

تعیین رابطه مناسب بین نهاده‌ها و ستاده‌ها در شرکت‌های توزیع برق ایران

دکتر محمد جواد اصغر پور

دکتر علیرضا معینی

مصطفی کاظمی

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

با بکارگیری منابع گوناگون در واحدهای تصمیم‌گیری مشابه، ستاده‌های مختلفی تولید می‌شوند و اندازه‌گیری کارآیی در اینگونه واحدها مستلزم ایجاد رابطه مناسبی بین کلیه ورودیهای مؤثر و قابل توجه و خروجی‌ها و محصولات واحدها است. یکی از روشهای مناسب در تعیین بهره‌وری و کارآیی روش تابع تولید است. که برای تخمین تابع تولید از دو رویکرد پارامتری و ناپارامتری استفاده می‌شود. در این رویکردها و نیز سایر روش‌های اندازه‌گیری کارآیی توجه به عوامل نهاده‌ای و ستاده مؤثر و متناسب اهمیت ویژه‌ای دارد.

در این مقاله پس از مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه تعیین کارآیی شرکت‌های توزیع برق در جهان و نگاهی به عوامل نهاده‌ای و ستاده‌ای در این مطالعات، روشی برای تعیین عوامل نهاده‌ای و ستاده‌ای مؤثر و متناسب در کارآیی شرکت‌های توزیع برق در ایران ارائه شده و عوامل مهم تعیین گردیده است. پس از آن به تعیین روابط مناسب بین نهاده‌ها و ستاده‌ها در شرکت‌های توزیع برق در ایران پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: کارآیی شرکت‌های توزیع برق، نهاده‌ها و ستاده‌های شرکت‌های توزیع برق، تحلیل

مؤلفه‌های اصلی، توابع تولید خطی و غیرخطی، برآورد توابع تولید، مقادیر باقیمانده.

(۱) مقدمه

با توجه به اینکه انواع محصولات در واحدهای تصمیم‌گیری^۱ نتیجه بکارگیری انواع منابع هستند باید سیستم اندازه‌گیری کارآیی شامل ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه باشد و بین کلیه ورودی‌های مؤثر و قابل اهمیت و محصولات واحدهای مناسبی برقرار نماید. عوامل نهاده‌ای و ستاده‌ای باید متناسب، مرتبط، دقیق و قابل اندازه‌گیری باشند.

کارآیی از دید سیستمی ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را مشخص می‌سازد بطور کلی‌تر، بهره‌وری نشان‌دهنده میزان کارآیی ترکیب عوامل در فرایند تولید است. در روش مهندسی صنایع، بهره‌وری عبارت از رابطه بین مقادیر خروجی یک سیستم و مقادیر ورودی‌های همان سیستم است. یکی از روشهای محاسبه میزان بهره‌وری واحدهای تصمیم‌گیری مشابه، روش تابع تولید است. تابع تولید حداکثر میزان خروجی‌هایی که از ترکیب ورودی‌ها بدست می‌آیند را نشان می‌دهد. اگر تابع تولید معلوم باشد، محاسبه بهره‌وری می‌تواند نسبت به مرز تولید صورت گیرد اما در عمل معمولاً تابع تولید در دسترس نیست بلکه مجموعه‌ای از مشاهدات شامل خروجی‌ها و ورودی‌های متناظر در دسترس‌اند. بنابراین برای محاسبه بهره‌وری باید تابع تولید تجربی را تخمین زد. هرچه ورودی‌ها و خروجی‌ها دقیق‌تر انتخاب شوند تابع تولید تجربی حاصل شده متناسب‌تر بوده و محاسبه کارآیی بر اساس این تابع تولید از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود، برای تخمین تابع تولید تجربی دو روش پارامتری^۲ و ناپارامتری^۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش پارامتری تابع تولید به عنوان پیش فرض در نظر گرفته می‌شود در این روش باید شکل صریحی برای تابع تولید در نظر گرفت. روش تحلیل پوششی داده‌ها که در قسمت (۴) معرفی می‌شود یک روش ناپارامتری است که واحدهای تصمیم‌گیری را با این فرض اولیه که واحدهای تصمیم‌گیری تحت بررسی ورودی‌های مشابه را برای تولید خروجی‌های مشابه بکار می‌برند، ارزیابی می‌کند در هر دو نوع مدل‌های پارامتری و ناپارامتری توجه و دقت در تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های مؤثر واحدهای تصمیم‌گیری مشابه ضروری و لازم است. اگر عوامل نهاده‌ای و ستاده‌ای غیر مؤثر و نامناسب باشند محاسبه شاخص‌ها و نتیجه‌گیریها و نیز برنامه‌های اصلاحی متأثر از تحلیل این شاخص‌ها نیز ناصواب خواهند بود.

¹ - Decision Making Unit (DMU)

² - Parametric Method

³ - Non Parametric Method

در این مقاله پس از مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه محاسبه کارآیی شرکت‌های توزیع برق روشی برای تعیین عوامل تأثیر گذار در شرکت‌های توزیع برق ارائه می‌گردد. پس از آن با استفاده از نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی و متغیرهای نهاده‌ای تعیین شده، به مقایسه روابط گوناگون بین نهاده‌ها و ستاده‌ها پرداخته شده است.

۲) مطالعات انجام شده

در مورد تعیین کارآیی شرکت‌های توزیع برق با استفاده از روشهای پارامتری و غیر پارامتری توسط افراد نامبرده ذیل کارهایی انجام شده است:

ویمن و جونز^۱ (۱۹۹۲)، جارلمارسون^۲ و ویدر پاس^۳ (۱۹۸۵)، پولیت^۴ (۱۹۹۵)، پاردینا، راسی و رازیر^۵ (۱۹۹۹)، جاماسب و پولیت^۶ (۲۰۰۱) مؤسسه IPART^۷ (۱۹۹۹)

در هر کدام از مطالعات یاد شده یک یا چند مورد از عوامل نهاده‌ای، ستاده‌ای زیر از جمله عوامل تأثیر گذار در کارآیی شرکت‌های توزیع برق در نظر گرفته شده اند.

● عوامل نهاده‌ای

- تعداد کارکنان

- اندازه شبکه^۸، طول شبکه بر حسب کیلومتر

- ظرفیت شبکه^۹، (بر حسب MVA)

- خطوط ولتاژ بالا (کیلومتر)

- خطوط ولتاژ پایین (کیلومتر)

1 - Weyman – Jones (W-J)

2 – Hjalmarson

3- Veider pass

4- Politt

5- Martin Rodriguez Pardina, Martin Rossi and Christian Ruzzier

6- Jamasb and Politt

7- Independnet pricing and Regularity Tribunal

8- Network Size

9- Transformer Capacity

● عوامل ستاده‌ای:

- فروش داخلی^۱ (خانگی) (Kw/h)

- فروش تجاری (Kw/h)

- فروش صنعتی (Kw/h)

- تعداد مشتریان

- ستاده ولتاژ پایین (MV/h)

- ستاده ولتاژ بالا (MV/h)

- تعداد مشترکان ولتاژ پایین

- تعداد مشترکان ولتاژ بالا

- قلمرو خدمات (کیلومتر مربع)

- کل انرژی تحویل شده (GWh)

- طول شبکه (Km)

۳) عوامل نهاده‌ای و ستاده‌ای در شرکت‌های توزیع برق در ایران

بر اساس آمار تفصیلی صنعت برق در ایران در سال ۱۳۸۰ در مرحله اول برای هر کدام از شرکت‌های توزیع برق ۵ عامل نهاده‌ای و ۱۱ عامل ستاده‌ای مشخص گردیدند. مقادیر عوامل مزبور برای سال ۱۳۸۰ و تعداد شرکتها ۳۹ شرکت توزیع هستند به عبارت دیگر تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده مشابه، ۳۹ واحد می‌باشند.

عوامل نهاده‌ای هر شرکت توزیع برق در سال ۱۳۸۰ شامل موارد زیر می‌باشند:

$X_1 =$ تعداد کارکنان متخصص (دارای مدرک فوق دیپلم و بالاتر) در شرکت

$X_2 =$ تعداد کارکنان (دارای مدرک دیپلم و پایین تر) در شرکت

$X_3 =$ طول خطوط توزیع فشار متوسط (کیلومتر) در محدوده شرکت

$X_4 =$ طول خطوط توزیع فشار ضعیف (کیلومتر) در محدوده شرکت

$X_5 =$ ظرفیت نقاط انتقال (MVA) در محدوده شرکت

1- Domestic Sales (kwh)

عوامل ستاده‌ای هر شرکت توزیع برق در سال ۱۳۸۰ شامل موارد زیر می‌باشند:

$$y_1 = \text{میزان فروش انرژی برق برای مصرف خانگی (} \times 1000\text{Kw/h)}$$

$$y_2 = \text{میزان فروش انرژی برق برای مصرف عمومی (} \times 1000\text{Kw/h)}$$

$$y_3 = \text{میزان فروش انرژی برق برای مصرف تولید کشاورزی (} \times 1000\text{Kw/h)}$$

$$y_4 = \text{میزان فروش انرژی برق برای مصرف تولید صنعت و معدن (} \times 1000\text{Kw/h)}$$

$$y_5 = \text{میزان فروش انرژی برق برای مصرف تجاری (} \times 1000\text{Kw/h)}$$

$$y_6 = \text{میزان فروش انرژی برق برای مصرف روشنایی معابر (} \times 1000\text{Kw/h)}$$

$$y_7 = \text{تعداد مشترکین خانگی در محدوده شرکت توزیع برق}$$

$$y_8 = \text{تعداد مشترکین عمومی در محدوده شرکت توزیع برق}$$

$$y_9 = \text{تعداد مشترکین کشاورزی در محدوده شرکت توزیع برق}$$

$$y_{10} = \text{تعداد مشترکین تولید صنعت و معدن در محدوده شرکت توزیع برق}$$

$$y_{11} = \text{تعداد مشترکین تجاری در محدوده شرکت توزیع برق}$$

۳-۱ عوامل نهاده‌ای

شکل (۱) رفتار عوامل توضیحی (متغیرهای مستقل) X_1 تا X_5 را در مقابل هم نشان می‌دهد. به لحاظ گرافیکی مشاهده می‌شود که عوامل نهاده‌ای در مقابل هم رفتار خاصی از خود بروز نمی‌دهند. به لحاظ کمی نیز جدول (۱) میزان بستگی بین هر دو عامل را نشان می‌دهد که ارقام چندان بالایی نیست. برای اطمینان بیشتر از وجود همخطی قابل تحمل بین ۵ عامل نهاده‌ای از معیار VIF^1 استفاده می‌کنیم.

معیار VIF برای تعیین میزان هم خطی به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (1)$$

¹ - Variance Inflation Factor

اگر مقدار VIF بزرگتر از ۱۰۰ شود بدان معناست که R_i^2 (ضریب تعیین ترکیبی) بسیار بالا بوده و نشان دهنده آنست که عامل X_i به وسیله سایر متغیرها قابل تعیین بوده و بوسیله ترکیب خطی از آنها قابل محاسبه است یعنی نیازی به حضور X_i در مجموعه عوامل مستقل و نهاده‌ای نمی‌باشد و به عبارت دیگر عامل X_i وابسته به سایر عاملهاست و نسبت به آنها مستقل نیست. بطور کلی مقدار VIF بیش از ۱۰۰، اعتبار متغیر را بعنوان متغیر مستقل زیر سؤال می‌برد. مقدار VIF بین ۱۰ تا ۱۰۰ قابل تحمل است و مقدار کمتر از ۱۰ برای نشان دادن استقلال یک متغیر و عامل از سایر عاملها خوب است. مقادیر R_i^2 و VIF_i برای هر کدام از عاملها نسبت به ترکیب خطی از سایر عاملها به شرح زیر است:

$$X_1 \sim X_2 + X_3 + X_4 + X_5, \quad R_1^2 = 0/56, \quad VIF_1 = 2/3$$

$$X_2 \sim X_1 + X_3 + X_4 + X_5, \quad R_2^2 = 0/906, \quad VIF_2 = 10/6$$

$$X_3 \sim X_1 + X_2 + X_4 + X_5, \quad R_3^2 = 0/72, \quad VIF_3 = 3/6$$

$$X_4 \sim X_1 + X_2 + X_3 + X_5, \quad R_4^2 = 0/658, \quad VIF_4 = 2/9$$

$$X_5 \sim X_1 + X_2 + X_3 + X_4, \quad R_5^2 = 0/835, \quad VIF_5 = 6/1$$

ملاحظه می‌گردد که ضریب تعیین R_i^2 و نیز VIF_i برای هیچکدام از عوامل نهاده‌ای به مرحله بحرانی نرسیده و مشکل هم خطی وجود ندارد. زیرا مقدار VIF برای تمام عوامل در حد خوب واقع شده است. این امر نشان می‌دهد که ترکیب خطی مناسبی برای ایجاد هر کدام از X_i بوسیله ۴ عامل دیگر وجود ندارد. به عبارت دیگر متغیرهای X_5, X_4, X_3, X_2, X_1 متغیرها یا عوامل مستقل هستند و در نظر گرفتن همه آنها به عنوان نهاده‌ای در هر مدل ارزیابی بهره‌وری لازم و ضروری است.

۳-۲ عوامل ستاده‌ای

برای تعیین عوامل ستاده‌ای مؤثر و مفید از آنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده می‌کنیم. تعداد عوامل ستاده‌ای که اطلاعات و آمار آنها گردآوری شده است ۱۱ مورد (y_1 تا y_{11}) می‌باشند.

$X_i \backslash X_j$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	۱	۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۶۶
X_2	۰/۷۰	۱	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۸۲
X_3	۰/۴۱	۰/۶۶	۱	۰/۷۰	۰/۲۵
X_4	۰/۶۲	۰/۷۳	۰/۷۰	۱	۰/۴۵
X_5	۰/۶۶	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۴۵	۱

جدول (۱): همبستگی عوامل نهاده‌ای

جدول (۲) و نمودار (۲) نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی را نشان می‌دهند.

مؤلفه اصلی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
عامل											
y_1	۰/۶۱۷	۰	۰/۵۸۲	۰/۵۰۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
y_2	۰/۲۹۷	۰	۰/۲۶۷	-۰/۷۱۵	-۰/۵۱۳	۰/۲۲۴	۰/۱۲۰	۰	۰	۰	۰
y_3	۰	۰/۹۵۹	-۰/۲۳۴	۰	۰	-۰/۱۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
y_4	۰/۶۹۶	-۰/۲۱۰	-۰/۶۸۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
y_5	۰/۱۳۰	۰	۰/۲۱۱	-۰/۴۰۸	۰/۳۸۸	-۰/۷۶۵	۰	۰/۱۲۸	-۰/۱۰۶	۰	۰
y_6	۰	۰	۰	۰/۱۷۴	۰/۲۴۴	۰/۳۲۷	-۰/۸۹۰	۰	۰	۰	۰
y_7	۰	۰/۱۶۴	۰/۱۵۹	-۰/۱۶۶	۰/۶۹۲	۰/۴۸۵	۰/۴۱۳	۰/۱۰۷	۰	۰	۰
y_8	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۸۵	۰/۸۷۳	۰	۰
y_9	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۹۱۴	۰/۴۰۴
y_{10}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۴۰۳	۰/۹۱۴
y_{11}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۸۹۵	۰/۴۶۸	۰	۰

جدول (۲): عوامل ستاده‌ای و مؤلفه‌ها

نمودار (۲) نشان می‌دهد که ۳ مؤلفه اصلی ۳ و ۲ در حدود ۹۵ درصد کل تغییرات را در بر دارند. مؤلفه‌های اصلی ۱ تا ۶ نزدیک به ۱۰۰ درصد کل تغییرات را در بر دارند. با معیار قرار دادن ۹۵ درصد کل تغییرات (کل واریانس) سه مؤلفه اصلی ۳ و ۲ برای منظور کردن بیشتر واریانس کفایت می‌کند. جدول (۲) گویای آن است که ۳ و ۲ در بر دارنده عوامل ستاده‌ای $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_7$ به صورت زیر است:

$$CP_1 = 0/617y_1 + 0/297y_2 + 0/696y_4 + 0/13y_5$$

$$CP_2 = 0/959y_3 - 0/21y_4 + 0/164y_7 \quad (۲)$$

$$CP_3 = 0/582y_1 + 0/267y_2 - 0/234y_3 - 0/681y_4 + 0/211y_5 + 0/159y_7$$

سه مؤلفه اصلی یاد شده در بر دارنده عوامل ستاده‌ای $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_7$ هستند و با توجه به اینکه ۹۵ درصد کل واریانس‌ها مربوط به این سه مؤلفه می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت عوامل ستاده‌ای از ۱۱ به حداکثر ۶ مورد تقلیل می‌یابد. به عبارت دیگر این نتیجه حاصل می‌شود که عوامل ستاده‌ای که یک شرکت توزیع برق را از شرکت توزیع برق دیگر متمایز می‌سازد. ۶ عامل ستاده‌ای $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_7$ هستند و دیگر عوامل ستاده‌ای یعنی $y_6, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}$ از عهده این متمایز سازی بر نمی‌آیند و در واقع اطلاعات زائدی هستند. بنابراین با توجه به تحلیل مؤلفه اصلی عوامل ستاده‌ای $y_6, y_8, y_9, y_{10}, y_{11}$ حذف می‌شوند.

۴) معرفی مشهورترین مدل‌های توابع تولید

برای بدست آوردن مناسب‌ترین روابط بین نهاده‌ها و ستاده‌ها مروری بر فرم‌های استاندارد توابع تولید صورت می‌گیرد.

فرم خطی ساده‌ترین فرم تابع تولید است که مقدار ستاده را بر حسب تابع خطی از نهاده‌ها نشان می‌دهد در این حالت تأثیرات تغییر هر کدام از نهاده‌ها بر محصول مستقل از دیگری فرض می‌شود، مدل‌های ضربی

مشهورترین و پرکاربردترین (ریپلی ۱۳۷۸) مدل‌های غیر خطی توابع تولید هستند که امکان تلاقی نهاده‌ها و تأثیرات مشترک آن‌ها بر محصول را فراهم می‌آورند مشهورترین مدل ضربی، مدل کاب داگلاس است.

تابع ضربی کاب داگلاس به دو علت مشهور است دلیل اول اینکه منطقی‌ترین شکل تابع تولید و نیز تابع تقاضا است و با رفتار تولید بیشترین مناسبت را دارد زیرا فرض می‌کند که اثرات نهایی هر یک از متغیرهای مستقل بر تولید ثابت نیست بلکه به مقدار متغیر مورد نظر و مقادیر تمامی متغیرهای دیگر توابع تولید بستگی دارد.

همچنین، تغییر مفروضی در سطح میزان بالای X_i اثر بیشتری بر تولید دارد تا تغییر در سطح میزان کم متغیر X_i چنین رابطه‌ای اغلب بسیار واقع بینانه‌تر از فرض ضمنی موجود در یک الگوی خطی، یعنی رابطه نهایی ثابت، است دلیل دوم شهرت تابع ضربی کاب داگلاس آن است که تابع فوق با استفاده از لگاریتم به یک رابطه خطی تبدیل می‌شود. در صورتی که چند محصول داشته باشیم که دارای آثار متقابل باشند تابع تولید (و به عبارت دیگر رابطه تولید) را می‌توان به فرم کلی زیر نوشت (آرنولد (۱۹۹۶)):

$$F(Y_1, Y_2, \dots, Y_s, X_1, X_2, \dots, X_m) = 0 \quad (3)$$

تابع تولید مزبور دارای m نهاده و s ستاده که X_m, \dots, X_2, X_1 نهاده‌ها Y_s, \dots, Y_2, Y_1 ستاده‌ها هستند. فرم (۱۰) از تابع تولید نشان دهنده آن است که تعدادی از ستاده‌ها ممکن است روی تولید ستاده‌های دیگر اثر داشته باشند و برخی نهاده‌ها نیز ممکن است روی نهاده‌های دیگر اثر داشته باشند.

یک نمونه از مدل‌های توسعه یافته به وسیله وینود (۱۹۶۸) به صورت زیر است:

$$f(y_1, y_2, \dots, y_s) = g(X_1, X_2, \dots, X_m) e^\varepsilon \quad (4)$$

که e^ε قسمت خطای تابع است.

نمونه‌ای از فرم (۴) را بشرح زیر می‌توان ارائه داد (آرنولد (۱۹۹۶)):

$$Y_1^{\alpha_1} Y_2^{\alpha_2} \dots Y_s^{\alpha_s} = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_m^{\beta_m} e^\varepsilon \quad (5)$$

در فرم ضربی توسعه یافته کاب داگلاس که با شماره (۵) مشخص شده نه تنها اثر نهایی هر یک از نهاده‌ها بر میزان تولید محصولات ثابت نیست بلکه مقدار نهاده مورد نظر و مقادیر تمامی نهاده‌های دیگر تولید بستگی دارد.

توابع تولید دیگری پس از تابع کاب - داگلاس معرفی شدند که مهمترین آنها عبارتند از:

- تابع تولید متعالی (ترانس سن دنتال) با فرمول زیر:

$$y = AX^\alpha e^{\gamma X} \quad (۶)$$

- تابع تولید ترانس لگ (Translog) با فرمول اولیه:

$$y = AX_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} e^{\gamma/2(\ln X_1 \ln X_2)} \quad (۷)$$

- تابع تولید دبرتین:

$$y = AX_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} e^{\gamma_1 X_1 + \gamma_2 X_2 + \gamma_3 X_1 X_2} \quad (۸)$$

در همه موارد مزبور روابط بین متغیرها به صورت غیرخطی و از نوع ضربی و نمایی است.

۵) تعیین مدل مناسب

با توجه به y حاصل شده از ترکیب ستاده‌های y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 ناشی از مؤلفه اصلی اول CP_1 که دارای ضریب اهمیت بالای ۰/۵۱۷ در مجموعه مؤلفه‌های اصلی است و با در نظر گرفتن متغیرهای X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 مشروحه در قسمت (۲) روابط زیر را با استفاده از نرم افزار کامپیوتری برآورد کرده و با همدیگر مقایسه می‌کنیم:

$$y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^5 \alpha_i X_i \quad \text{الف- مدل خطی}$$

ب- مدل درجه دوم

$$y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^5 \alpha_i X_i + \sum_{i=1}^5 \beta_i X_i^2 + \sum_{i=1}^5 \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^5 \gamma_{ij} X_i X_j$$

$$y = \alpha_0 \prod_{i=1}^5 X_i^{\alpha_i} \quad \text{ج- مدل ضربی کاب داگلاس:}$$

$$y = \alpha_0 \prod_{i=1}^5 e^{\alpha_i X_i} \quad \text{د- مدل ضربی نمایی:}$$

بر ارزش مدل‌های یاد شده بر اساس داده‌های شرکت‌های توزیع برق در ایران منجر به نتایج ذیل شده است برای هر مدل پیشنهادی دو نتیجه نوشته شده است که اولی با در نظر گرفتن تمام متغیرهای X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 به عنوان متغیر مستقل و دومی با توجه به متغیرهای دارای اهمیت بیشتر بر ارزش شده است. مقدار داخل پرانتز نشان دهنده مقدار P-Value می‌باشد که چنانچه کمتر از ۰/۰۵ باشد ضریب حاصل شده دارای اهمیت بالا است.

الف- (۱) مدل خطی با در نظر گرفتن تمام متغیرها:

$$y = 0/087x_1 - 0/342x_2 - 0/023x_3 - 0/045x_4 + 1/13x_5 \quad R^2 = 0/83$$

(0/427) (0/154) (0/866) (0/718) (0/000)

الف- (۲) مدل تقلیل یافته خطی با در نظر گرفتن متغیر X_5 :

$$y = 0/882x_5 \quad R^2 = 0/78$$

(0/000)

ب- (۱) مدل درجه دوم با در نظر گرفتن تمام متغیرها:

$$y = 0/013 + 0/141x_1 - 0/418x_2 + 0/164x_3 - 0/447x_4 + 1/427x_5 + 0/056x_1^2$$

(0/914) (0/247) (0/126) (0/355) (0/044) (0/000) (0/600)

$$+ 0/072x_2^2 - 0/05x_3^2 + 0/132x_4^2 - 0/198x_5^2$$

(0/554) (0/403) (0/078) (0/072) $R^2 = 0/86$

ب- (۲) مدل تقلیل یافته درجه دوم با در نظر گرفتن متغیرهای X_5, X_4 :

$$y = -0/01 - 0/403x_4 + 1/150x_5 + 0/111x_4^2 - 0/101x_5^2$$

(0/919) (0/002) (0/000) (0/068) (0/033) $R^2 = 0/84$

ج-۱) مدل ضربی کاب - داگلاس

$$y = 0/066x_1^{0/094} x_2^{-0/256} x_3^{-0/027} x_4^{-0/043} x_5^{1/102}$$

$$(0/391)(0/285)(0/113)(0/792)(0/696)(0/000) \quad R^2 = 0/90$$

ج-۲) مدل تقلیل یافته ضربی کاب داگلاس

$$y = 0/068 x_5^{0/906}$$

$$(0/202)(0/000) \quad R^2 = 0/86$$

د-۱) مدل ضربی نمایی:

$$y = 0/773 e^{0/039x_1} e^{-0/114x_2} e^{-0/042x_3} e^{0/054x_4} e^{0/411x_5}$$

$$(0/000)(0/378)(0/238)(0/448)(0/281)(0/000)$$

$$R^2 = 0/83$$

د-۲) مدل تقلیل یافته ضربی نمایی

$$y = 0/773 e^{0/358x_5}$$

$$(0/000)(0/000)$$

$$R^2 = 0/80$$

جدول (۳) ضریب تعیین مدل‌های مختلف را برای داده‌های ۳۹ شرکت توزیع برق در ایران نشان می‌دهد.

جدول (۳) ضریب تعیین مدل‌های برآورد شده

نوع مدل	مقدار R^2 برای مدل با در نظر گرفتن تمام متغیرهای مستقل	مقدار R^2 برای مدل تقلیل یافته
خطی (الف)	۰/۸۳	۰/۷۸
درجه ۲ (ب)	۰/۸۶	۰/۸۴
ضربی کاب داگلاس (ج)	۰/۹۰	۰/۸۶
ضربی نمایی (د)	۰/۸۳	۰/۸۰

ملاحظه می‌گردد که مقدار ضریب در مدل‌های غیر خطی نسبت به مدل خطی چه در حالتی که تمام متغیرهای مستقل در نظر گرفته شوند و چه برای مدل‌های تقلیل یافته، بیشتر است در بین مدل‌های غیر خطی به ترتیب مدل‌های ضریبی کاب داگلاس، درجه ۲ و ضریبی نمایی دارای ضریب تعیین بیشتری هستند.

شایان ذکر است که ضریب تعیین (R^2) برای مقایسه مدل‌ها، زمانی که جملات خطا از توزیع نرمال پیروی می‌کنند معیاری مناسب است. اگر چنانچه این جملات از توزیع نرمال پیروی نکنند این معیار اعتبار خود را نمی‌تواند بخوبی حفظ کند.

برای بررسی نرمال بودن توزیع خطا از نمودار q-Plot استفاده می‌شود که مقادیر باقیمانده را در مقابل چندک متناظر با هر کدام از باقیمانده‌ها در توزیع نرمال در مقابل هم رسم می‌کند در صورتی که در این نمودار انحراف زیادی از خط $y=x$ مشاهده نشود می‌توان به نرمال بودن توزیع جملات خطا اعتماد کرد البته این انحراف در کاربرد تا حد مناسبی قابل اغماض است (مونتگمری، ۱۹۹۲)

نمودارهای ۳ تا ۱۰ نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل‌های اولیه (شامل تمام متغیرها) و مدل‌های تقلیل یافته خطی، درجه دوم، کاب داگلاس و نمایی نشان می‌دهد و مشاهده می‌گردد که انحراف در نمودارهای یاد شده قابل اغماض است و می‌توان نتایج بدست آمده را با اطمینان قابل قبول، پذیرفت.

مراجع:

- ۱- اصغرپور، محمدجواد، برنامه‌ریزی غیرخطی (مقید) در تحقیق در عملیات، تهران، دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۱
- ۲- توماس جورج.ب، حساب دیفرانسیل و انتگرال و هندسه تحلیلی، ترجمه علی اکبر جعفریان - ابوالقاسم میامی، چاپ دوم، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۶۲
- ۳- راثو، اس، اس بهینه‌سازی (تئوری و کاربرد)، ترجمه سیدمحمد مهدی شهیدی پور، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۳

۴- ریپلی، فیلیپ وحید صدیقی، مدلسازی اقتصادی برای اقتصاد مدیریت، ترجمه مهدی خداپرست، تهران، شرکت چاپ و نشر بازرگانی، ۱۳۷۸

۵- سازمان مدیریت توانیر، وزارت نیرو، آمار تفصیلی صنعت برق ایران سال ۱۳۸۰، تهران، ۱۳۸۱

۶- سریواستاوا، کارتر، ترجمه دکتر ناصر رضا ارقامی و دکتر ابوالقاسم بزرگ‌نیا، آمار چند متغیره کاربردی، بنیاد فرهنگی آستان قدس رضوی، ۱۳۷۰

- 7- Arnold victor L., Indranil R.Bardham, William W.Cooper and Subal C.Kumbhakar, New Use of DEA and statistical regressions for efficiency evaluation and estimation with an illustrative application to public secondary schools in Texas, Annals of Operrations Research.66(1996),257-227
- 8- Frankein, Joel N., Methods of mathematical economics, 1980, springer – velag New york Inc.
- 9- Hair J.F, Anderson R.E, Tatham R.L, Black W.C,1998, Multivariate Data Analysis, Prentice Hall, Fifth Education, U.S.A.
- 10- Hattori, T.(2001). “Relative Performance of U.S. and Japanese Electricity Distribution – An Application of Stochastic Frontier Analysis” CRIEPI Working Paper, No. Y01914, Central Research Institue of Electric Power Industry.
- 11- Hattori T., Jamasb T., Pollitt M. G., (2002), Acomparision of UK and Japanese electricity distribution performance 1985- 1998, Department of Applied Economics,University of Cambridge.
- 12- Hjalmarsson, L.and A. Veiderpass. 1992. “Efficiency and ownership in Swedish electricity retail distribution”. Journal of Productivity Analysis, 3.
- 13- IPART. (1999). “Efficiency and Benchmarking Study of the NSW Distribution Businesses,” Research Paper No. 13. Sydeny. Commissioned by the Independent Pricing and Regulatory Tribunal of New South Wales – Prepared by London Economics.
- 14- Jamasb, T. and M. Pollitt (2001). “International Benchmarking and Yardstick Regulation: An Application to European Electricity Utilities, “DAE Working Paper 01/15, Department of Applied Economics, University of Cambridge.
- 15- Montgomery & peck, Introduction to Linear Regression Analysis, 1992.
- 16- Pardina M. R., Rossi M., Ruzzier C.,(1999) , Consistency conditions: Efficiency Measures for the Electricity Distribution Sector in South America, CEER working paper series No. 5, Argentina.

- 17- Pollitt, M. (1995). "Ownership and performance in electric utilities: The international evidence on privatization and efficiency". Oxford University Press.
- 18 - Weyman – Jones, T. (1992). "Problems of yardstick regulation in electricity distribution". In Bishop, Kay and Mayer. The regulatory challenge. Oxford University Press.
- 19- Vinod H.D, Econometrics of joint production, *Econometrica*, 36(1968):322-336

نمودار (۳) نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل خطی اولیه (مدل الف-۱)

نمودار (۴) نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل خطی تقلیل یافته (مدل الف-۲)

نمودار (۵) نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل درجه دوم اولیه (مدل ب-۱)

نمودار (۶) نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل درجه دوم تقلیل یافته (مدل ب-۲)

نمودار (۷) نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل کاب داگلاس اولیه (مدل ج-۱)

نمودار (۸) نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل کاب داگلاس تقلیل یافته (مدل ج-۲)

نمودار (۹) نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل نمایی اولیه (مدل د-۱)

نمودار (۱۰) نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل نمایی تقلیل یافته (مدل د-۲)

-
- 6- Jamasb and Politt
 - 7- Independnet pricing and Regularity Tribunal
 - 8- Network Size
 - 9-