئول مکاتبات

## ۱-مقدمه

در اواسط دهه هشتاد میلادی، اصلاحات جهانی در صنعت برق، همانند سایر صنایع زیرساختی با هدف افزایش کارایی آغاز گردید، چرا که کارایی و قابلیت اطمینان این صنعت، برای توسعه اقتصادی، رقابت‌پذیری و رفاه مصرف‌کنندگان اهمیت بسیار بالایی داشت. به دنبال این بازنگری‌های ساختاری، بهره‌گیری از مقررات‌گذاری انگیزشی[۱] در بخش‌های انحصاری صنعت برق همچون شبکه‌های توزیع، رویکردی فراگیر گردید[۲]. هدف مقررات‌گذاری‌های انگیزشی، ایجاد انگیزه در شرکت‌های توزیع برق برای بهبود کارایی هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری، و بهره‌مندی مصرف‌کنندگان از منافع حاصله می‌باشد. به عنوان مثال، مقررات‌گذاری قیمت، پرکاربردترین رهیافت تنظیم مقررات انگیزشی می‌باشد که به دو صورت تنظیم مقررات سقف قیمت و درآمد اجرا می‌گردد، به نحوی که با ایجاد محدودیت خارجی در افزایش قیمت و درآمد، رابطه بین هزینه‌ها و قیمت‌ها قطع گردیده، و شرکت‌ها برای کسب سود بیشتر مجبور به کاهش هزینه‌ها می‌باشند. دستیابی به اهداف یاد شده از طریق طرح‌های انگیزشی مبتنی بر جریمه و پاداش مالی صورت می‌پذیرد (جاماسب و پولیت[۳]، ۲۰۰۷). ویژگی مشترک بین طرح‌های انگیزشی مذکور، استفاده آن‌ها از محک‌زنی[۴] می‌باشد که به طور عام به عنوان مقایسه برخی معیارهای واقعی عملکرد در برابر یک عملکرد مرجع یا معیار (محک) تعریف می‌گردد (جاماسب و پولیت، ۲۰۰۰). از آنجایی‌که پاداش‌ها بر اساس معیار عملکرد و کارایی می‌باشند، مکانیسم بازار رقابتی برای شرکت‌ها شبیه‌سازی شده و رقابت برای کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی ایجاد می‌گردد. شرکت‌های توزیع برق، تحت تاثیر طرح‌های مقررات‌گذاری انگیزشی مزبور، انگیزه‌های قوی در زمینه صرفه‌جویی‌های هزینه‌ای پیدا می‌نمایند. اما کاهش هزینه‌های عملیاتی، نگهداری و سرمایه‌گذاری، به طور بالقوه می‌تواند اثر منفی بر کیفیت خدمات شرکت‌های مزبور داشته باشد. به بیان

---

[1] Incentive Regulation

[۲] لافونت و تیرول (۱۹۹۳) مقررات‌گذاری را فرآیند دخالت دولت در بازار انحصاری به منظور کاهش زیان‌های اجتماعی و همچنین افزایش منافع اجتماعی می‌دانند. معمولا این دخالت‌ها با استفاده از وضع محدودیت‌های قانونی در ارتباط با سطح قیمت، نرخ بازده، سود و درآمد انحصارگر انجام می‌شود (کیانی، ۱۳۹۷).

[3] Jamasb & Pollitt

[4] Benchmarking

فیوماگالی و همکاران[1] (۲۰۰۷)، نظریه‌ها و شواهد تجربی نشان می‌دهند که هنگامی که مقررات‌گذار می‌خواهد قیمت خدمات را با استفاده از روش‌های سقف قیمت یا درآمد[2] تنظیم نماید، انگیزه‌های شرکت‌ها برای ارائه سطح بهینه‌ای از کیفیت خدمات، کاهش می‌یابد. بدین ترتیب، لحاظ نمودن متغیر کیفیت خدمات در تحلیل‌های کارایی شرکت‌های توزیع برق مورد توجه قرار گرفت. این کار، در بیشتر کشورها با هدف‌گذاری شاخص‌های عملکرد کیفی برای شرکت‌های مقررات‌گذاری شده انجام می‌گیرد. جدیدترین رویکرد در این زمینه، برخی معیارهای پولی هزینه‌های اجتماعی کیفیت خدمات[3] را در فرآیند محک‌زنی وارد می‌نماید و هزینه‌های اجتماعی و اقتصادی فعالیت شرکت‌ها را به جای هزینه خالص[4] آن‌ها مورد توجه قرار می‌دهد. استدلال این کار در آن است که استفاده از رهیافت ساده هزینه خالص[5] در تحلیل کارایی شرکت‌های مقررات‌گذاری شده به منظور محک‌زنی، یکی از جنبه‌های اساسی فعالیت شرکت‌های مزبور را در نظر نمی‌گیرد، بدین مفهوم که ممکن است میزان کارایی شرکت‌ها با وارد نمودن متغیرهای مربوط به کیفیت خدمات تغییر نماید (گروویچ و همکاران[6]، ۲۰۰۹). از همین روی، موضوع تصحیح کارایی شرکت‌های توزیع برق با لحاظ کردن متغیرهای مربوط به کیفیت مورد توجه قرار گرفته است. هر چند ایران پیشینه چندانی در تنظیم مقررات شرکت‌های توزیع برق ندارد، اما در مسیر مقررات‌گذاری شرکت‌های مزبور، هم‌راستا با فرایند جهانی اصلاحات در صنایع زیرساختی، ناگزیر با مسائل مشابهی مواجه خواهد گردید. از آنجایی که جریمه و پاداش شرکت‌های توزیع برق در مکانیسم‌های انگیزشی، مبتنی بر کارایی آن‌ها می‌باشد، فلذا تصحیح کارایی این شرکت‌ها به وسیله کیفیت خدمات آن‌ها ضروری می‌نماید. از همین روی، مطالعه حاضر ضمن برآورد کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران با استفاده از روش تابع فاصله‌ای نهاده طی دوره

---

[1] Fumagalli et al.
[2] Price or Revenue Caps
[3] Socio-Economic Cost
[4] Pure Cost
[5] در این مطالعه، منظور از رهیافت هزینه-خالص، تحلیل کارایی شرکت‌های توزیع برق بدون وارد نمودن متغیر کیفیت خدمات می‌باشد و در برابر آن، رهیافت هزینه-کیفیت به مفهوم تحلیل کارایی با در نظر گرفتن متغیر کیفیت خدمات به کار رفته است.
[6] Growitsch et al.

زمانی ۱۳۹۶-۱۳۹۰، تاثیر وارد نمودن متغیر مربوط به کیفیت خدمات در تصحیح کارایی شرکت‌های مزبور و دلالت‌های آن در راستای لزوم توجه به جنبه کیفیت خدمات در نظام مقررات‌گذاری انگیزشی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

ساختار این مطالعه به این ترتیب است که بعد از مقدمه حاضر، در بخش دوم، مروری بر ادبیات موضوع که شامل مبانی نظری و پیشینه تجربی تحقیق است، ارائه می‌شود. بخش سوم به روش‌شناسی تحقیق می‌پردازد. در بخش چهارم، تجزیه و تحلیل یافته‌ها صورت می‌پذیرد. در پایان، بخش پنجم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات سیاستی اختصاص دارد.

## ۲-ادبیات موضوع

تلفیق کیفیت خدمات در تحلیل‌های کارایی، یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که ذیل مباحث مربوط به مقررات‌گذاری مورد بحث قرار گرفته است. به منظور چیره شدن بر انگیزه‌های گمراه کننده ناشی از رهیافت‌های انگیزشی (یعنی صرفه‌جویی هزینه‌ای به قیمت کیفیت پایین خدمات)، که می‌تواند منجر به کاهش بیش از حد هزینه‌های نگهداری و سرمایه‌گذاری ناکافی گردد، توجه به جنبه کیفی خدمات این شرکت‌ها در مدل‌های محک‌زنی اهمیت یافته است. شرکت‌های توزیع برق ایران تحت مقررات‌گذاری انگیزشی قرار نگرفته‌اند و تبادل بین کیفیت خدمات و هزینه‌ها تحت تاثیر مکانیسم‌های انگیزشی مصداق پیدا نمی‌کند، با این وجود، به لحاظ نظری، جدای از بحث مقررات‌گذاری، همچنان امکان تاثیرات متقابل و تبادل بین هزینه‌ها (سرمایه‌ای، عملیاتی و مخارج نگهداری) با مقیاس و کیفیت خدمات این گونه شرکت‌ها وجود دارد (گرووپچ و همکاران، ۲۰۰۹). چنان چه بر مبنای برخی مفروضات در ساختار انحصار طبیعی، مقیاس و کارایی رابطه مستقیمی داشته باشند، شرکت‌های بزرگ‌تر کارایی و ترجیح بیشتری خواهند داشت، اما ورود کیفیت خدمات با فرض برتری کیفیت خدمات شرکت‌های کوچک‌تر می‌تواند مزیت نسبی کارایی شرکت‌های کوچک‌تر را افزایش داده و مقیاس بهینه آن‌ها را تغییر دهد. از این روی، حتی فارغ از بحث مقررات‌گذاری، رهیافت ساده هزینه-خالص در رابطه با کارایی، جنبه اساسی فعالیت شرکت‌های انحصار طبیعی را در نظر نمی‌گیرد، چرا که ممکن است شرکت‌های کوچک‌تر در فرایند محک‌زنی، حتی با وجود هزینه‌های بالاتر، به دلیل کیفیت بالای خدماتی که ارائه می‌نمایند، کارایی و ترجیح بیشتری نسبت به شرکت‌های بزرگ‌تر داشته باشند (گرووپچ

و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین هر چند که بحث تبادل بین کیفیت خدمات و هزینه‌ها به عنوان واکنش استراتژیک شرکت‌ها به مکانیسم‌های مقررات‌گذاری نمی‌تواند نسبتی با شرکت‌های توزیع برق ایران داشته باشد، اما همچنان امکان وجود چنین تبادلی به دلایل ساختاری همچون ویژگی انحصار طبیعی شرکت‌های توزیع برق، دور از انتظار نمی‌باشد.

شبکه‌های توزیع برق، تنوعی از مصرف‌کنندگان مسکونی، تجاری و صنعتی دارند و همزمان با افزایش تدریجی تقاضا برای خدمات آن‌ها، تجهیزات و دارایی‌های شبکه توزیع موجود، بایستی به تدریج جایگزین شده و گسترش یابند که این کار مستلزم سیکل‌های متناوب و پایدار سرمایه‌گذاری توسط شرکت‌ها می‌باشد (جاماسب و پولیت، ۲۰۱۱). میزان بالای سرمایه‌بری این شرکت‌ها در کنار عوامل دیگر، ماهیت انحصار طبیعی آن‌ها را شکل می‌دهد. در واقع، ویژگی انحصار طبیعی شرکت‌های توزیع برق به دلیل سه جنبه اصلی زیر ایجاد می‌گردد: مقدار بالای هزینه‌های سرمایه‌گذاری برگشت‌ناپذیر، صرفه‌های مقیاس در عرضه خدمات و صرفه‌های تنوع[1] محصولات مختلف این شرکت‌ها که همانا تعداد مشترکین و میزان انرژی عرضه شده می‌باشد (گروویچ و وین[2]، ۲۰۰۴). برای بنگاه‌های تک ستانده‌ای، وجود صرفه‌های مقیاس (یا همان منحنی هزینه متوسط نزولی)، شرط کافی وجود انحصار طبیعی می‌باشد، اما همان گونه که بامول و همکاران[3] (۱۹۸۲) بحث نموده‌اند، در زمینه صنایع چندستانده‌ای نظیر شرکت‌های توزیع برق که نهاده‌های مشترک را برای ارائه بیش از یک ستانده به کار می‌گیرند، علاوه بر صرفه‌های مقیاس، صرفه‌های تنوع محصول نیز شرط ضروری برای پدید آمدن ساختار انحصار طبیعی می‌باشد (گروویچ و همکاران، ۲۰۰۹). صرفه‌های تنوع محصول، هنگامی پدید می‌آید که تولید توامان ستانده‌های مختلف، ارزان‌تر از تولید جداگانه آن‌ها باشد. به عبارت دیگر، در این وضعیت، هزینه تولید بُرداری از ستانده‌های مختلف توسط یک بنگاه، کمتر از هزینه تولید جداگانه ستانده‌های مزبور توسط بنگاه‌های متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال، در حالت دو ستانده‌ای ($Y_2$، $Y_1$)،

[1] Economies of Joint Production (Economies of Scope or Economies of Horizontal Integration)
[2] Growitsch & Wein
[3] Baumol et al.

صرفه‌های تنوع محصول به صورت زیر بیان می‌گردد که در آن، $S_c$ نشان‌دهنده درجه صرفه‌های تنوع محصول و $C(.)$ نمایان‌گر هزینه کل می‌باشد. (گریر[1]،۲۰۱۱):

$$Scope_{mn} = \frac{[C(Y_1, 0) + C(0, Y_2) - C(Y_1, Y_2)]}{C(Y_1, Y_2)} \quad (۱)$$

مطالعه نظریه انحصار طبیعی و مطالعات پیشین در خصوص شرکت‌های توزیع برق نشان می‌دهد که جنبه‌های مهمی از این صنعت هنوز مورد بررسی قرار نگرفته است. یکی از این جنبه‌ها، رابطه بین کارایی فنی و اندازه شرکت‌ها می‌باشد. با فرض ثبات شرایط، تا زمانی که صرفه‌های مقیاس و تنوع محصول وجود دارد، انتظار بر آن است که شرکت‌های بزرگ‌تر کارایی فنی بیشتری داشته باشند (گرووِیچ و همکاران، ۲۰۰۹). اما باید توجه داشت که وارد نمودن متغیرهای مربوط به کیفیت خدمات، ممکن است اندازه بهینه شرکت را تغییر دهد. طبق فرضیه وکا[2] (۲۰۰۵)، شرکت‌های کوچک‌تر کیفیت خدمات بالاتری را عرضه می‌نمایند، چرا که دسترسی آسان‌تر به بازار محلی و اطلاعات خاص مشتریان (مانند مشخصات تقاضا و شرایط فنی خاص) دارند که برای کیفیت خدمات و قابلیت اطمینان مهم می‌باشند. همچنین بحث شده است که نزدیکی به مصرف‌کنندگان (به عنوان ویژگی خاص شرکت کوچک) منجر به کیفیت خدمات بهتر می‌شود. علاوه بر این، در شرکت‌های توزیع برق بزرگ، به دلیل گستردگی شبکه توزیع، احتمال نقص فنی در خطوط شبکه و اتلاف انرژی بالاتر و افزایش مدت خاموشی بیشتر می‌باشد. در صورت برقراری گزاره‌های فوق، ورود متغیر کیفیت خدمات در بحث تابع تولید و اندازه‌گیری کارایی فنی شرکت‌های توزیع برق ممکن است منجر به کاهش صرفه‌های مقیاس و کوچک‌تر شدن اندازه بهینه شرکت نسبت به وضعیت تحلیل کارایی هزینه خالص (بدون در نظر گرفتن کیفیت) گردد. بدین ترتیب می‌توان دو فرضیه اصلی زیر را استخراج نمود: ۱- مطابق فرضیه صرفه‌های مقیاس، در تحلیل کارایی هزینه خالص[3] می‌توان فرض نمود که برقراری ویژگی‌های انحصار طبیعی (یعنی وجود صرفه‌های مقیاس و تنوع محصول) در شرکت‌های توزیع برق، منجر به کارایی بیشتر برای شرکت‌های بزرگ می‌شود. ۲- مطابق فرضیه نزدیکی به مصرف‌کننده، در تحلیل

[1] Greer
[2] Kwoka
[3] Pure Cost Efficiency Analysis (Cost – Only)

کارایی در بر گیرنده کیفیت خدمات[1]، مزیت کارایی و هزینه نسبی شرکت‌های بزرگ، کاهش می‌یابد (گروویچ و همکاران، ۲۰۰۹).

به طور کلی، کارایی فنی در رویکرد نهاده‌گرا به توانایی کمینه‌سازی بردار نهاده مورد استفاده (در اینجا، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی) برای تولید بردار ستانده معین، و در رویکرد ستانده‌گرا به توانایی بیشینه‌سازی بردار ستانده (در اینجا، تعداد مشترکین و انرژی توزیع شده) از یک بردار نهاده معین اشاره دارد (کومباکار و لاول[2]، ۲۰۰۰).

روش‌های محک‌زنی متنوعی در تنظیم مقررات انگیزشی به کار می‌رود که به صورت‌های مختلفی دسته‌بندی می‌گردند. یکی از روش‌های دسته‌بندی تکنیک‌های مزبور، تقسیم‌بندی آن‌ها به روش‌های «مرزی» و «میانگین» می‌باشد. روش‌های محک‌زنی مرزی، مرز عملکرد کارا را از طریق بهترین بنگاه، در یک صنعت یا نمونه‌ای از بنگاه‌ها، برآورد نموده یا تعیین می‌نمایند که به عنوان محک برای سنجش نسبی عملکرد سایر بنگاه‌ها می‌باشند، در حالی که در روش‌های «میانگین»، محک‌زنی در رابطه با برخی از معیارهای میانگین یا متوسط عملکرد انجام می‌پذیرند. روش‌های اصلی محک‌زنی مرزی عبارتند از: تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، حداقل مربعات معمولی تصحیح شده (COLS) و تحلیل مرز تصادفی (SFA). روش DEA یک روش غیرپارامتری و بر اساس تکنیک برنامه‌ریزی خطی بوده و روش‌های COLS و SFA تکنیک‌های آماری و پارامتری می‌باشند. مزیت روش‌های غیر پارامتری در این می‌باشد که نیازی به فرض فرم تبعی و برخی فروض اولیه در رابطه با ماهیت تکنولوژی تولید (به استثنای فرض تحدب) ندارند. در عین حال، این روش‌ها به دلیل قطعی بودن، امکان تفکیک بین عامل ناکارایی و جزء تصادفی را فراهم نمی‌آورند. هر چند روش‌های پارامتری، اجازه تفکیک این دو را می‌دهند، اما نیازمند فرم تبعی بوده و در نتیجه مستعد خطای تصریح و مشکلات برآورد می‌باشند. با این وجود، جذابیت اصلی روش‌های پارامتری، ایجاد امکان انجام آزمون فرضیه و ساختن فاصله اطمینان می‌باشد (پودینه و جاماسب، ۲۰۱۵، به نقل از هالمارسون و همکاران[3]، ۱۹۹۶).

---

[1] Quality-Incorporated Efficiency Analysis (Cost – Quality)
[2] Kumbhakar & Lovell
[3] Hjalmarsson et al.

کیفیت خدمات شرکت‌های توزیع برق، می‌تواند شامل تعداد زیادی از جنبه‌های فنی و غیر فنی باشد. کیفیت تجاری[۱]، به عنوان جنبه غیر فنی و کیفیت ولتاژ[۲] و پیوستگی عرضه[۳]، از جمله جنبه‌های فنی کیفیت خدمات می‌باشند[۴]. در بین موارد اشاره شده، پیوستگی عرضه، مهم‌ترین جنبه کیفیت می‌باشد که در مباحث مقررات‌گذاری و به طور مشخص، تنظیم شبکه‌های توزیع برق[۵]، مورد توجه واقع گردیده است. اصلی‌ترین بُعد پیوستگی عرضه نیز، پیوستگی ارائه برق یا عدم وجود خاموشی می‌باشد (فیوماگالی و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر مدت زمان خاموشی، هزینه پایین‌تر توزیع برق نیز به عنوان شاخص کیفیت مورد استفاده قرار گرفته است (وکا، ۲۰۰۵). در جدیدترین رهیافت موسوم به مدل محک‌زنی تلفیقی[۶]، برخی معیارهای پولی از پیوستگی عرضه کیفیت خدمات مانند هزینه خاموشی[۷]، با استفاده از برآورد انرژی عرضه نشده[۸] و میانگین هزینه خاموشی‌ها برای هر گروه مصرف‌کنندگان[۹] محاسبه می‌گردد (گرووِیچ و همکاران، ۲۰۱۰). از این رهیافت می‌توان به عنوان یکی از شاخص‌ترین تلاش‌ها، به منظور وارد نمودن بُعد کیفیت خدمات در تحلیل کارایی شرکت‌های توزیع برق نام برد[۱۰].

مطالعات در خصوص رابطه کیفیت خدمات و کارایی شرکت‌های توزیع برق، عموما ذیل موضوع مقررات‌گذاری این شرکت‌ها صورت پذیرفته‌اند. در این بخش، به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود:

کورهونن و سیرجانن[۱۱] (۲۰۰۳) کارایی فنی ۱۰۶ شرکت توزیع برق فنلاند را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها بررسی نموده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که وارد نمودن

---

[1] Commercial Quality
[2] Voltage Quality
[3] Continuity of Supply
[۴] در مورد جزئیات هر یک از جنبه‌های کیفی و شاخص‌های مربوطه و همچنین ابزارهای تنظیم مقررات آن‌ها، به مطالعه فیوماگالی و همکاران (۲۰۰۷) مراجعه شود.
[۵] به طور معمول، قطعی برق مربوط به شبکه توزیع برق، بیشتر از شبکه انتقال می‌باشد.
[6] Integrated Benchmarking Model
[7] Interruption Cost
[8] Energy Not Supplied
[۹] میانگین هزینه خاموشی‌ها برای هر گروه مصرف‌کنندگان و به تفکیک نوع خاموشی (برنامه‌ریزی شده و برنامه‌ریزی نشده)، از طریق جمع آوری اطلاعات پیمایش مصرف‌کنندگان برآورد می‌گردد.
[۱۰] این روش از سال ۲۰۰۱ در رابطه با تنظیم مقررات کیفیت خدمات شرکت‌های توزیع برق نروژ مورد استفاده قرار گرفته است.
[11] Korhonen & Syrjanen

شاخص مدت زمان خاموشی سرانه به عنوان معیار کیفیت خدمات، موجب بهبود کارایی شرکت‌ها می‌گردد.

اجُدیا و همکاران[1] (۲۰۰۴) تاثیر کیفیت خدمات بر کارایی را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و روش حداقل مربعات تصحیح شده[2] برای یک نمونه مقطعی از چهار کشور بریتانیا، هلند، مجارستان و مالزی مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس یافته‌های آن‌ها، لحاظ نمودن کیفیت خدمات در برآورد کارایی، موجب افزایش معنی‌دار کارایی به ویژه در مورد شرکت‌های کوچک‌تر می‌گردد.

گیاناکیس و همکاران[3] (۲۰۰۵) مطالعه‌ای بر روی کارایی شرکت‌های توزیع برق بریتانیا با لحاظ نمودن کیفیت خدمات و استفاده از روش داده‌های تابلویی انجام داده‌اند. آن‌ها نشان داده‌اند که کارایی فنی، ضرورتا در بردارنده کیفیت بالای خدمات نمی‌باشد. همچنین مطابق نتایج، مقررات‌گذاری مبتنی بر محک‌زنی با در نظر گرفتن کیفیت، نسبت به رهیافت‌های مبتنی بر هزینه‌های خالص، برتری دارد.

وکا (۲۰۰۵) با برآورد تابع هزینه درجه دوم برای شرکت‌های برق خصوصی و عمومی آمریکا نشان داده است که شرکت‌های کوچک‌تر، هزینه‌های توزیع کمتر و کیفیت خدمات بالاتری را (بر حسب مدت زمان خاموشی کمتر) ارائه می‌نمایند.

گروویچ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از روش تحلیل مرز تصادفی، کارایی و صرفه‌های مقیاس را برای شرکت‌های توزیع برق هفت کشور اروپایی برآورد نموده‌اند. آن‌ها نشان داده‌اند که وارد نمودن بُعد کیفیت در تحلیل‌ها، کارایی‌های برآورد شده را به صورت معنی‌داری متاثر می‌سازد، به ویژه آن که کارایی شرکت‌های کوچک‌تر کاهش می‌یابد. از این رو نتیجه گرفته‌اند که کیفیت خدمات بایستی همواره جزئی از تحلیل‌های کارایی و اقتصادی انحصارات طبیعی در شرایط مقررات‌گذاری باشد.

یو و همکاران[4] (۲۰۰۹) ضمن بررسی تاثیر عوامل محیطی بر کارایی شرکت‌های توزیع برق بریتانیا با استفاده از روش دو مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها، بر لزوم گسترش مدل پایه به منظور وارد نمودن سایر نهاده‌ها نظیر هزینه کل و متغیرهای مربوط به

---

[1] Ajodhia et al.
[2] Corrected Ordinary Least Squares
[3] Giannakis et al.
[4] Yu et al.

کیفیت همچون دقایق اتلاف شده مصرف‌کننده (خاموشی) و اتلاف انرژی شبکه، تاکید نموده‌اند.

گروویچ و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، اثر وارد نمودن تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای کیفیت خدمات در مدل‌های محک‌زنی را بر روی کارایی شبکه‌های توزیع برق نروژ مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس نتایج، داخلی کردن اثرات خارجی یا هزینه‌های اجتماعی کیفیت خدمات، نقش مهمی در بهبود کارایی شرکت‌های توزیع برق نروژ ایفا نمی‌نماید.

فوجی و کانکو[1] (۲۰۱۱) با مطالعه ۲۲ شرکت توزیع برق منطقه‌ای اندونزی طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۵، تغییرات عملکردی عملیاتی آن‌ها را ارزیابی نموده‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که اتلاف انرژی شبکه دارای اثر معکوس بر عملکرد شبکه توزیع برق می‌باشد.

کورتون و همکاران[2] (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای، تبادل بین هزینه‌های عملیاتی و بهبود کیفیت خدمات شرکت‌های توزیع برق برزیل در یک رهیافت مقررات‌گذاری سقف قیمت را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج، تبادلی هر چند اندک، بین هزینه‌ها و کیفیت را آشکار نموده است.

گورلیچ و روهرنوسل[3] (۲۰۱۷) تاثیر وارد نمودن کیفیت عرضه را برای نمونه‌ای از اپراتورهای سیستم توزیع برق اتریش تحلیل نموده‌اند. این مطالعه شامل انجام تحلیلی پوششی داده‌ها با تصریح مدل‌های مختلف، تحلیل حساسیت در مورد قیمت کیفیت و تعیین قیمت سایه برای کیفیت خدمات می‌باشد. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که کیفیت خدمات ترجیحا بایستی به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از هزینه پایه نهاده تلقی گردد و نه به صورت نهاده جداگانه. یعنی بهتر است هزینه خاموشی‌ها به هزینه کل شبکه افزوده گردد. این کار حتی در صورتی که آزمون‌های آماری کلی نشان دهند که وارد نمودن کیفیت، تاثیر غیر معنی‌داری بر میانگین امتیازات کارایی دارند، باید انجام گیرد.

---

[1] Fuji & Kaneko
[2] Corton et al.
[3] Goerlich & Ruehrnoessl

کورتون و همکاران[1] (۲۰۱۹) در مطالعه خود در خصوص شرکت‌های توزیع برق برزیل چنین عنوان نموده‌اند که بهبود کیفیت، نیازمند منابع هزینه‌ای اضافی است، فلذا تنظیم تعرفه‌ها با استفاده از عامل کارایی، بدون در نظر گرفتن کیفیت، می‌تواند موجب عدم مزیت شرکت‌های با کیفیت بالا گردد. بدین ترتیب، این مطالعه اهمیت به کارگیری عوامل کیفی در رتبه‌بندی و تنظیم تعرفه‌های این شرکت‌ها را برجسته می‌سازد.

سابیمانا[2] (۲۰۲۰) عملکرد شرکت‌های توزیع برق هشت کشور آفریقای شرقی را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم کوئیست مورد بررسی قرارداده‌اند. آنان در مطالعه خود، اتلاف انرژی را به عنوان شاخص کیفیت خدمات مورد توجه قرار داده‌اند. بر اساس یافته‌ها، بهره‌وری جزئی نشان‌دهنده بالا بودن میزان اتلاف انرژی بوده که دامنه آن به صورت میانگین از ۱۸ تا ۲۵ درصد می‌باشد.

مولر و رگو[3] (۲۰۲۱) اثرات بلندمدت خصوصی‌سازی شرکت‌های توزیع برق برزیل را که بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ انجام گرفته است، با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری شاخص‌های مقررات‌گذاری شرکت‌های خصوصی‌سازی شده و مالکیت عمومی[4] مورد بررسی قرار داده‌اند. نمونه مورد بررسی شامل شاخص‌های مربوط به کیفیت خدمات، اتلاف انرژی، هزینه‌های عملیاتی و سودآوری ۳۴ شرکت توزیع برق (۹۷ درصد بازار انرژی) طی دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۸ می‌باشد. بر اساس نتایج، مالکیت خصوصی (با توجه به اهداف مقررات‌گذاری) تاثیر مثبتی بر هر دو شاخص مالی و کیفیت خدمات داشته است.

قاسمی و همکاران[5] (۲۰۲۱) یک مدل نوین پویا برای تعیین پارامترهای جریمه و پاداش شرکت‌های توزیع برق به ایران منظور بهبود کیفیت خدمات آن‌ها معرفی نموده‌اند. این مدل جدید شامل سه مرحله می‌باشد و نتایج مطالعه، اثربخشی مدل معرفی شده را در بالا بردن قابلیت اطمینان شبکه توزیع تایید می‌نماید.

---

[1] Corton et al.
[2] Nsabimana
[3] Muller & rego
[4] State-Owned Enterprises (SOEs)
[5] Ghasemi et al.

سابیمانا و همکاران[1] (۲۰۲۱) هزینه نهایی بهبود کیفیت خدمات شرکت توزیع برق بروندی را برآورد نموده‌اند. آنان برای این منظور ضمن بهره‌گیری از رهیافت تابع فاصله ستانده پارامتری، از تلفات ناشی از قطع برق به عنوان کیفیت خدمات شرکت توزیع برق استفاده نموده و در نهایت به مقایسه هزینه نهایی برآوردی در مناطق مختلف پرداخته‌اند.

یوان و همکاران[2] (۲۰۲۱) با استفاده از رهیافت تابع فاصله ستانده و داده‌های تلفیقی استانی طی دوره زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۲، قیمت سایه خاموشی‌های شبکه توزیع چین را که همان هزینه نهایی بهبود اطمینان‌پذیری عرضه برق می‌باشد، برآورد نموده‌اند. بر اساس یافته‌ها، به دلیل آنکه مشوق‌ها نمی‌توانند هزینه بهبود کیفیت را پوشش دهند، فلذا طرح‌های انگیزشی اجرا شده نمی‌توانند انگیزه بهبود کیفیت را فراهم آورند.

میرزا و مشتاق[3] (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های پانلی برای هشت شرکت توزیع برق پاکستان طی دوره زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۶ و به کارگیری روش برآورد گشتاورهای تعمیم یافته[4] ($GMM$)، هزینه نهایی بهبود کیفیت خدمات را بر حسب تلفات و خاموشی تخمین زده و پیشنهاد نموده‌اند تا نهادهای مقررات‌گذار، هزینه‌های نهایی برآورد شده را برای طراحی چارچوب مقررات‌گذاری انگیزشی کارآمد مورد استفاده قرار دهند.

پرتیکو و همکاران[5] (۲۰۲۲) با تمرکز بر شاخص مدت زمان خاموشی، مدل‌های آماری را برای تعیین گزینه‌های عملی فن‌آوری به منظور بهبود عملکرد شرکت‌های توزیع برق فراهم نموده‌اند. تحلیل‌های آنان بر اساس زیرمجموعه‌ای از پایگاه داده غیر محرمانه موسوم به دیده‌بان شرکت‌های توزیع برق مشتمل بر حدودا ۱۰۰ شرکت توزیع برق اروپا انجام گرفته است. آنان بر مبنای تحلیل‌های مذکور، ویژگی‌های فن‌آوری را مشخص نموده‌اند که بیشترین تاثیر را بر کیفیت خدمات ارائه شده داشته‌اند.

سیرگر و همکاران[6] (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای بر روی ۳۰۰ مشتری و پاسخ‌دهنده، تاثیر کیفیت خدمات بر رضایت مشتریان و وجهه شرکت‌های توزیع برق مجارستان را مورد

---

[1] Nsabimana et al.
[2] Yuan et al.
[3] Mirza & Mushtaq
[4] Generalized Method of Moments Estimation
[5] Prettico et al.
[6] Siregar et al.

بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داده‌اند که کیفیت خدمات همزمان بر رضایت‌مندی مشتریان و وجهه شرکت‌ها اثرگذار می‌باشد.

چن و همکاران[1] (۲۰۲۳) با استفاده از نظریه بازی‌ها به بررسی زنجیره تامین برق با یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش پرداخته‌اند که در آن، تولیدکننده برق در انرژی تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری نموده و برق را به خرده‌فروش می‌فروشد و در مرحله بعد خرده‌فروش برق را با توجه به کیفیت خدمات برق به مصرف‌کنندگان می‌فروشد. مقایسه راه حل‌های بهینه در مدل‌های مختلف ساختار برق، نشان می‌دهد که بالاترین کیفیت خدمات و بیشترین سرمایه‌گذاری در انرژی تجدیدپذیر در مدل بازی نش عمودی به دست می‌آید.

مطالعات داخلی متعددی همچون فلاحی و احمدی[2] (۱۳۸۵)، فلاحی و همکاران[3] (۱۳۹۰)، سخنور و همکاران[4] (۱۳۹۰)، سخنور و همکاران[5] (۱۳۹۱)، سلیمی و کرامتی[6] (۱۳۹۴)، برادران و یعقوبی[7] (۱۳۹۴)، محمدلو و همکاران[8] (۱۳۹۵) به بررسی کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران پرداخته‌اند. رضایی[9] (۱۳۹۲) ضمن برآورد کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران با استفاده از مدل مازاد مبنا به بررسی عوامل موثر بر کارایی پرداخته‌اند. حقی‌فام و همکاران[10] (۱۳۹۵) کیفیت خدمات را ذیل مباحث مربوط به مقررات‌گذاری و کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران مد نظر قرار داده‌اند. قاسمی و دشتی[11] (۱۳۹۵) روشی برای برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری شرکت‌های توزیع برق ایران به منظور بهبود قابلیت اطمینان سیستم بر حسب متوسط زمان خاموشی سیستم ارائه نموده‌اند. پورعبادالهان کویچ و همکاران[12] (۱۳۹۶) به تصحیح کارایی شرکت‌های توزیع

---

[1] Chen et al.
[2] Falahi & Ahmadi (2006)
[3] Falahi et al. (2012)
[4] Sokhanvar et al. (2011)
[5] Sokhanvar et al. (2012)
[6] Salimi, & Keramati (2016)
[7] Baradaran & yaghoubi (2016)
[8] Alimohammadlou et al. (2017)
[9] Rezaei (2013)
[10] Haghifam et al. (2016)
[11] Ghasemi & Dashti (2016)
[12] Pourebadollahan Covich et al. (2017)

برق ایران با استفاده از عوامل محیطی پرداخته‌اند. خداداد کاشی و همکاران[1] (۱۳۹۸) با در نظر داشتن همزمان ملاحظات کیفیت خدمات و کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران، به هدف‌گذاری بهره‌وری و کیفیت خدمات برای یک دوره مقررات‌گذاری پرداخته‌اند. پورعبادالهان کویچ و همکاران[2] (۱۴۰۰) رابطه بین کارایی و مقیاس شرکت‌های توزیع برق ایران را با استفاده از تحلیل مرز تصادفی و رهیافت تابع فاصله مورد بررسی قرار داده‌اند. قطب‌الدینی و طوسیان شاندیز[3] (۱۴۰۰) با استفاده از مدل دارایی‌های روشنایی معابر و بدون نیاز به اقدام ثانویه، همزمان با ارزیابی کارایی و محک‌زنی مناطق، ابزاری برای تنظیم اهداف اقتصادی در سرمایه‌گذاری اولیه و نگهداری دوره عمر روشنایی معابر به شرکت توانیر و شرکت توزیع برق پیشنهاد نموده‌اند. پورعبادالهان کویچ و همکاران (۱۴۰۰) به ارائه الگویی برای مقررات‌گذاری هزینه‌های سرمایه‌گذاری شرکت‌های توزیع برق ایران از طریق جریمه و پاداش شرکت‌های مزبور پرداخته‌اند. رادسر و همکاران[4] (۱۴۰۰) با به کارگیری مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، نمرات کارایی کل و نمرات فرایندهای تولید، انتقال و توزیع برق را ضمن در نظر گرفتن داده‌های اصلی و مازاد، اندازه‌های میانی، ستانده‌های خوب و ستانده‌های بد، محاسبه نموده و نواحی با بیشترین کارایی را مشخص کرده‌اند. خسروی و همکاران[5] (۱۴۰۱) با ارائه مدلی بر مبنای روش شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها با حضور ستانده‌های نامطلوب، کارایی بخش‌های سه‌گانه تولید، انتقال و توزیع زنجیره صنعت برق ایران را محاسبه نموده‌اند. اعتضادی و همکاران[6] (۱۴۰۱) با استفاده از رویکرد بهترین-بدترین فازی و تحلیل پوششی داده‌ها و توجه همزمان به سه جنبه کیفیت، کارایی و اثربخشی، به ارزیابی بهره‌وری خدمات شرکت توزیع برق مازندران پرداخته‌اند.

ملاحظه می‌گردد که مطالعه داخلی در خصوص تاثیر کیفیت خدمات بر کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران وجود ندارد. از همین روی، مطالعه حاضر به بررسی تاثیر وارد نمودن متغیر کیفیت خدمات در تصحیح کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران می‌پردازد.

---

[1] Khodadad Kashi et al. (2019)
[2] Pourebadollahan Covich et al. (2021)
[3] Ghotboddini & Toossian Shandiz (2021)
[4] Radsar et al. (2021)
[5] Khosravi et al. (2022)
[6] Etezadi et al. (2022)

## ۳. روش‌شناسی تحقیق

همان گونه که پیشتر نیز موره اشاره گرفت، روش‌های برآورد کارایی در قالب دو دسته پارامتری و غیر پارامتری تقسیم‌بندی می‌شوند. روش مورد استفاده در این مطالعه، مبتنی بر تکنیک پارامتری تحلیل مرز تصادفی می‌باشد که اولین بار توسط اینر و همکاران[۱] (۱۹۷۷) و میوسِن و وَن دِن بروئک[۲] (۱۹۷۷) معرفی گردید. از مزایای این روش، امکان مدل‌سازی شوک‌های تصادفی و خطای اندازه‌گیری در داده‌ها می‌باشد. در این روش، مرز کارا یا بهترین عملکرد، برآورد گردیده و سایر واحدهای تولیدکننده (بنگاه‌ها) بر اساس کارایی برآورد شده‌شان، رتبه‌بندی می‌شوند. به دلیل ماهیت چند نهاده‌ای و چند ستانده‌ای بودن شرکت‌های توزیع برق، در مطالعه حاضر برای تصریح تکنولوژی تولید این شرکت‌ها، از رهیافت تابع فاصله[۳] استفاده می‌شود. این رهیافت، نیازمند فروض رفتاری خاص همچون فرض حداقل‌سازی هزینه یا حداکثرسازی سود برای بنگاه‌ها نمی‌باشد[۴]، فلذا نسبت به رهیافت‌هایی مانند برآورد تابع هزینه یا تابع درآمد، برتری دارد (کوئلی و همکاران[۵]، ۲۰۰۵). تابع فاصله که اولین بار توسط شفارد[۶] (۱۹۵۳) معرفی گردید، می‌تواند در قالب دو رویکرد نهاده‌گرا[۷] و رویکرد ستانده‌گرا[۸] مطرح شود. تابع فاصله نهاده‌گرا، حداکثر مقدار ممکن کاهش متناسب در بُردار نهاده را به ازای بُردار معین ستانده مشخص می‌سازد، در حالی که تابع فاصله ستانده‌گرا، حداکثر مقدار ممکن بُردار ستانده را به ازای بُردار معین نهاده مشخص می‌نماید. تابع فاصله نهاده‌گرا، امکان برآورد کارایی بنگاه‌ها را زمانی که دسترسی به داده‌های مربوط به قیمت نهاده‌ها وجود ندارد[۹]، میسر می‌سازد (حجرگشت و همکاران[۱۰]، ۲۰۰۸). در خصوص

---

[1] Aigner et al.
[2] Meeusen & van den Broec
[3] Distance Function
[۴] در شرکت‌ها یا صنایع با مالکیت دولتی (همانند شرکت‌های توزیع برق)، فرض حداقل‌سازی هزینه، مورد تردید می‌باشد (حجرگشت و همکاران، ۲۰۰۸).
[5] Coelli et al.
[6] Shepard
[7] Input Oriented
[8] Output Oriented
[۹] این امر، به ویژه در مورد نهاده‌های سرمایه‌ای صادق می‌باشد.
[10] Hajargasht et al.

شرکت‌های توزیع برق، استفاده از تابع فاصله نهاده‌گرا امری رایج می‌باشد، چرا که ستانده‌های شبکه توزیع برق به صورت برون‌زا توسط تقاضای مصرف‌کننده نهایی تعیین می‌شوند و شرکت‌ها صرفا می‌توانند هزینه‌های ارائه ستانده‌های مزبور را حداقل نمایند (گرووپچ و همکاران، ۲۰۱۲). در حالت کلی، تابع فاصله نهاده‌گرا به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$D^I(x, y) = max\left\{\Psi: \left(\frac{x}{\Psi}\right) \in L(y)\right\} \qquad (۲)$$

جایی که مجموعه نهاده $L(y)$ نشان‌دهنده مجموعه‌ای از تمام بُردارهای نهاده $x$ است که می‌توانند بُردار ستانده $y$ را تولید نمایند. $\Psi$کاهش متناسب در بردار نهاده $x$ را اندازه می‌گیرد. $D^I$ تابع فاصله نهاده‌گرا می‌باشد که برای کاراترین بنگاه یا بهترین عملکرد، مقدار یک و برای سایر بنگاه‌ها، با افزایش فاصله از مرز عملکرد کارا، مقادیر بزرگتر از یک اختیار می‌نماید. تابع مذکور نسبت به بردار نهاده، مقعر، غیر کاهنده و همگن خطی بوده و نسبت به بردار ستانده، غیر فزاینده و شبه مقعر می‌باشد. کارایی فنی نهاده‌گرای یک بنگاه به صورت معکوس مقدار تابع فوق و از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$TE = \frac{1}{D^I(x, y)} \quad , \quad 0 < TE \leq 1 \qquad (۳)$$

فرم تابعی ترنسلوگ که اولین بار توسط کریستنسن و همکاران[1] (۱۹۷۳) معرفی گردید، به دلیل برخورداری از مزایای مختلف، برای تصریح تابع فاصله مورد استفاده قرار می‌گیرد. با فرض وجود K نهاده و M ستانده، تابع فاصله نهاده‌گرای ترنسلوگ به شکل زیر تصریح می‌شود:

$$\ln D^I_{it} = f[\ln x_{it}, \ln y_{it}, t] + v_{it} = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M} \alpha_m \ln y_{mit} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} \alpha_{mn} \ln y_{mit} \ln y_{nit} + \sum_{k=1}^{K} \ln x_{kit} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{K} \beta_{kl} \ln x_{kit} \ln x_{lit} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} \delta_{km} \ln x_{kit} \ln y_{mit} + \theta t + v_{it} \qquad (۴)$$

که در آن، i بیانگر بنگاه بوده و t نشان‌دهنده زمان می‌باشد که به منظور لحاظ نمودن تغییرات فنی و تمام متغیرهایی که در طول زمان بر بنگاه‌ها اثرگذار بوده، اما جزو نهاده‌ها یا ستانده‌ها نمی‌باشند، وارد مدل می‌گردد. از جمله مزایای فرم تابعی ترنسلوگ، انعطاف‌پذیری آن و امکان تحمیل فرضیاتی از نظریه اقتصاد خرد همچون همگنی و

[1] Christensen et al.

تقارن می‌باشد. به منظور برقراری فروض همگنی خطی و تقارن بایستی روابط به ترتیب (۵) و (۶) بر روی پارامترهای مدل اِعمال گردند:

$$\sum_{k=1}^{K}\beta_k = 1 \quad , \quad \sum_{k=1}^{K}\beta_{kl}=0 \quad , \quad k= 1, 2, \ldots\ldots, K$$
$$\sum_{k=1}^{K}\delta_{km} = 0 \qquad m= 1, 2, \ldots\ldots, M \qquad (۵)$$
$$\alpha_{mn} = \alpha_{nm} \quad , \quad m, n = 1, 2, \ldots, M$$
$$\beta_{kl} = \beta_{lk} \quad , \quad k, l = 1, 2, \ldots\ldots, K \qquad (۶)$$

اِعمال قید همگنی خطی به وسیله تعدیل K-1 نهاده توسط K اُمین نهاده، منجر به تبدیل رابطه (۴) به رابطه (۷) می‌شود که می‌توان آن را به صورت رابطه (۸) بازنویسی کرد:

$$- ln\, x_{Kit} = f[ln\,(\frac{x_{kit}}{x_{Kit}}).\, ln\, y_{mit}\,.\, t\,] + v_{it} - u_{it}$$
$$ln\, D_{it}^{I} = u_{it} \quad v_{it} \sim iidN\,(0\,,\,\sigma_v^2) \quad , \quad u_{it} \sim iidN^{+}(0\,,\,\sigma_u^2) \qquad (۷)$$
$$- ln\, x_{Kit} = f[\,ln\,(\frac{x_{kit}}{x_{Kit}})\,,\, ln\, y_{mit\,,}\, t\,] + v_{it} - u_{it} = \alpha_0 + \sum_{m=1}^{M}\alpha_m\, ln\, y_{mi} + \frac{1}{2}$$
$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M}\alpha_{mn}\; lny_{mi} lny_{ni} + \sum_{k=1}^{K-1}\beta_k\; ln\,(\frac{x_{ki}}{x_{Ki}}) + \frac{1}{2}$$
$$\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{l=1}^{K-1}\beta_{kl}\, ln\left(\frac{x_{ki}}{x_{Ki}}\right)\; ln\,(\frac{x_{li}}{x_{Ki}}) + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{m=1}^{M}\delta_{km}\, ln\,(\frac{x_{ki}}{x_{Ki}})\, ln\, y_{mi} + \theta\, t +$$
$$v_{it} - u_{it} \qquad (۸)$$

که در آن، $v_{it}$ جزء خطای تصادفی با توزیع نرمال بوده و $u_{it}$ نمایانگر ناکارایی فنی است که دارای توزیع نیم‌نرمال[1] می‌باشد. رابطه (۸) با استفاده از تکنیک تحلیل مرز تصادفی، قابل برآورد می‌باشد. کارایی فنی برای هر دوره زمانی بنگاه از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$TE_{it} = exp(-u_{it}) \qquad (۹)$$

پس از برآورد تابع فاصله نهاده‌گرا، می‌توان پارامترهای برآورد شده را برای محاسبه صرفه‌های مقیاس و تنوع محصول به کار برد. صرفه‌های مقیاس که بر حسب بازده به مقیاس[2] (RTS) بیان می‌گردد، واکنش هزینه به افزایش متناسب در تمامی ستانده‌ها را اندازه می‌گیرد. فیر و پریمونت[3] (۱۹۹۶) نشان داده‌اند که بازده نسبت به مقیاس را می‌توان از طریق رابطه زیر به دست آورد:

---

[1] Half- Normal
[2] Return to Scale
[3] Fare and Primont

$$RTS = -\left(\frac{1}{\sum_{m=1}^{M}\varepsilon_m}\right) = -\left(\frac{1}{\sum_{m=1}^{M}\frac{\partial lnD^I}{\partial lny_m}}\right) \qquad (۱۰)$$

مقادیر بزرگتر از یک، بیانگر بازده فزاینده نسبت به مقیاس و مقادیر کوچکتر از یک، نشان‌دهنده بازده کاهنده نسبت به مقیاس می‌باشند. حجرگشت و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از نظریه دوگان، معیار صرفه‌های تنوع محصول بین دو ستانده m و n را با استفاده از مشتقات مرتبه اول و دوم تابع فاصله نهاده‌گرا به صورت زیر تعریف نموده‌اند:

$$Scope_{mn} = \frac{\partial D}{\partial y_m}\frac{\partial D}{\partial y_n} - \frac{\partial^2 D}{\partial y_m \partial y_n} + \left[\frac{\partial^2 D}{\partial y_m \partial x_1} \cdots \frac{\partial^2 D}{\partial y_m \partial x_K}\right] \times \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 D}{\partial x_1^2} + \frac{\partial D}{\partial x_1}\frac{\partial D}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial^2 D}{\partial x_1 \partial x_K} + \frac{\partial D}{\partial x_1}\frac{\partial D}{\partial x_K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 D}{\partial x_K \partial x_{K1}} + \frac{\partial D}{\partial x_K}\frac{\partial D}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial^2 D}{\partial x_K^2} + \frac{\partial D}{\partial x_K}\frac{\partial D}{\partial x_K} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 D}{\partial x_1 \partial y_n} \\ \vdots \\ \frac{\partial^2 D}{\partial x_K \partial y_n} \end{bmatrix} \qquad (۱۱)$$

مقادیر منفی نشان‌دهنده صرفه‌های تنوع محصول و مقادیر مثبت نشانگر عدم صرفه‌های تنوع محصول می‌باشند.

همچنین پارامترهای برآورد شده را می‌توان برای محاسبه کشش‌های جزئی تابع فاصله نسبت به هر نهاده ($\frac{\partial LnD^I}{\partial Lnx_k}$) و ستانده ($\frac{\partial LnD^I}{\partial Lnxy_m}$) به کار برد که سهم ضمنی هر یک از آن‌ها را به ترتیب در کل نهاده‌ها و ستانده‌ها نشان می‌دهد (اتکینسون و پریمونت[1]، ۲۰۰۲).

یکی از مهم‌ترین موضوعات در تحلیل‌های کارایی، انتخاب متغیرهای نهاده و ستانده می‌باشد. به بیان گرووِیچ و همکاران (۲۰۰۹)، شرکت‌های توزیع برق، مقدار انرژی مورد نیاز را به تعداد معینی از مشتریان به عنوان یک خدمت مشترک فراهم می‌نمایند، بنابراین در مطالعه حاضر، تعداد مشترکین[2] (CU) و انرژی توزیع شده[3] (DE)، به عنوان ستانده‌های مدل انتخاب گردیده‌اند. در خصوص انتخاب نهاده‌ها نیز، با عنایت به مطالعه پودینه و جاماسب (۲۰۱۵) از متغیرهای هزینه‌های سرمایه‌گذاری (In) و متغیر سایر هزینه‌ها (C) استفاده گردیده است. هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل سرمایه‌گذاری در طرح توسعه و احداث توزیع، اصلاح و بهینه‌سازی، سرمایه‌گذاری در روشنایی معابر و

[1] Atkinson & Primont

[2] اشخاص حقیقی یا حقوقی که انشعاب یا انشعاب‌های مورد تقاضای آن‌ها بر طبق مقررات برقرار شده باشد.

[3] به مفهوم فروش انرژی (با روشنایی معابر) به مشترکین می‌باشد.

برق روستایی، سرمایه‌گذاری در بخش عمومی اداری و فناوری اطلاعات و سایر سرمایه‌گذاری‌ها می‌باشد. متغیر سایر هزینه‌ها با افزودن هزینه اتلاف انرژی شبکه[۱] (CNEL) به هزینه‌های عملیاتی (OPEX) به دست می‌آید. هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه‌های بهره‌برداری از شبکه توزیع، هزینه تعمیرات و نگهداری از شبکه، هزینه نگهداری و تعمیرات روشنایی معابر، هزینه خدمات مشترکین، هزینه‌های عمومی اداری و فروش، و سایر هزینه‌های عملیاتی می‌باشد. هزینه اتلاف انرژی شبکه[۲] نیز، از حاصل‌ضرب مقدار اتلاف انرژی[۳] (ELOSS) در متوسط قیمت فروش برق به دست آمده و به عنوان هزینه اثرات خارجی منفی[۴] وارد مدل می‌گردد. اثرات خارجی منفی زمانی اتفاق می‌افتد که فعالیت شرکت تولیدکننده اثر خارجی، باعث کاهش مطلوبیت واحدی شود که از آن تاثیر می‌پذیرد. به عنوان مثال، تلفات شبکه می‌تواند منجر به انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای گردد که اثر منفی بر محیط اطراف از جمله بر فعالیت‌های کشاورزی و نیز سلامت افراد پیرامون دارد و شرکت توزیع برق به ازای این فعالیت که سایر واحدها را متأثر می‌نماید مجبور به پرداخت مبلغی نیست، در حالی که سایرین مجبور به پرداخت هزینه آلودگی هوا و محیط زیست هستند. بنابراین مقررات‌گذار باید انگیزه کافی برای کاهش تلفات شبکه توزیع برق را فراهم آورد. به منظور بررسی تاثیر کیفیت خدمات بر کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران، مدل کارایی تحت دو حالت مورد تخمین قرار می‌گیرد. در مدل اول (هزینه-خالص)، از سایر هزینه‌ها و هزینه‌های سرمایه‌گذاری به عنوان نهاده استفاده می‌گردد. در مدل دوم (هزینه-کیفیت)، متغیر زمان خاموشی هر مشترک در روز (Otg) به عنوان تقریب کیفیت خدمات و به صورت نهاده سوم، وارد مدل می‌گردد. متغیر مزبور، به پیروی از مطالعاتی از قبیل جاماسب و پولیت (۲۰۰۷)، گرووپچ و همکاران (۲۰۰۹)، پودینه و جاماسب (۲۰۱۵)، به عنوان تقریب هزینه کیفیت پایین خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که پیش از برآورد مدل‌ها، تمامی متغیرها با تقسیم به میانگین نمونه آنها نرمال گردیده‌اند.

---

[1] Cost of Network Energy Loss

[۲] تلفات شبکه به میزان انرژی که به صورت فیزیکی (به عنوان گرما، سر و صدا یا سرقت) در طول شبکه توزیع از دست می‌رود، گفته می‌شود که می‌تواند به زیان‌های متغیر، ثابت و غیر فنی تقسیم شود (کیانی، ۱۳۹۷).

[3] Energy Loss

[4] Negative Externalities

این کار، تاثیر مشاهدات دور افتاده را، بدون اثرگذاری بر ساختار داده‌ها، کاهش می‌دهد[۱] (گرووپچ و همکاران، ۲۰۰۹).

## ۴-داده‌ها

مجموعه داده‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر، متشکل از ۳۹ شرکت توزیع برق ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۹۰ می‌باشد[۲]. داده‌های مورد استفاده از سالنامه آماری وزارت نیرو و ترازنامه شرکت‌های توزیع برق ایران طی سال‌های مختلف و مراجعه به شرکت توانیر استخراج شده‌اند. همچنین متغیرهای مالی مورد استفاده به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ تبدیل گردیده‌اند. جدول (۱) آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد استفاده را نمایش می‌دهد.

**جدول (۱): آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد استفاده**

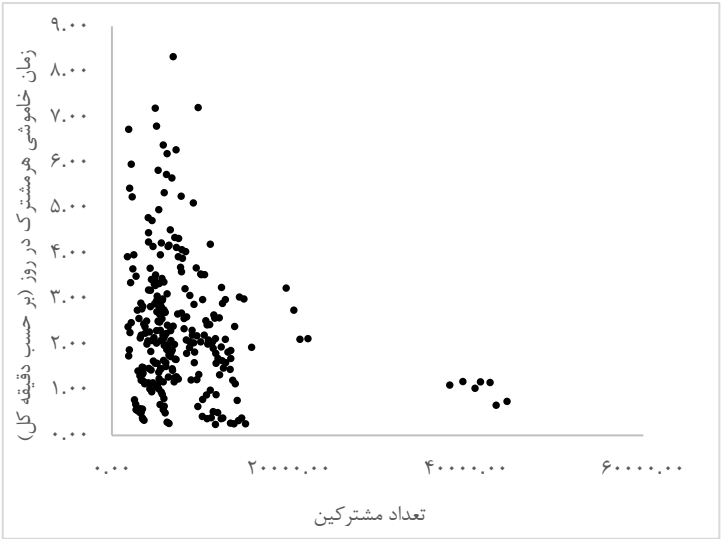
| متغیر | واحد | میانگین | انحراف معیار | کمینه | بیشینه |
|---|---|---|---|---|---|
| هزینه‌های عملیاتی ($OPEX$) | (میلیون ریال) | ۲۱۵۴۱۸/۲ | ۱۵۷۲۶۳/۱ | ۴۲۰۵۸/۰۱ | ۱۰۸۲۴۰۸ |
| هزینه‌های سرمایه‌گذاری ($In$) | (میلیون ریال) | ۲۲۷۹۹۴/۲ | ۱۴۶۵۶۷/۷ | ۰ | ۱۱۴۲۳۱۴ |
| زمان خاموشی هر مشترک در روز ($Otg$) | دقیقه | ۲/۳۳۵۶ | ۱/۴۶۸۷ | ۰/۲۴۷۳ | ۸/۳۴۱۰ |
| هزینه اتلاف انرژی شبکه ($CNEL$) | (میلیون ریال) | ۱۹۶۰۶۲/۹ | ۱۸۸۷۵۸/۴ | ۲۱۹۱۴/۲ | ۱۳۴۵۸۳ |
| تعداد مشترکین ($CU$) | | ۸۰۳۶۸۴/۴ | ۶۵۸۵۴۵/۵ | ۱۷۰۷۴۸ | ۴۴۵۶۹۴۸ |
| انرژی توزیع‌شده ($DE$) | (میلیون کیلووات ساعت) | ۴۵۷۶/۸۷۸ | ۳۵۰۷/۸۶۱ | ۸۳۶ | ۲۰۳۸۰ |

منبع: یافته‌های تحقیق

[۱] در این حالت، ضرایب مرتبه اول می‌تواند به عنوان کشش ستانده در میانگین نمونه تعبیر گردند (کوئلی و همکاران، ۲۰۰۳).

[۲] لازم به توضیح است که محدودیت شدید دسترسی به داده‌های اصلی مطالعه نظیر هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری، و به ویژه متغیر خاموشی (به دلیل سیاست‌های سخت‌گیرانه کمیته واگذاری اطلاعات توانیر در زمینه محرمانه بودن داده‌های مذکور)، در نحوه انتخاب و محدود نمودن دوره زمانی مطالعه تاثیرگذار بوده است.

نمودار (۱) پراکندگی داده‌های مربوط به زمان خاموشی هر مشترک در روز را در برابر اندازه شرکت‌ها نمایش می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌گردد به نظر می‌آید که بر خلاف فرضیه وکا، با افزایش اندازه شرکت‌ها، از میزان خاموشی‌ها کاسته می‌شود[۱].




**نمودار (۱): زمان خاموشی هر مشترک در روز و اندازه شرکت‌های توزیع برق**

منبع: یافته‌های تحقیق

در این قسمت، نتایج مدل‌های برآورد شده مورد بررسی قرار می‌گیرد که با تجزیه و تحلیل کارایی فنی، صرفه‌های مقیاس و تنوع محصول شرکت‌ها در مدل هزینه-خالص شروع می‌شود و سپس به مدل هزینه-کیفیت بسط داده می‌شود[۲]. جدول (۲) نتایج برآورد تابع فاصله نهاده‌گرا را برای مدل هزینه-خالص نشان می‌دهد.

**جدول (۲): نتایج برآورد مدل هزینه-خالص**

| متغیر وابسته: - ln(C) | | |
|---|---|---|
| متغیر | ضریب | انحراف معیار |
| ln(CU) | -۰/۵۰۷۰*** | ۰/۰۴۱۹ |
| ln(DE) | -۰/۳۴۷۵*** | ۰/۰۴۲۶ |
| ln(CU)*ln(DE) | ۰/۹۳۳۳*** | ۰/۱۵۱۶ |

[۱] این امر به وسیله رگرسیون مقادیر متغیر خاموشی بر روی تعداد مشترکین نیز مورد تایید قرار می‌گیرد.

[۲] تمامی برآوردها و آزمون آماری با استفاده از نرم افزار Stata 15 انجام پذیرفته است.

| | | |
|---|---|---|
| $\ln^2(CU)\frac{1}{2}$ | - ۱/۲۵۱۶*** | ۰/۲۰۹۵ |
| $\ln^2(DE)\frac{1}{2}$ | - ۰/۷۶۸۶*** | ۰/۱۲۱۹ |
| $\ln(\frac{In}{C})$ | ۰/۲۴۶۳*** | ۰/۰۴۰۲ |
| $\ln^2(\frac{In}{C})\frac{1}{2}$ | ۰/۲۵۶۶** | ۰/۱۳۳۹ |
| $\ln(\frac{In}{C}) * \ln(CU)$ | - ۰/۰۶۲۷ | ۰/۰۹۹۲ |
| $\ln(\frac{In}{C}) * \ln(DE)$ | ۰/۰۲۰۸ | ۰/۰۸۴۱ |
| Constant | ۰/۲۷۰۴*** | ۰/۰۳۷۴ |
| Wald $\chi^2$ (۹) =۲۱۳۰/۹۳ > $\chi^2$ = ۰/۰۰۰ | | Prob |

منبع: یافته‌های تحقیق

توجه: *، ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده سطح معنی‌داری ۱۰، ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

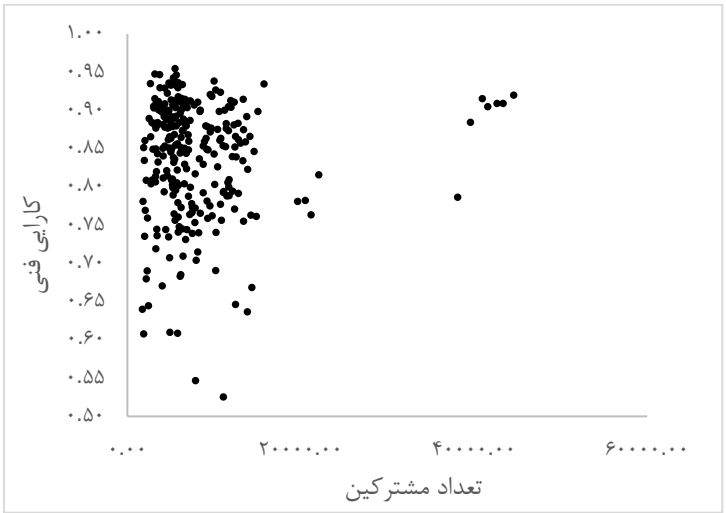
ضرایب مرتبه اول ستانده‌ها و نهاده، از نظر آماری معنی‌دار بوده و علائم مورد انتظار را دارند[۱]. علائم ضرایب مرتبه اول ستانده‌ها نشان می‌دهند که با افزایش تعداد مشترکین و انرژی توزیع شده، سایر هزینه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین علامت ضریب مرتبه اول نهاده نشان می‌دهد که با افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، سایر هزینه‌ها کاهش می‌یابد که این امر حاکی از جانشینی بین دو نهاده هزینه‌های سرمایه‌گذاری و سایر هزینه‌ها است. مقدار آماره آزمون والد، تاثیر سیستماتیک متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته را در سطح معنی‌داری بالا نشان می‌دهد. مقدار میانگین کشش تابع فاصله نسبت به سرمایه‌گذاری برای شرکت‌های کوچک، ۰/۳۰۴۶و برای شرکت‌های متوسط، ۰/۲۲۵۱ و برای شرکت‌های بزرگ ۰/۱۱۶۵ می‌باشد[۲]. بنابراین، گسترش ستانده‌ها در شرکت‌های کوچک‌تر به طور نسبی نیازمند سرمایه‌گذاری بیشتر بوده، در حالی که این کار با افزایش اندازه شرکت‌ها به طور نسبی نیازمند سایر هزینه‌های بالاتر می‌باشد. کشش جزئی تابع فاصله نسبت به سرمایه‌گذاری نشان می‌دهد که بیشترین سهم سرمایه‌گذاری از کل نهاده‌ها مربوط به شرکت‌های کوچک‌تر می‌باشد. این نسبت برای شرکت‌های

[۱] متغیر زمان، به دلیل تاثیر نامطلوب آن بر معنی‌داری سایر متغیرها، از مدل جدید حذف گردیده است.

[۲] به منظور بررسی رابطه بین کارایی فنی و اندازه شرکت‌ها، شرکت‌های توزیع برق به سه گروه کوچک، متوسط و بزرگ طبقه‌بندی گردیده‌اند. شرکت‌های کوچک به عنوان بخشی از صدک ۵۰ درصدی تعداد مشترکین، شرکت‌های متوسط در صدک ۵۰ تا ۹۵ درصد، و شرکت های بزرگ، بزرگ‌ترین ۵ درصد هستند (گرووپچ و

منبع: یافته‌های تحقیق

متوسط کاهش می‌یابد و در شرکت تهران بزرگ به کمترین حد می‌رسد. این موضوع در رابطه با سایر هزینه‌ها به صورت معکوس می‌باشد[۱]. کشش‌های جزئی تابع فاصله نسبت به ستانده‌ها نیز اطلاعات ارزشمندی در رابطه با عوامل برانگیزنده هزینه شرکت‌های توزیع برق ارائه می‌نماید. به عنوان مثال، میانگین کشش تابع فاصله نسبت به تعداد مشترکین (به صورت قدر مطلق) برای شرکت‌های کوچک ۰/۲۵۵۴ می‌باشد، بدین معنی که ۱۰ درصد افزایش در تعداد مشترکین برای این شرکت‌ها، به طور میانگین نیازمند ۲/۵ درصد افزایش متناسب در همه نهاده‌ها است، در حالی که این عدد برای شرکت‌های متوسط ۶/۵ درصد می‌باشد. در مورد کشش تابع فاصله نسبت به انرژی توزیع شده، این الگو به صورت معکوس قابل مشاهده است. بر این اساس، عامل اصلی برانگیزنده هزینه در شرکت‌های کوچک، به طور نسبی، انرژی توزیع شده است، در صورتی که این شرکت‌ها در افزایش تعداد مشترکین، به طور نسبی نیازمند افزایش هزینه کمتری بوده و به عبارت دیگر، با هزینه کمتری قادر به افزایش اندازه شرکت می‌باشند. با محاسبه کارایی‌های فنی سالانه هر یک از شرکت‌های توزیع برق از روی نتایج مدل مزبور، پراکنش کارایی در مقابل اندازه شرکت‌ها در نمودار (۲) آورده شده است.



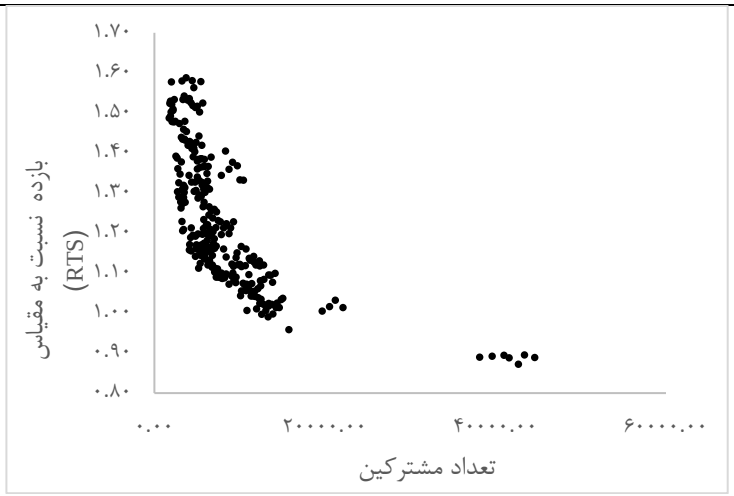

**نمودار (۲): کارایی فنی و اندازه شرکت‌های توزیع برق ایران**

منبع: یافته‌های تحقیق

[۱] این امر با ماهیت جانشینی بین نهاده‌ها قابل توجیه می‌باشد.

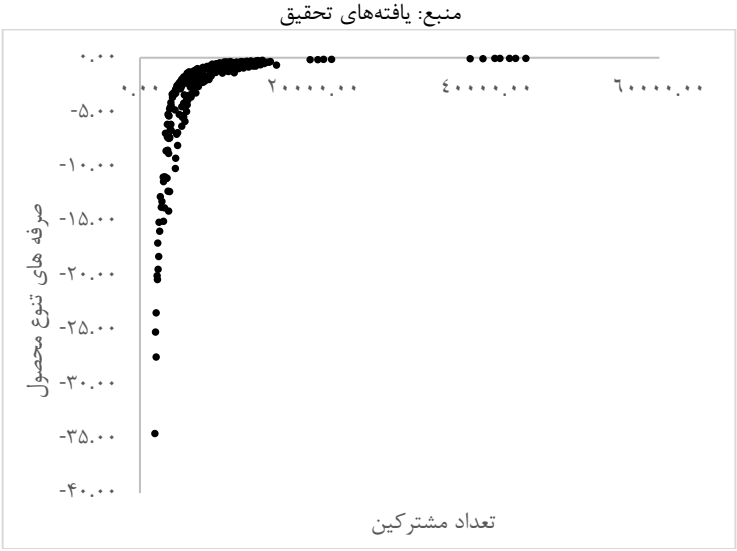
میانگین کارایی فنی شرکت‌های کوچک، متوسط و بزرگ، به ترتیب برابر برابر ۰/۸۴۶۱، ۰/۸۲۵۴ و ۰/۸۹۰۱ به دست می‌آید. بدین ترتیب، با عنایت به این که مطابق نتایج، میانگین کارایی فنی، با افزایش اندازه شرکت‌ها، ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد، بنابراین فرضیه اول تحقیق، مبنی بر وجود کارایی بیشتر برای شرکت‌های بزرگ تائید نمی‌گردد. در ادامه، بازدهی‌های نسبت به مقیاس و صرفه‌های تنوع محصول محاسبه گردیده و پراکنش آنها در مقابل تعداد مشترکین، در نمودارهای (۳) و (۴) آمده است. تحلیل بازده نسبت به مقیاس در ارتباط با اندازه شرکت‌ها مطابق نمودار (۳)، نشان دهنده وجود صرفه‌های مقیاس در قریب به اتفاق شرکت‌ها می‌باشد. میانگین بازدهی نسبت به مقیاس شرکت‌های کوچک، متوسط و بزرگ، به ترتیب برابر ۱/۳۴۶۵، ۱/۱۲۸۳ و ۰/۸۸۸۷ می‌باشد. با عنایت به این امر که اندازه بهینه شرکت جایی است که بازدهی نسبت به مقیاس آن برابر یک باشد، می‌توان گفت که مقیاس فعالیت اغلب شرکت‌های توزیع برق ایران کمتر از اندازه بهینه بوده و شرکت‌های کوچک و متوسط نتوانسته‌اند از تمام صرفه‌های مقیاس بالقوه خود استفاده نمایند. همچنین مطابق نمودار (۴)، صرفه‌های تنوع محصول نیز در سرتاسر نمونه قابل مشاهده می‌باشد، هر چند که با بزرگ‌تر شدن شرکت‌ها، میزان قدر مطلق شاخص صرفه‌های تنوع محصول کاهش می‌یابد. وجود صرفه‌های مقیاس و تنوع محصول، ساختار انحصار طبیعی شرکت‌های توزیع برق ایران را حمایت می‌نمایند، هر چند این امر موجب نمی‌گردد که شرکت‌های بزرگ‌تر، لزوما کارایی بیشتری داشته باشند.

در مرحله بعد و در مدل دوم (مدل هزینه-کیفیت)، متغیر زمان خاموشی هر مشترک در روز ($Otg$) به عنوان تقریب کیفیت خدمات شرکت‌های توزیع برق و به صورت نهاده سوم وارد مدل می‌گردد. جدول (۳) نتایج برآورد تابع فاصله نهاده‌گرا را برای مدل هزینه-کیفیت نشان می‌دهد.




**نمودار (۳): بازده نسبت به مقیاس و اندازه شرکت‌های توزیع برق ایران**

منبع: یافته‌های تحقیق




**نمودار (۴): صرفه‌های تنوع محصول و اندازه شرکت‌های توزیع برق ایران**

منبع: یافته‌های تحقیق

**جدول (۳): نتایج برآورد مدل هزینه-کیفیت**

| متغیر وابسته: ln(C) - | | |
|---|---|---|
| متغیر | ضریب | انحراف معیار |
| ln(CU) | -۰/۴۹۱۳*** | ۰/۰۵۴۷ |
| ln(DE) | -۰/۳۶۴۱*** | ۰/۰۴۴۹ |

| | | |
|---|---|---|
| ln(CU)*ln(DE) | ۰/۷۷۷۳*** | ۰/۱۵۷۱ |
| $\frac{1}{2}\ln^2(CU)$ | - ۰/۸۱۳۸*** | ۰/۲۶۵۱ |
| $\frac{1}{2}\ln^2(DE)$ | - ۰/۷۳۷۷*** | ۰/۱۲۹۸ |
| $\ln\left(\frac{In}{C}\right)$ | ۰/۲۶۰۷*** | ۰/۰۴۳۸ |
| $\ln\left(\frac{Otg}{C}\right)$ | - ۰ /۰۱۳۱ | ۰/۰۳۸۹ |
| $\frac{1}{2}\ln^2\left(\frac{In}{C}\right)$ | ۰/۲۸۷۵** | ۰/۱۳۱۶ |
| $\frac{1}{2}\ln^2\left(\frac{Otg}{C}\right)$ | ۰ /۰۹۵۹* | ۰/۰۵۴۸ |
| $\ln\left(\frac{In}{C}\right)\times\ln\left(\frac{Otg}{C}\right)$ | ۰/۰۲۱۱ | ۰/۰۶۶۷ |
| $\ln\left(\frac{In}{C}\right)\times\ln(CU)$ | - ۰/۰۵۲۲ | ۰/۱۱۰۹ |
| $\ln\left(\frac{In}{C}\right)\times\ln(DE)$ | ۰/۰۴۳۱ | ۰/۰۸۶۰ |
| $\ln\left(\frac{Otg}{C}\right)\times\ln(CU)$ | ۰/۲۵۰۹*** | ۰/۰۹۵۹ |
| $\ln\left(\frac{Otg}{C}\right)\times\ln(DE)$ | - ۰/۱۳۶۳** | ۰/۰۵۵۶ |
| Constant | ۰/۲۲۱۴*** | ۰/۰۳۹۹ |
| Wald $\chi^2$ (۱۴) =۲۲۷۰/۶۰ | Prob > $\chi^2$ = ۰/۰۰۰ | |

منبع: یافته‌های تحقیق

توجه: *، ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده سطح معنی‌داری ۱۰، ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

نتایج مدل جدید شبیه نتایج مدل هزینه-خالص می‌باشد، با این تفاوت که ضریب مرتبه اول متغیر کیفیت خدمات دارای علامت خلاف انتظار بوده، اما از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. با محاسبه مجدد کارایی‌های فنی سالانه و بازدهی نسبت به مقیاس هر یک از شرکت‌های توزیع برق از روی نتایج مدل هزینه-کیفیت، در جدول (۴) به مقایسه میانگین کارایی فنی و میانگین بازده نسبت به مقیاس شرکت‌های کوچک، متوسط و بزرگ در دو مدل هزینه-خالص و هزینه-کیفیت پرداخته شده است[۱].

[۱] در پیوست، میانگین کارایی فنی هر شرکت در مدل‌های هزینه – خالص و هزینه – کیفیت ارائه شده است.

**جدول (۴): مقایسه میانگین کارایی فنی و بازده نسبت به مقیاس در دو مدل هزینه-خالص و هزینه-کیفیت**

| اندازه شرکت‌ها | | مدل هزینه-خالص | مدل هزینه-کیفیت |
|---|---|---|---|
| شرکت‌های کوچک | میانگین کارایی فنی | ۰/۸۴۶۱ | ۰/۸۵۳۸ |
| | میانگین $RTS$ | ۱/۳۴۶۶ | ۱/۲۴۲۹ |
| شرکت‌های متوسط | میانگین کارایی فنی | ۰/۸۲۵۴ | ۰/۸۳۹۴ |
| | میانگین $RTS$ | ۱/۱۲۸۳ | ۱/۱۲۵۷ |
| شرکت‌های بزرگ | میانگین کارایی فنی | ۰/۸۹۰۱ | ۰/۸۹۵۴ |
| | میانگین $RTS$ | ۰/۸۸۸۷ | ۰/۸۹۶۱ |

منبع: یافته‌های تحقیق

مقایسه نتایج دو مدل هزینه-خالص و هزینه-کیفیت نشان می‌دهد که با اضافه نمودن متغیر کیفیت خدمات به مدل، میانگین کارایی فنی شرکت‌های کوچک و متوسط به میزان بسیار کمی افزایش یافته است، این در حالی است که میانگین کارایی فنی شرکت‌های بزرگ تقریبا ثابت باقی مانده است. به منظور بررسی آماری معنی‌دار بودن تفاوت بین نتایج کارایی فنی در دو مدل هزینه-خالص و هزینه-کیفیت، از آزمون مجموع رتبه ویلکوکسن[1] استفاده شده است که نتایج این آزمون، معنی‌داری تفاوت مقادیر کارایی فنی به دست آمده از دو مدل مذکور را مورد تایید قرار نمی‌دهد[2]. از همین روی مطابق این نتایج، فرضیه دوم تحقیق مبنی بر بهبود مزیت کارایی فنی شرکت‌های کوچک با در نظر گرفتن عامل کیفیت، مورد تائید قرار نمی‌گیرد. همچنین، میانگین بازده نسبت به مقیاس شرکت‌های کوچک‌تر در مدل هزینه-کیفیت نسبت به مدل هزینه-خالص، کاهش یافته است. در نتیجه، لحاظ نمودن کیفیت خدمات موجب می‌گردد تا شرکت‌های کوچک به مقیاس بهینه نزدیک‌تر گردند، هر چند در خصوص شرکت‌های متوسط و بزرگ تغییر چندانی مشاهده نمی‌گردد.

[1] Wilcoxon Rank Sum Test

[2] روش مزبور، یک رهیافت غیر پارامتری می‌باشد که صحت فرضیه صفر مبنی بر اینکه دو گروه مستقل، متعلق به جامعه آماری مشابه می‌باشند، را مورد آزمون قرار می‌دهد. برای جزئیات این آزمون به مطالعه کوپر و همکاران (۲۰۰۶) مراجعه شود.

## ۶-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

توجه به جنبه کیفی خدمات شرکت‌های توزیع برق در مدل‌های محک‌زنی، به خاطر اثرات نامطلوب رهیافت‌های انگیزشی بر کیفیت خدمات آن‌ها افزایش یافته است. هر چند تبادل بین کیفیت خدمات و هزینه‌ها تحت تاثیر مکانیسم‌های انگیزشی برای ایران مصداق پیدا نمی‌کند، اما به دلیل امکان تبادل مقیاس و کیفیت خدمات در ساختار انحصار طبیعی، تلفیق کیفیت خدمات در تحلیل کارایی به لحاظ نظری همچنان اهمیت دارد. نظریه‌های موجود در خصوص انحصار طبیعی در صنایعی همچون شرکت‌های توزیع برق حاکی از وجود رابطه مثبت بین کارایی فنی و اندازه این شرکت‌ها می‌باشد. بدین ترتیب، مطابق فرضیه صرفه‌های مقیاس، انتظار بر آن است که شرکت‌های بزرگ‌تر، کارایی فنی بیشتری داشته باشند. از سوی دیگر، بر اساس فرضیه نزدیکی به مصرف‌کننده، وارد نمودن متغیرهای مربوط به کیفیت خدمات موجب کاهش مزیت کارایی فنی شرکت‌های بزرگ می‌شود. مطالعه حاضر به بررسی فرضیه‌های فوق در شرکت‌های توزیع برق ایران پرداخته است. مطابق نتایج، اغلب شرکت‌های توزیع برق ایران در اندازه کمتر از مقیاس بهینه فعالیت می‌نمایند و به جز شرکت تهران بزرگ، بقیه شرکت‌ها صرفه‌های مقیاس استفاده نشده دارند که می‌توان با گسترش خدمات آن‌ها و یا از طریق ادغام شرکت‌های قابل ادغام، از آن بهره‌مند گشت. همچنین، صرفه‌های تنوع محصول در تمامی شرکت‌های مورد بررسی قابل مشاهده بوده و میزان (مطلق) شاخص آن، با افزایش اندازه شرکت‌ها، کاهش می‌یابد. بدین ترتیب شرط لازم برای برقراری ساختار انحصار طبیعی در خصوص شرکت‌های توزیع برق ایران وجود دارد، اما علیرغم وجود ساختار انحصار طبیعی و وجود صرفه‌های مقیاس، شرکت‌های کوچک‌تر دارای کارایی فنی بیشتری نسبت به شرکت‌های بزرگ‌تر بوده‌اند. بدین ترتیب فرضیه صرفه‌های مقیاس در خصوص کارایی فنی شرکت‌های توزیع برق ایران صدق پیدا نمی‌کند.

بر اساس برخی از مطالعات تجربی، کیفیت خدمات، بایستی همواره به عنوان بخش مهمی از نظام مقررات‌گذاری شرکت‌های توزیع برق مورد توجه قرار گیرد. استدلال این گونه مطالعات بر این امر استوار می‌باشد که لحاظ نکردن متغیرهای مربوط به کیفیت خدمات در تحلیل کارایی، ممکن است اطلاعات نادرستی در زمینه کارایی شرکت‌های توزیع برق ارائه نماید، چرا که شرکت‌های با کارایی هزینه خالص بالاتر، ممکن است

لزوما کیفیت خدمات بالاتری نداشته باشند و با لحاظ نمودن کیفیت خدمات، مزیت نسبی کارایی شرکت‌ها تغییر نماید. این موضوع با عنایت به اینکه جریمه و پاداش شرکت‌های مزبور در مکانیسم‌های انگیزشی معمولا مبتنی بر کارایی آن‌ها می‌باشد، اهمیت بسزائی دارد. این در حالی است که مطابق نتایج مطالعه حاضر، لحاظ نمودن کیفیت خدمات در تحلیل کارایی با استفاده از زمان خاموشی هر مشترک در روز، موجب افزایش اندک میانگین کارایی فنی شرکت‌های کوچک و متوسط گردیده، اما میانگین کارایی فنی شرکت‌های بزرگ تغییر چندانی نیافته است. معنی‌دار بودن تاثیرات کیفیت خدمات بر تغییرات کارایی فنی شرکت‌های مزبور، توسط آزمون ویلکوکسن مورد تایید قرار نمی‌گیرد. این امر نیز حاکی از عدم برقراری فرضیه نزدیکی به مصرف‌کننده در خصوص شرکت‌های توزیع برق ایران می‌باشد. البته در رابطه با این نتیجه‌گیری بایستی احتیاط بیشتری نمود، چرا که شرکت‌های توزیع برق ایران تا کنون هدف مقررات‌گذاری انگیزشی نبوده‌اند تا انگیزه‌های نادرست ناشی از مقررات‌گذاری انگیزشی، منجر به واکنش استراتژیک شرکت‌های تحت مقررات‌گذاری گردیده و نتایج آن، در داده‌های مربوط به کیفیت خدمات به صورت رابطه جانشینی ناقص با سایر نهاده‌ها و تبادل بین آن‌ها نمایان شود. بنابراین، متغیر مربوط به کیفیت خدمات مورد استفاده در این مطالعه، منعکس کننده واکنش این شرکت‌ها به یک رهیافت انگیزشی نبوده و صرفا فرضیه نزدیکی به مصرف‌کننده در خصوص شرکت‌های توزیع برق ایران در دوره زمانی مورد مطالعه، تایید نمی‌گردد. بنابراین نیاز به مطالعات بیشتر با استفاده از سایر متغیرهای کیفی نیز احساس می‌گردد. از همین روی پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات آتی، سایر جنبه‌های مربوط به کیفیت خدمات شرکت‌های توزیع برق (مرتبط با پیوستگی عرضه)، همچون تعداد دفعات خاموشی هر مشترک، هزینه انرژی عرضه نشده، و تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای خدمات مطمئن، در تحلیل‌های کارایی و مقررات‌گذاری شرکت‌های مزبور مورد توجه قرار گیرد.

## تقدیر و تشکر

در پایان نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از جناب دکتر ارسطو صادقیان برای بهبود و رونق بخشیدن به مقاله قدردانی نمایند.

## تضاد منافع

نویستدگان نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

## فهرست منابع

۱. اعتضادی، سهیلا صفری، حسین، زندیه، مصطفی، صادقی مقدم، محمدرضا و جعفرنژاد، احمد (۱۴۰۱). ارزیابی بهره‌وری خدمات با رویکرد ترکیبی *FBWM & DEA-EEP* (مورد مطالعه: شرکت توزیع برق مازندران). *فصلنامه مدیریت صنعتی*، پذیرفته شده انتشارآنلاین از اول اردیبهشت ۱۴۰۱.

۲. برادران، وحید و یعقوبی، ناهید (۱۳۹۴). بهبود کیفیت ارزیابی کارایی شرکت‌های توزیع نیروی برق ایران با رویکرد تحلیل پوششی تصادفی غیر پارامتریک داده‌ها (*StoNED*). *فصلنامه کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران*، ۴(۲)، ۱۵-۲۶.

۳. پورعبادالهان کویچ، محسن، فلاحی، فیروز، حیدری، کیومرث و کیانی، پویان (۱۳۹۶). تصحیح کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران به وسیله عوامل محیطی: کاربرد تحلیل دو مرحله‌ای (*DEA* و *Tobit*). *فصلنامه پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۶(۲۳)، ۵۹-۸۸.

۴. پورعبادالهان کویچ، محسن، نوبهار، الهام، سجودی، سکینه و خلفی، رضا (۱۴۰۰). کارایی و مقیاس: شواهدی از شرکت‌های توزیع برق ایران. *فصلنامه پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۰(۳۹)، ۷۱-۹۷.

۵. پورعبادالهان کویچ، محسن، نوبهار، الهام؛ سجودی، سکینه و خلفی، رضا (۱۴۰۰). مقررات‌گذاری انگیزشی هزینه‌های سرمایه‌گذاری: مطالعه موردی شرکت‌های توزیع برق ایران. *فصلنامه مدل‌سازی اقتصادسنجی*، ۴(۲۳)، ۱۵۱-۱۸۴.

۶. حقی‌فام، محمودرضا، مستقیم، نیما و سیماب، محسن (۱۳۹۵). محک‌زنی چندسطحی کارایی شرکت‌های توزیع الکتریکی. *فصلنامه کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران*، ۵(۱)، ۵۸-۶۷.

۷. خداداد کاشی، فرهاد، اوشنی، محمد، قاضی‌زاده، محمدصادق و حیدری، کیومرث (۱۳۹۸). تنظیم شرکت‌های توزیع برق ایران بر مبنای کیفیت و بهره‌وری. *فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی*، ۱۹(۷۵)، ۱-۳۸.

۸. خسروی، محمدرضا، شاهرودی، کامبیز، امیرتیموری، علیرضا و دل‌افروز، نرگس (۱۴۰۱). طراحی مدل تحلیلی ـ ریاضی به منظور سنجش کارایی زنجیره تولید، انتقال و

توزیع صنعت برق ایران: رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با خروجی نامطلوب. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۴(۲)، ۲۲۰-۲۴۹.

۹. رادسر، مصطفی، کاظمی، عالیه، مهرگان، محمدرضا و رضوی حاجی‌آقا، سیدحسین (۱۴۰۰). طراحی یک الگوریتم بر پایه تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با شاخص‌های خوب و بد به منظور ارزیابی صنعت برق ایران. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۳(۱)، ۱-۲۶.

۱۰. رضایی، علی (۱۳۹۲). تحلیل کارایی و بهره‌وری شرکت‌های توزیع برق ایران: رویکرد مدل مازاد مبنای ($SBM$). *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۴(۱۳)، ۱۱۹-۱۴۶.

۱۱. سخنور، محمد، صادقی، حسین، عصاری، عباس، یاوری، کاظم و مهرگان، نادر (۱۳۹۰). استفاده از تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای برای تحلیل ساختار و روند کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران. *فصلنامه پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*، ۱(۴)، ۱۴۵-۱۸۲.

۱۲. سخنور، محمد، صادقی، حسین، عصاری، عباس، یاوری، کاظم و نادران، الیاس (۱۳۹۱). تعیین کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و رویکرد دو مرحله‌ای. *فصلنامه تحقیقات اقتصادی*، ۴۷(۲)، ۲۱-۳۹.

۱۳. سلیمی، مهرداد و کرامتی، محمدعلی (۱۳۹۴). ارزیابی و تجزیه کارایی فنی شرکت‌های برق منطقه‌ای ایران با رویکرد سه مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها. *فصلنامه کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران*، ۴(۲)، ۳۷-۴۸.

۱۴. علی محمدلو، مسلم، دامن کشان، آزیتا و مطفف، زهره (۱۳۹۵). سنجش کارایی نسبی شرکت‌های توزیع برق کشور: تحلیل پوششی داده‌ها با مرز دوگانه. *فصلنامه کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران*، ۵(۲)، ۱۰۸-۱۱۷.

۱۵. فلاحی، محمد علی و احمدی، وحیده (۱۳۸۵). ارزیابی کارایی هزینه شرکت‌های توزیع برق در استان خراسان (نگرش مرزی تصادفی). *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۸(۲۸)، ۱۲۳-۱۳۷.

۱۶. فلاحی، محمد علی، کاظمی، مصطفی و سیدزاده، میترا (۱۳۹۰). بررسی عوامل مؤثر بر کارایی شرکت‌های برق منطقه ای ایران با تأکید بر فناوری اطلاعات. *دو فصلنامه پژوهشنامه اقتصاد کلان*، ۶(۱۲)، ۸۵-۱۰۶.

۱۷. قاسمی، مصطفی و دشتی، رضا (۱۳۹۵). *ارزیابی تصمیمات سرمایه‌گذاری بر روی قابلیت اطمینان شرکت‌های توزیع برق با در نظر گرفتن طرح پاداش و جریمه*. کنفرانس بین‌المللی برق. تهران.

۱۸. قطب‌الدینی، رضا و طوسیان شاندیز، حیدر (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی و محک‌زنی مناطق در یکی از شرکت‌های توزیع برق با استفاده از مدل مدیریت دارایی‌های روشنایی معابر. *فصلنامه کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران* ۱۰(۱)، ۱-۱۳.

۱۹. کیانی، پویان (۱۳۹۷). *طراحی الگوی مقررات‌گذاری اقتصادی در بخش توزیع برق ایران*. رساله دکتری دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز.

1. Aigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, *6*(1), 21-37.

2. Ajodhia, V., Petrov, K., & Scarsi, G. C. (2004, October). Economic benchmarking and its applications. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Infrastructures Research*.

3. Alimohammadlou, M., Damankeshan, A., & Motafef, Z. (2017). Measurement of Relative Efficiencies of Iran's Electricity Distribution Companies: Data Envelopment Analysis with Double Frontier. *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity*, 5(2), 108-117 (In Persian) .

4. Atkinson, S. E., & Primont, D. (2002). Stochastic estimation of firm technology, inefficiency, and productivity growth using shadow cost and distance functions. *Journal of Econometrics*, *108*(2), 203-225.

5. Baradaran, V., & Yaghoubi, N. (2016). Evaluate the Efficiency of Iranian Electric Power Distribution Companies by Stochastic Nonparametric Envelopment of Data (StoNED) Approach. *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity*, 4(2), 15-26 (In Persian).

6. Chen, W., Fan, J., Du, H., & Zhong, P. (2023). Investment strategy for renewable energy and electricity service quality under different power structures. *Journal of Industrial and Management Optimization*, *19*(2), 1550-1572.

7. Laurits, R. C., Dale, W. J., & Lawrence, J. L. (1973). Transcendental logarithmic production frontiers. *The Review of Economics and Statistics*, *55*(1), 28.

8. Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. springer science & business media.

9. Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references*. Springer Science & Business Media.

10.Corton, M. L., Phillips, M. A., & Zimmermann, A. (2019). Aligning Quality Incentives and Tariff Adjustments: The Case of the Brazilian Electricity Distribution Sector. *Review of Network Economics*, *18*(1), 35-62.

11.Corton, M. L., Zimmermann, A., & Phillips, M. A. (2016). The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil. *Energy policy*, 97, 485-493.

12.Etezadi, S., Safari, H., Zandieh, M., Sadeghimoghadam, M., & Jafarnejad, A. (2022). Evaluating service productivity via combining approach FBWM & DEA-EEP (Case study: Mazandaran Electricity Distribution Company). *Industrial Management Journal*, Available Online from 21 April 2022 (In Persian).

13.Falahi, M., & Ahmadi, V. (2006). Measuring Cost Efficiency of Electricity Distribution Companies in Khorasan Province. *Iranian Journal of Economic Research*, 8(28), 123-137 (In Persian).

14. Falahi, M., Kazemi, M., & Seyedzadeh, M. (2012). Investigating the Effective Factors on the Efficiency of Iran's Regional Electricity Companies with an Emphasis on Information Technology. *Macroeconomics Research Letter*, 6(12), 85-106 (In Persian).

15. Fare, R., Primont, D., & Tauchen, H. (1996). Multi-output production and duality: Theory and applications. *Journal of Economic Literature*, 34(3), 1343-1344.

16. Fujii, H., & Kaneko, S. (2011). Operational performance of regional electricity distribution in Indonesia. *Journal of International Development and Cooperation*, 18(1), 23-30.

17. Fumagalli, E., Schiavo, L., & Delestre, F. (2007). *Service quality regulation in electricity distribution and retail*. Springer Science & Business Media.

18. Ghasemi, M., Dashti, R., & Amirioun, M. H. (2021). A hierarchical approach to designing an electricity distribution reward-penalty scheme for service quality improvement. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 31(12), e13202.

19. Ghasemi, M., & Dashti, R. (2016). *Assessment of investment decisions on the reliability of the electricity distribution system under reward and penalty scheme.* In the Power System Conference. Tehran (In Persian).

20. Ghotboddini, R., & Toossian Shandiz, H. (2021). Evaluating the Efficiency and Benchmarking of Regions in an Electricity Distribution

Company Using a Public Lighting Asset Management Model. *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity*, 10 (2), 1-13 (In Persian).

21. Giannakis, D., Jamasb, T., & Pollitt, M. (2005). Benchmarking and incentive regulation of quality of service: an application to the UK electricity distribution networks. *Energy policy*, 33(17), 2256-2271.

22. Goerlich, R., & Ruehrnoessl, U. (2017). Quality and Efficiency—A DEA Based Analysis of the Austrian Electricity Distribution Sector. *Data Envelopment Analysis Journal*, 3(1–2), 151-195.

23. Greer, M. (2010). *Electricity cost modeling calculations*, Academic Press.

24. Growitsch, C., Jamasb, T., Müller, C., & Wissner, M. (2010). Social cost-efficient service quality—Integrating customer valuation in incentive regulation: Evidence from the case of Norway. *Energy policy*, 38(5), 2536-2544.

25. Growitsch, C., Jamasb, T., & Pollitt, M. (2009). Quality of service, efficiency and scale in network industries: an analysis of European electricity distribution. *Applied Economics*, 41(20): 2555-2570.

26. Haghifam, M. R., Mostaghim, N., & Simab, M. (2016). Multi-level Efficiency Benchmarking of Electrical Distribution Companies. *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity*, 5(1), 58-67 (In Persian).

27. Hajargasht, G., Coelli, T., & Rao, D. P. (2008). A dual measure of economies of scope. *Economics Letters*, *100*(2), 185-188.

28. Jamasb, T., & Pollitt, M. (2007). Incentive regulation of electricity distribution networks: Lessons of experience from Britain. Energy Policy. 35(12), 6163-6187.

29. Jamasb, T., & Pollitt, M.G. (2011). *The future of electricity demand: customers, citizens and loads*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

30. Khodadad Kashi, F., Oshani, M., Ghazizadeh, M. S., & Heydari, K. (2019). Regulation of Electricity Distribution Companies in Iran Based on Quality and Productivity. *Economics Research*, 19(75), 1-38 (In Persian).

31. Khosravi, M., Shahroodi, K., Amirteimoori, A., & Delafrooz, N. (2022). Developing an Analytical-Mathematical Model for Evaluating the Efficiency of the Power Production, Transmission, and Distribution Companies in the Electric Power Industry of Iran: An Network Data Envelopment Analysis (NDEA) Approach with Undesirable Outputs. *Industrial Management Journal*, 14(2), 220-249 (In Persian).

32. Kiani, P. (2018). *Economic Regulation Design in the Electricity Distribution Sector of Iran. Iranian Energy Economics* (Unpublished doctoral dissertation). University of Tabriz, Tabriz (In Persian).

33. Korhonen, P. J., & Syrjänen, M. J. (2003). Evaluation of cost efficiency in Finnish electricity distribution. *Annals of Operations Research*, 121(1), 105-122.
34. Kumbhakar, S., & Lovell, K. (2000). *Stochastic frontier analysis.* Cambridge UK: Cambridge University Press.
35. Kwoka Jr, J. E. (2005). The comparative advantage of public ownership: Evidence from US electric utilities. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique*, 38(2), 622-640.
36. Meeusen, W., & van Den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International economic review*, 18(2), 435-444.
37. Mirza, F. M., & Mushtaq, I. (2022). Estimating the marginal cost of improving services quality in electricity distribution utilities of Pakistan. *Energy policy*, *167*, 113061.
38. Muller, R. B., & Rego, E. E. (2021). Privatization of electricity distribution in Brazil: Long-term effects on service quality and financial indicators. *Energy policy*, *159*, 112602.
*39.* Nsabimana, R. (2020). Quality of service in the electricity sector, a benchmarking study on Eastern Africa Power Pool. *Paper presented at the Présentation des Travaux des Doctorants.*
40. Nsabimana, R., Gautier, A., Nsabimana, S., & Perelman, S. (2021). The cost of quality of service improvement in electricity distribution in Burundi: a parametric shadow price approach. *Paper presented at the PhD Seminar*.
41. Pourebadollahan Covich, M., Fallahi, F., Heydari, K., & Kiani, P. (2017). Efficiency Correction of Iran's Electricity Distribution Companies by Environmental Factors: An Application of Two-stage (DEA and Tobit) Analysis. *Iranian Energy Economics*, 6(23), 59-88 (In Persian).
42. Pourebadollahan Covich, M., Nobahar, E., Sojoodi, S., & Khalafi, R. (2021). Incentive Regulation of Investment Costs: The Case Study of Iranian Electricity Distribution Companies. *Econometric Modelling*, 4 (23), 151-184 (In Persian).
43. Pourebadollahan Covich, M., Nobahar, E., Sojoodi, S., & Khalafi, R. (2021). Efficiency and Scale: Evidence from Iran's Electricity Distribution Companies. *Iranian Energy Economics*, 10(39), 71-97 (In Persian).
44. Prettico, G., Marinopoulos, A., & Vitiello, S. (2022). Guiding electricity distribution system investments to improve service quality: A European study. *Utilities Policy*, *77*, 101381.
45. Radsar, M., Kazemi, A., Mehrgan, M., & Razavi Hajiagha, H. (2021). Designing an algorithm based on network data envelopment analysis with desirable and undesirable indicators for the evaluation of the Iranian power industry. *Industrial Management Journal*, 13(1), 1-26 (In Persian).

46. Rezaei, A. (2013). Efficiency and Productivity Analysis in Iranian Electricity Distribution Companies: Slack Based Model (SBM) Approach. (2013). *Journal of Economic modeling Research*, 4(13), 119-146 (In Persian).

47. Shephard, R. W. (1953). *Theory of cost and production functions*. Princeton, USA: Princeton University Press.

48. Salimi, M., & Keramati, M. A. (2016). Evaluation and Distribution of technical efficiency of regional Electricity companies with a three-stage DEA approach. *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity*, 4(2), 37-48 (In Persian).

49. Siregar, W. S. P., Mahrinasari, M., & Panjaitan, D. R. (2022). The Influence of Service Quality on Satisfaction Level and Company Image Using Smart Electricity Based on Household Segment. *Budapest International Research and Critics Institute-Journal (BIRCI-Journal)*, 5(4), 31561-31572.

50. Sokhanvar, M., Sadeghi, H., Assari, A., Yavari, K., & Mehregan, N. (2012). Structural Analysis and Efficiency Trend of Electricity Distribution Companies in Iran by Using Window Data Envelopment Analysis. *Economic Growth and Development Research*, 1(4), 182-145 (In Persian).

51. Sokhanvar, M., Sadeghi, H., Assari, A., Yavari, K., & Naderan, E. (2012). Determinating the Efficiency of Electricity Distribution Companies of Iran and Factors Affecting it By Using Data Envelopement Analysis and Two - Stage Approach. *Journal of Economic Research* (Tahghighat- E-Eghtesadi), 47(2), 21-39 (In Persian).

52. Yu, W., Jamasb, T., & Pollitt, M. (2009). Does weather explain cost and quality performance? An analysis of UK electricity distribution companies. *Energy policy*, 37(11), 4177-4188.

53. Yuan, P., Pu, Y., & Liu, C. (2021). Improving electricity supply reliability in China: Cost and incentive regulation. *Energy, 237*, 121558.