

## اندازه‌گیری صرفه‌های ناشی از مقیاس در صنعت برق ایران: مورد نیروگاه‌های حرارتی

حمیدرضا حری<sup>۱\*</sup>، زین العابدین صادقی<sup>۲</sup>، سعیده رضایی نژاد<sup>۳</sup>

۱. دانشیار، اقتصاد سنجی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان ایران

۲. دانشیار، اقتصاد انرژی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان ایران

۳. کارشناس ارشد، اقتصاد انرژی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

دریافت: ۱۳۹۷/۹/۹ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

### Measuring the Economies of Scale Iran's Power industry: Case of Thermal Power Plants

Hamid Reza Horry<sup>1\*</sup>, Zeinolabdin Sadeghi<sup>2</sup>, Saeedeh RezaeeNejad<sup>3</sup>

1. Associate Professor of Econometrics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2. Associate Professor of Energy Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3 M.Sc, Energy Economics, Shahid Bahonar University of Kerman

Received:30/November/2018

Accepted: 5/February/2019

#### Abstract

This paper, as an applied research, seeks to measure the economies of scale, in Iran's electricity industry over the period 2007-2009 by separating gas, thermal and combined cycle power plants using the Translog Cost function. The results of this study confirmed the existence of economies of scale for all power plants in Iran's electricity industry. The average return of scale over this period was 1.04. The results of the Morishima elasticity indicate a substitution relationship between the inputs. The values of cross elasticities are positive and greater than one, indicating a strong substitution relationship between the inputs (energy, capital, and labor). Results also indicate that all partial Alan-Ozawa own elasticities are negative as expected.

**Keywords:** Economies of scale, Translog cost function, Production of electricity.

**JEL Classifications:** L94, C13, C23, D40

#### چکیده

مقاله پیش‌رو، به عنوان یک پژوهش کاربردی، به دنبال اندازه‌گیری صرفه‌های ناشی از مقیاس، در صنعت برق ایران طی دوره ۹۳-۱۳۸۷ به تفکیک نیروگاه‌های گازی، بخاری و سیکل ترکیبی با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ است. نتایج حاصل از این پژوهش وجود صرفه‌های ناشی از مقیاس را برای تمامی نیروگاه‌ها در صنعت برق ایران تأیید کرده است. به طوری که متوسط بازده نسبت به مقیاس در این دوره ۱/۰۴ بوده است. نتایج به دست آمده از کشش موریشیما حاکی از رابطه جانشینی میان نهاده‌ها با یکدیگر است. اکثر مقادیر به دست آمده بالاتر از یک هستند که نشان دهنده یک رابطه جانشینی قوی میان نهاده‌ها (انرژی، سرمایه و نیروی کار) است. بر طبق نتایج حاصل از محاسبات کشش‌های جزئی خودی آلن-اوزاوا طبق انتظار منفی هستند.

**واژه‌های کلیدی:** تابع هزینه ترانسلوگ، صرفه‌های ناشی از مقیاس،

تولید برق

طبقه بندی JEL: L94, C13, C23, D40

\*Corresponding Author: Hamid Reza Horry

Email: horryhr@uk.ac.ir

## ۱. مقدمه

شبکه برق کشور، موجب افزایش قیمت تمام‌شده انرژی الکتریکی می‌شود. در نتیجه، اتخاذ تصمیمات مدیریتی در حوزه انرژی برای افزایش بهره‌وری در بخش‌های تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی به منظور کاهش تلفات و بازیافت آن ضرورت می‌یابد. در بعضی از بازارهای صنعتی رابطه بین سطح تولید و هزینه واحد به گونه‌ای است که کاهش هزینه واحد، در سطح بسیار وسیعی از تولید امکان پذیر است. در همین راستا صرفه‌های ناشی از مقیاس به عنوان یک راهکار کارآمد مورد توجه قرار می‌گیرند.

یکی از شاخص‌های کلیدی کارایی اقتصادی هم در سطح ملی و هم در سطح منطقه‌ای نرخ بهره‌برداری از ظرفیت تولید و تولید در مقیاس بهینه است. در کشور ما به دلیل دولتی بودن بخش بزرگی از صنعت برق و عدم رقابت مطلوب توجه چندانی به ظرفیت تولید و ظرفیت بهینه تولید نشده است. صرفه‌جویی نسبت به مقیاس یا مزیت مقیاس مفهومی در اقتصاد خرد است که به کسب مزیت کاهش هزینه در اثر افزایش حجم تولید اشاره دارد. بنگاه‌ها می‌توانند با افزایش میزان تولید خود بالاتر از مقدار متوسط هر صنعت، هزینه‌های خود را به طور قابل توجهی کاهش دهند (تا حداقل هزینه متوسط اینگونه است پس از آن افزایش می‌یابد). افزایش میزان تولید، موجب کاهش هزینه‌هایی از جمله هزینه سوخت و سایر هزینه‌های ورودی می‌شود (ماچادو و همکاران، ۲۰۱۶).

صرفه‌های ناشی از مقیاس به معنای چگونگی تأثیر وسعت فعالیت‌ها بر روی نتایج به دست آمده، از جمله قیمت تمام شده هر واحد کالای تولید شده می‌باشد. با افزایش سطح تولید، ممکن است از یک نقطه مشخص به بعد عدم صرفه‌های ناشی از مقیاس اتفاق افتد. به همین علت تعیین مقیاس بهینه تولید، در نیل به مهم‌ترین هدف بنگاه‌های اقتصادی، یعنی دستیابی به بیشترین سود ممکن، نقشی تعیین کننده ایفا می‌کند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۰).

صنعت برق به عنوان بخش زیربنایی در فرایند توسعه اقتصادی کشور و ایجاد زیرساخت‌های توسعه نقش ارزنده و اساسی دارد و بسترهای لازم را برای پویایی و رشد کشور در زمینه‌های گوناگون اقتصادی، صنعتی و اجتماعی فراهم می‌سازد. تولید انرژی الکتریکی اولین و مهم‌ترین بخش از زنجیره صنعت برق است. با توجه به مزیت‌های مهم انرژی الکتریکی بر سایر انرژی‌ها، به دلیل سادگی و راحتی توزیع و قابلیت انتقال برای مسافت‌های طولانی، امروزه پیش بینی می‌گردد که بیشترین مصرف انرژی در قرن آینده کماکان به صورت انرژی الکتریکی باشد و شبکه توزیع که عهده‌دار ارائه انرژی الکتریکی به مصرف کنندگان می‌باشد، به عنوان یکی از اجزای اصلی سیستم قدرت از اهمیت و ارزش قابل ملاحظه‌ای برخوردار می‌گردد. در شکل کلی می‌توان ساختار شبکه‌های الکتریکی را در قالب سه گروه به صورت زیر معرفی کرد:

تولید: تولید الکتریسیته فرایندی است که طی آن از یک منبع انرژی استفاده می‌شود تا انرژی الکتریکی تولید شود.

انتقال: فرایند جابجایی توان الکتریکی را انتقال انرژی الکتریکی می‌گویند. این فرایند معمولاً شامل انتقال انرژی الکتریکی از مولد یا تولیدکننده به پست‌های توزیع نزدیک شهرها یا مراکز تجمع صنایع است

توزیع: مرحله توزیع انرژی الکتریکی از مراحل پایانی تحویل انرژی الکتریکی به مصرف‌کننده‌هاست.

در نیروگاه‌ها، تبدیل شکل‌های گوناگون انرژی به انرژی برق انجام می‌گیرد. به طور کلی نیروگاه‌ها به دو نوع حرارتی و غیرحرارتی تقسیم می‌شوند. در کشور ما قسمت عمده تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی با سوخت‌های فسیلی انجام می‌گیرد. نیروگاه‌های حرارتی یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان سوخت های فسیلی در کشور به حساب می‌آیند (سیفی و دهقان‌پور، ۱۳۹۳).

مصرف بالای انرژی نیروگاه‌های برق و بهره‌وری پایین

نتایج برآورد روش داده‌های تابلویی نشان می‌دهد که متغیرهای صرفه‌های ناشی از مقیاس، تمایز محصول و نقش دولت دارای اثر مثبت و معنادار بر مزیت رقابتی صنایع ایران دارند.

شهیکی تاش و نصیری اقدم (۱۳۹۰) در پژوهشی به عنوان تمرکز، شدت مانع ورود و صرفه‌های مقیاس در صنعت کولر آبی ایران با استفاده از شاخص‌های ساختاری به بررسی هزینه رفاهی ناشی از ساختار انحصار مؤثر ارزیابی ساختار و عملکرد بازار کولر آبی ایران پرداختند. نتایج این بررسی نشان دهنده میزان اندک رقابت بین بنگاه‌های این صنعت و شدت بالای موانع ورود در این صنعت است.

عباسی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مشخصه‌های فنی، مالی و اقتصادی به بررسی صرفه‌های مقیاس، تعیین مقیاس بهینه تولید و بازدهی مقیاس در معادن سنگ ساختمانی ایران پرداخته است. در این راستا از مدل‌های اقتصادسنجی برای تخمین توابع تولید و هزینه در معادن استفاده شده است؛ تا بتوان با استفاده از آنها ساختار تولید، معادن سنگ ساختمانی ایران را بررسی کرد.

ملکان (۱۳۹۰) در پژوهشی با بررسی ساختار و عملکرد بازار، ارتباط بین تمرکز صنایع و صرفه‌های ناشی از مقیاس بر سودآوری صنایع حاضر در بورس اوراق بهادار تهران را اندازه‌گیری کرده است. برای برآورد از داده‌های تابلویی سال‌های ۸۴-۱۳۷۹ استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که متغیرهای صرفه‌های ناشی از مقیاس و نسبت تمرکز اثر معناداری بر سودآوری صنایع دارند.

شهیکی تاش و همکاران (۱۳۹۲) به وسیله تابع هزینه ترانسلوگ و روش برآورد رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب تکراری، به تحلیل ساختار هزینه ۱۱ صنعت انرژی به زیرگروه صنعت تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی و صنعت تولید فلزات اساسی در دوره ۸۷-۱۳۷۵ پرداختند. نتایج به دست آمده از تخمین بیانگر این است که کلیه صنایع انرژی‌بر، فاصله زیادی

یکی از عوامل مؤثر در قیمت نهایی محصول، هزینه‌های تولید است که تا اندازه زیادی به مقیاس تولید بستگی دارد. به عبارت دیگر در مسیر توسعه هر بنگاه اقتصادی یک محدوده اقتصادی تولید وجود دارد که در آن، هزینه‌های تولید در حداقل مقدار ممکن قرار خواهند داشت (عباسی و همکاران، ۱۳۹۰). در قسمت بعدی مطالعات داخلی و خارجی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در قسمت‌های بعد به ترتیب مبانی نظری، مدل و در آخر نتیجه‌گیری آورده شده است.

## ۲. مطالعات داخلی

عمادزاده و همکاران (۱۳۸۰) در پژوهش خود صرفه‌های ناشی از مقیاس در کارخانه ذوب آهن اصفهان را با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ اندازه‌گیری کردند. روش مورد استفاده در این پژوهش برای برآورد تابع هزینه ترانسلوگ، رگرسیون‌های ظاهراً نامرتب تکراری است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که مناسب‌ترین الگو برای توضیح ارتباط بین تولید و قیمت عوامل تولید، تابع هزینه ترانسلوگ است.

خداداد کاشی (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای ضمن معرفی جنبه‌های نظری صرفه‌های ناشی از مقیاس، میزان برخورداری بازارهای صنعتی ایران از صرفه‌های مقیاسی را ارزیابی کرده است. یافته‌های تحقیق بیانگر این است که اقتصاد ایران به دلیل کوچک بودن از صرفه‌های مقیاس برخوردار نبوده است.

معمارنژاد و هادی فر (۱۳۸۸) ساختار بازار مخابراتی کشور، چگونگی عملکرد آن و ساختار هزینه شرکت‌های مخابراتی با تخمین تابع هزینه مناسب و به کارگیری داده‌های تلفیقی در دوره ۸۷-۱۳۸۳ مورد بررسی قرار داد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، بازار مخابرات دارای خاصیت جمع‌پذیری است و وارد شدن بنگاه‌های جدید در این بازار موجب کاهش کارایی می‌شود. به همین دلیل ساختار انحصاری کنونی کاراتر است.

راسخی (۱۳۹۰) به بررسی عوامل تعیین‌کننده مزیت رقابتی صنایع کارخانه‌ای ایران طی دوره زمانی ۸۹-۱۳۸۱ پرداخت.

نسبت به نقطه بهینه تولید دارند. همچنین مقادیر عددی کشش موریشیما نیز حاکی از تأیید رابطه جانشینی فنی کلیه نهاده‌ها با یکدیگر است، به گونه‌ای که مقادیر به دست آمده، بیشتر مساوی و بالاتر از یک است.

ترابی و میرزایی (۱۳۹۳) اثر صرفه‌های ناشی از مقیاس تولید و درجه تمرکز بر شاخص رقابت‌پذیری در بین صنایع فولاد ایران با استفاده از روش داده‌های تابلویی مورد پژوهش قرار دادند. جامعه آماری این تحقیق شامل شرکت‌های تولید فولاد در کشور در بازه زمانی ۹۲-۱۳۸۰ است. نتایج نشان می‌دهد که اثر متغیرهای درجه تنوع و صرفه‌جویی‌های ناشی از مقیاس تولید بر متغیر وابسته مزیت رقابتی شرکت مثبت و معنادار، اثر متغیرهای ساختار بازار و وضعیت نیروی کار بر متغیر وابسته مزیت رقابتی شرکت منفی و معنادار است.

سیفی و دهقان پور (۱۳۹۳) به برآورد معادلات تقاضا برای نهاده‌ها و بررسی صرفه‌جویی‌های ناشی از مقیاس نیروگاه‌های حرارتی کشور طی دوره ۸۶-۱۳۷۰ پرداختند. برای استخراج معادلات تقاضای نهاده‌های تولید با بهره‌گیری از لم سفاردها از تابع هزینه ترانسلوگ استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده تأیید شرط خوش رفتاری تابع هزینه ترانسلوگ و همچنین پذیرش فرض وجود صرفه‌های ناشی از مقیاس برای نیروگاه است.

### ۳. مطالعات خارجی

کومیا<sup>۱</sup> (۱۹۶۲) در مطالعه‌ای با عنوان پیشرفت تکنولوژی و منابع تولید در صنعت برق بخار آمریکا به تجزیه و تحلیل پیشرفت‌های فناوری در تولید برق بخار با استفاده از سه عامل: صرفه‌های ناشی از مقیاس، جایگزینی عوامل تولید و تغییر در تابع تولید پرداخت. نتایج حاکی از آن است که در تولید انرژی برق بخار، اثر صرفه‌های ناشی از مقیاس بیشتر

از دو عامل دیگر است.

کریستنسن و گرین<sup>۲</sup> (۱۹۷۶) در مقاله‌ای صرفه‌های ناشی از مقیاس برای شرکت‌های تولید برق آمریکا تخمین زدند. با به کارگیری از داده‌های مقطعی دوره زمانی ۷۵-۱۹۵۵ از تابع هزینه ترانسلوگ استفاده کردند. نتایج بیانگر این است که تعداد کمی از شرکت‌های بسیار بزرگ می‌توانند در شرایط خطر تولید کارآمدی داشته باشند.

بری و میکسون جی آر<sup>۳</sup> (۱۹۹۹) در مطالعه‌ای با عنوان "خروجی چند محصوله و صرفه‌های ناشی از مقیاس: برآوردهای جدید با استفاده از بیان فنی"، تفاوت ذاتی هزینه خریداران مختلف در صنعت برق را بررسی کردند. برای این منظور از یک تابع ترانسلوگ هزینه مشترک استفاده شده و برآورد رگرسیون نشان می‌دهد که هزینه نهایی عمده فروشان نسبت به خرده فروشان کمتر است.

الموتارینی و بورنی<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ صرفه‌های ناشی از مقیاس را در صنعت نفت خام کویت را طی دوره زمانی ۹۶-۱۹۷۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که ساختار تولید غیرهمگن است و صرفه‌های ناشی از مقیاس کشش جانشینی بین کار و سرمایه مثبت است. این به این معنا است که دو عامل جانشین یکدیگرند.

فیلیپینی و لوچسینگل<sup>۵</sup> (۲۰۰۷) در مقاله‌ای صرفه‌های ناشی از مقیاس را در بخش برق آبی سوئیس با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ و به کارگیری داده‌های تابلویی ۴۳ شرکت برق آبی طی دوره زمانی ۲۰۰۲-۱۹۹۵ اندازه‌گیری کردند. نتایج بر این امر دلالت دارند که وجود صرفه‌های ناشی از مقیاس افزایش سطح خروجی‌ها را در پی دارند.

<sup>۲</sup>Christensen & Greene

<sup>۳</sup>Berry & Mixon, JR

<sup>۴</sup>Al Mutairi & Burney

<sup>۵</sup>Filippini & Luchsinger

<sup>۱</sup> Komiya

قرار می‌گیرد.

$$\ln c = \beta_0 + \beta_q \ln q + \sum_i \beta_i \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln p_i \ln p_j + \frac{1}{2} \beta_{qq} (\ln q)^2 + \sum_i \beta_{iq} \ln p_i \ln q, \quad i = r, w, f \quad (1)$$

که در آن  $c$  هزینه تولید،  $q$  مقدار تولید،  $p$  قیمت،  $r$  نیروی کار،  $w$  سرمایه و  $f$  انرژی را نشان می‌دهد. با فرض تقعر تابع هزینه، خطی بودن و غیرکاهشی بودن ورودی‌ها و همگنی خروجی‌ها، محدودیت‌های زیر به پارامترهای معادله تحمیل می‌شوند:

$$\sum_i \beta_i = 1; \beta_{ij} = \beta_{ji}; \sum_i \beta_{ij} = \sum_j \beta_{ji} = \sum_i \beta_{iq} = 0 \quad (2)$$

$$S_i = \frac{\partial \ln c}{\partial \ln p_i} = \beta_i + \sum_j \beta_{ij} \ln p_j + \beta_{iq} \ln q \quad (3)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\beta_{ij}}{s_i} + s_j; \quad i \neq j \quad (4)$$

$$\varepsilon_{ji} = \frac{\beta_{ji}}{s_j} + s_i - 1; \quad i = j \quad (5)$$

$\varepsilon_{ij}$  و  $\varepsilon_{ji}$ ، کشش قیمتی تقاضای نهاده‌ها و سهم عامل از هزینه تولید است.

زمانی که تعداد نهاده‌ها در فرایند تولید بیش از دو باشد، کشش جانشینی جزئی آلن-اوزاوا (AES) بین دو نهاده  $i$  و  $j$  از یک تابع هزینه با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma_{ij} = \frac{[\beta_{ji} + s_i s_j]}{s_i s_j} = \varepsilon_{ji} / s_j; \quad i \neq j \quad (6)$$

$$\sigma_{ii} = \frac{[\beta_{ii} + s_i^2 - s_i]}{s_i^2} = \varepsilon_{ii} / s_i; \quad i = j \quad (7)$$

$s_i$  و  $s_j$  به ترتیب سهم عوامل  $j$  و  $i$  از هزینه تولید و  $\beta_{ji}$  پارامتر عبارتی در تابع هزینه ترانسلوگ است که از ضرب لگاریتم‌های قیمت نهاده‌های  $j$  و  $i$  به دست آمده است. در صورتی که  $AES_{ij}$  بزرگتر از صفر باشد، به مفهوم وجود جانشینی بین نهاده تولید و اگر کوچکتر از صفر باشد، بیانگر وجود رابطه مکملی میان دو نهاده تولید است.

برای برطرف کردن عیوب عملکرد کشش جانشینی آلن، کشش جانشینی موریشیما به عنوان معیاری مناسب در تبیین روابط جانشینی و انحنای منحنی تولید همسان پیشنهاد می‌شود. به طور کلی، اگر تعداد متغیرها بیش از دو باشد، کشش جانشینی

آکمیک<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ مقیاس‌های اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری را در بخش تولید برق ترکیه در دوره مالی ۲۰۰۶-۱۹۸۴ تخمین زدند. نتایج نشان می‌دهد که وجود صرفه‌های ناشی از مقیاس طی دوره مورد بررسی منجر به کاهش هزینه‌های متوسط بلندمدت شده است. مارتین و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) در پژوهشی صرفه‌های ناشی از مقیاس و هزینه نهایی فرودگاه‌های اسپانیا را با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ تخمین زدند. نتایج حاکی از آن است که تثبیت ترافیک موجب پایین آمدن هزینه‌ها می‌شود.

ماچادو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان "صرفه‌های ناشی از مقیاس و پیشرفت‌های فناوری در تولید برق"، ساختار هزینه شرکت‌های تولید برق برزیل را در دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۰ با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ تخمین زدند. در طول دوره مورد مطالعه پیشرفت فناوری منجر به کاهش هزینه در برق قدرت شد.

#### ۴. مبانی نظری

یکی از مفاهیم بسیار ابتدایی و در عین حال بنیادی در تولید انبوه، صرفه‌جویی در مقیاس است. صرفه‌های ناشی از مقیاس به معنای چگونگی تأثیر وسعت فعالیت‌ها روی نتایج به دست آمده، از جمله قیمت تمام شده هر واحد کالای تولیدشده است. به طور کلی دو نوع صرفه ناشی از مقیاس وجود دارد:

**درونی:** صرفه‌جویی در هزینه که در یک شرکت انجام می‌شود؛ بدون توجه به صنعت، بازار یا محیطی که در آن فعالیت می‌کند.

**بیرونی:** صرفه‌جویی‌هایی که در ارتباط با حوزه فعالیت و نوع صنعتی است که سازمان در آن فعالیت دارد.

فرم تابعی ترانسلوگ به دلیل انعطاف‌پذیری و خواص مناسب برای تخمین توابع هزینه به طور گسترده مورد استفاده

<sup>1</sup>Martín , Román&Voltes-Dorta

<sup>2</sup>Akkemik

<sup>3</sup>Machado, de Sousa and Hewings

## ۶. برآورد مدل

در این پژوهش تخمین مدل با استفاده از داده‌های ترکیبی یا تابلویی در نرم افزار استتا، به دست آمده است. داده‌های به کار رفته برای دوره زمانی ۹۳-۱۳۸۷ ایران روی ۲۶ نیروگاه گازی، ۱۹ نیروگاه بخاری و ۱۴ نیروگاه سیکل ترکیبی، از ترازنامه انرژی، شرکت توانیر، مرکز آمار ایران و بانک مرکزی استخراج شده‌اند.

در ادامه الگوی مورد نظر مورد برآورد قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا متغیرها و داده‌ها و آزمون‌های مورد استفاده در تحقیق معرفی خواهند شد و سپس به تخمین مدل پرداخته می‌شود.

## ۵. معرفی متغیرهای مدل

متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:  
 TC: معرف هزینه‌های (انرژی، نیروی کار، سرمایه) نیروگاه‌های برق  
 $P_f$ : معرف قیمت نیروی کار در نیروگاه‌های برق  
 $P_w$ : معرف قیمت سرمایه در نیروگاه‌های برق  
 $P_f$ : معرف قیمت انرژی در نیروگاه‌های برق  
 $q$ : معرف تولید برق در نیروگاه‌های برق

## ۶-۱. آزمون‌های F لیمر و هاسمن

در برآورد یک مدل که داده‌های آن از نوع ترکیبی است، ابتدا باید نوع الگوی برآورد مشخص شود. به عبارت دیگر ابتدا باید بررسی شود که مدل مورد بررسی در کدام طبقه pool یا panel قرار می‌گیرد. در مورد داده‌های ترکیبی ابتدا آزمون چاو (F لیمر) به منظور انتخاب شیوه تخمین مدل از بین دو راهکار Pooling و Panel انجام می‌شود. در صورتی که فرضیه  $H_0$  (مبنی بر pool بودن داده‌های مدل) رد شود، مدل از نوع ترکیبی است. آزمون هاسمن یکی از آزمون‌های اصلی در مطالعات پانل است. آزمون هاسمن دومین آزمون بعد از آزمون F لیمر است، که از معیار کای-دو برای بررسی وجود اثرات ثابت یا تصادفی استفاده می‌کند. در صورتی که احتمال آماره آزمون بیش از ۰/۱ باشد؛ در سطح معنی‌داری ۹۰ درصد می‌توان اثرات تصادفی را به اثرات ثابت ترجیح داد. در غیر این صورت اثرات ثابت انتخاب می‌شود.

موریشیما، معیار مناسب‌تری برای ارزیابی جانشینی بین نهاده‌ها است (سیفی و دهقان پور، ۱۳۹۳).

این کشش، درصد تغییر در نسبت یک جفت از نهاده‌ها را به درصد تغییر در نسبت قیمت آنها را اندازه‌گیری می‌کند. هم چنین این کشش آماره مناسبی برای ارزیابی کیفی و کمی اثر تغییرات قیمت نهاده‌ها بر سهم هزینه نهاده‌های تولید است. کشش جانشینی موریشیما (MES) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MES_{ij} = \varepsilon_{ji} - \varepsilon_{ii} \quad ; \quad i \neq j \quad (8)$$

صرفه‌جویی‌های مقیاس عبارت است از درصد تغییر در میزان تولید تقسیم بر درصد تغییر در تمام‌نهاده‌ها. می‌توان صرفه‌جویی‌های مقیاس را با استفاده از رابطه بین مقدار محصول و هزینه تولید بیان نمود. چنانچه درصد تغییر در هزینه به ازای یک درصد تغییر در مقدار محصول را کشش هزینه‌نسبت به محصول بنامیم، صرفه‌های ناشی از مقیاس از رابطه زیر محاسبه می‌شود (سیفی و دهقان پور، ۱۳۹۳):

$$Scale = 1 - \left( \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln q} \right) \quad (9)$$

کشش هزینه نسبت به خروجی‌ها است.

$$\frac{\partial \ln c}{\partial \ln q} = \frac{\partial c}{\partial q} \frac{q}{c} = \beta_q + \sum_i \beta_{iq} \ln p_i + \beta_{qq} \ln q \quad (10)$$

هزینه نهایی برای تولیدکننده زام با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial c}{\partial p_j} = \frac{\partial \ln c}{\partial \ln p_j} \frac{c}{p_j} = \left[ \beta_q + \sum_i \beta_{iq} \ln p_i + \beta_{qq} \ln q \right] \frac{c}{p_j} \quad (11)$$

از معادلات ۹ و ۱۰، صرفه‌های ناشی از مقیاس (ES) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$ES = 1 - \beta_q - \sum_i \beta_{iq} \ln p_i - \beta_{qq} \ln q \quad (12)$$

بر اساس رابطه ۱۲، ES مثبت، وجود صرفه‌های ناشی از مقیاس و ES منفی، عدم صرفه‌های ناشی از مقیاس را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آزمون‌ها

معنی‌داری کل مدل	آزمون هاسمن			آزمون F لیمر			مدل
	نتیجه	آماره	Prob>F	نتیجه	آماره	Prob>F	
F آماره prob	اثرات ثابت	۲۷/۰۹	۰/۰۰۴۵	پنل	۱۹۸/۷۵	۰/۰۰۰۰	
۰/۰۰۰۰							

منبع: نتایج حاصل از تخمین

پدیده‌ای است که واریانس اجزای اخلاص طی زمان یا بین مقاطع تغییر می‌کند. وجود ناهمسانی واریانس در مدل منجر به برآوردهای ناکارا علی‌رغم سازگار بودن می‌شود. هر چند در داده‌های مقطعی برای بررسی ناهمسانی واریانس آزمون‌های متعددی چون بریوش - پاگان، گلیزر، آرچ، پارک، وایت و... وجود دارد. اما این آزمون‌ها در داده‌های تابلویی کارایی ندارد. در داده‌های تابلویی برای بررسی ناهمسانی واریانس از آزمون وایت تعمیم‌یافته استفاده می‌شود.

## ۲-۶ آزمون خودهمبستگی وردریج، بریوش پاگان و آزمون ناهمسانی واریانس وایت تعمیم یافته

در داده‌های تابلویی خودهمبستگی می‌تواند بین مقاطع یا زمان‌ها رخ دهد. برای بررسی خودهمبستگی زمانی مرتبه اول در مدل اثر ثابت از آزمون وردریج استفاده می‌شود. فرض صفر این آزمون عدم خودهمبستگی مرتبه اول در داده‌ها است. همچنین برای بررسی وابستگی و ارتباط بین مقاطع از آزمون‌های بریوش پاگان استفاده می‌شود. ناهمسانی واریانس

جدول ۲. بررسی ناهمسانی واریانس و خودهمبستگی در مدل

خودهمبستگی			ناهمسانی واریانس			مدل
نتایج	فرضیه $H_0$	Prob>F	نتایج	فرضیه $H_0$	Prob>F	
رد فرضیه $H_0$	عدم خودهمبستگی	۰/۰۲۴۴	رد فرضیه $H_0$	عدم ناهمسانی	۰/۰۰۰۰	

منبع: محاسبات تحقیق

جدول ذیل آمده است:

پس از بررسی و تأیید وجود ناهمسانی واریانس و خودهمبستگی مدل، نتایج به دست آمده از روش GLS در

جدول ۳. نتایج تخمین روش GLS

Prob	آماره t	برآورد	پارامتر	prob	آماره t	برآورد	پارامتر
۰/۰۵	۱/۹۳	۰/۱۴	$\beta_{pfpf}$	۰/۰۳۱	-۲/۱۵	-۱۷۵/۸۸	$\beta_0$
۰/۰۴	-۱/۹۷	-۰/۳۱	$\beta_{prq}$	۰/۰۲	۲/۲۱	۵/۹۸	$\beta_q$
۰/۰۳	۲/۱۵	۰/۰۳	$\beta_{pwq}$	۰/۰۰	۵/۲۱	۰/۱۱	$\beta_{qq}$
۰/۰۰۵	-۲/۸۴	-۰/۱	$\beta_{pfq}$	۰/۰۴	۱/۹۹	۱۷/۴۹	$\beta_{pr}$
۰/۰۷	۱/۷۶	۰/۴۶	$\beta_{prpf}$	۰/۰۰۶	۲/۷۷	۶/۸۶	$\beta_{pw}$
۰/۰۴	-۲/۰۱	-۰/۰۶	$\beta_{pwpf}$	۰/۰۸	-۱/۷۳	-۸/۱۸	$\beta_{pf}$
۰/۰۵	-۱/۹۲	-۰/۲۸	$\beta_{prpw}$	۰/۰۸	-۱/۷۵	-۰/۸۴	$\beta_{prpr}$
				۰/۵۶	-۰/۵۸	-۰/۰۱	$\beta_{pwpw}$

منبع: محاسبات تحقیق

## ۳-۶. کشش خودقیمتی و متقاطع

نسبت به قیمت آنها، نتایج کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع در جدول زیر آورده شده است:

در این بخش، برای بررسی میزان کشش تقاضای نهاده‌ها

جدول ۴. کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع نیروگاه‌های برق

نیروگاه‌های سیکل ترکیبی			نیروگاه‌های بخاری			نیروگاه‌های گازی			
سرمایه	نیروی کار	انرژی	سرمایه	نیروی کار	انرژی	سرمایه	نیروی کار	انرژی	
۰,۴	۰,۲	-۱,۰۵	۰,۳	۲,۷	-۱,۲	۰,۲	۲,۷	-۱,۱	انرژی
۰,۲	-۲,۳	۱,۵	۰,۱۵	-۲,۵	۱,۵۵	۰,۰۷	-۲,۴	۱,۶	نیروی کار
-۰,۳	۰,۲	۰,۳	-۰,۳	۰,۱۳	۰,۳	-۰,۴۵	۰,۲۴	۰,۳	سرمایه

منبع: محاسبات تحقیق

قیمت نهاده‌ها بر سهم هزینه نهاده‌های تولید است. مقادیر محاسبه شده برای کشش‌های جانشینی موریشیما در جدول ذیل آورده شده است. نتایج به دست آمده از کشش موریشیما حاکی از رابطه جانشینی میان نهاده‌ها با یکدیگر است. اکثر مقادیر به دست آمده بالاتر از یک هستند که نشان دهنده یک رابطه جانشینی قوی میان نهاده‌ها است. به طوری که اگر قیمت یکی از نهاده‌ها تغییر کند، نیروگاه‌ها به راحتی می‌توانند، نهاده‌هایی را که بالاترین قدرت جانشینی را دارند، جانشین نهاده مورد نظر کنند. این در حالی است که رابطه جانشینی بین سرمایه با دیگر نهاده‌ها مثبت و کمتر از یک است.

بر اساس نتایج به دست آمده، کشش‌های قیمتی خودی تمام نهاده‌ها منفی و مطابق با تئوری است. قدر مطلق مقادیر این کشش‌ها به جز سرمایه بزرگتر از یک بوده که بیانگر باکشش بودن این نهاده‌ها نسبت به قیمت آنها است. با توجه به علامت کشش‌ها می‌توان به جانشین یا مکمل بودن نهاده‌ها پی برد، به گونه‌ای که علامت منفی نشانگر مکمل بودن نهاده‌ها و علامت مثبت نشانگر جانشین بودن آنها است.

## ۴-۶. کشش جانشینی موریشیما

این کشش، درصد تغییر در نسبت یک جفت از نهاده‌ها را به درصد تغییر در نسبت قیمت آنها اندازه‌گیری می‌کند. هم چنین این کشش آماره مناسبی برای ارزیابی کیفی و کمی اثر تغییرات

جدول ۵. کشش‌های جانشینی موریشیما نیروگاه‌های برق

نیروگاه‌های سیکل ترکیبی			نیروگاه‌های بخاری			نیروگاه‌های گازی			
سرمایه	نیروی کار	انرژی	سرمایه	نیروی کار	انرژی	سرمایه	نیروی کار	انرژی	
۱/۳	۲/۵	*	۱/۵	۲/۸	*	۱/۴	۲/۷	*	انرژی
۲/۶	*	۴/۵	۲/۷	*	۰/۳	۲/۶	*	۵/۱	نیروی کار
*	۰/۵	۰/۰۷	*	۰/۵	۰/۶	*	۰/۵	۰/۷	سرمایه

منبع: محاسبات تحقیق



## ۵-۶. کشش جانشینی آلن-اوزاوا

نیروگاه‌های برق کشور بر اساس کشش‌های جانشینی آلن-اوزاوا

نتایج به دست آمده از محاسبه درجه جانشینی نهاده‌های تولید

در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۶ کشش‌های جانشینی آلن-اوزاوا نیروگاه‌های برق

نیروگاه‌های سیکل ترکیبی			نیروگاه‌های بخاری			نیروگاه‌های گازی			
سرمایه	نیروی کار	انرژی	سرمایه	نیروی کار	انرژی	سرمایه	نیروی کار	انرژی	
۰/۶	۷/۲	-۵/۸	۰/۶	۵/۴	-۱۳/۳	۰/۹	۱۳/۲۱	-۱۷/۸	انرژی
۰/۴	-۱۲/۶	*	۰/۲	-۹/۶	*	۰/۳	-۲۳/۴	*	نیروی کار
-۰/۶	*	*	-۰/۷	*	*	-۱/۱۷	*	*	سرمایه

منبع: محاسبات تحقیق

برق طی دوره زمانی مذکور وجود داشته است.

مثبت بودن تمام کشش‌های جزئی متقاطع آلن-اوزاوا نشان دهنده جانشین بودن نهاده‌ها در فرایند تولید است و منفی بودن نشان دهنده مکملی نهاده‌ها با یکدیگر هستند. بر طبق نتایج مندرج در جدول بالا کشش‌های جزئی خودی آلن-اوزاوا طبق انتظار منفی هستند.

## ۶-۶. بررسی صرفه‌های ناشی از مقیاس در نیروگاه‌های برق

نتایج حاصل از بررسی صرفه‌های ناشی از مقیاس طی دوره زمانی ۱۳۸۷-۹۳ در جدول زیر آورده شده است. با توجه به جدول می‌توان گفت که صرفه‌های ناشی از مقیاس در صنعت

جدول ۷. صرفه‌های ناشی از مقیاس طی دوره زمانی ۱۳۸۷-۹۳

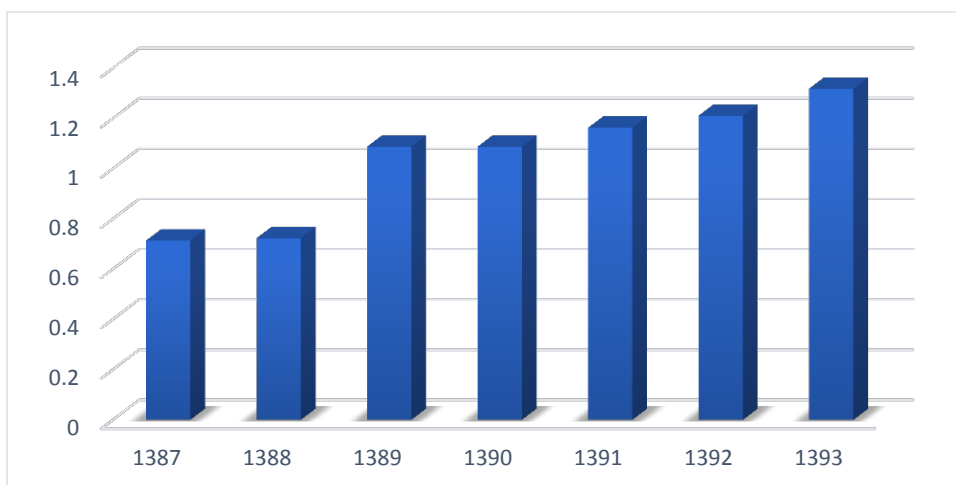
سال	صرفه‌های صنعت برق
۱۳۸۷	۰/۷۱۳۳۴۷
۱۳۸۸	۰/۷۲۳۱۱۸
۱۳۸۹	۱/۰۸۷۲۸۷
۱۳۹۰	۱/۰۸۷۵۳۷
۱۳۹۱	۱/۱۶۲۸۳۲
۱۳۹۲	۱/۲۱۰۹۶۱
۱۳۹۳	۱/۳۱۸۴۵۵

منبع: محاسبات تحقیق

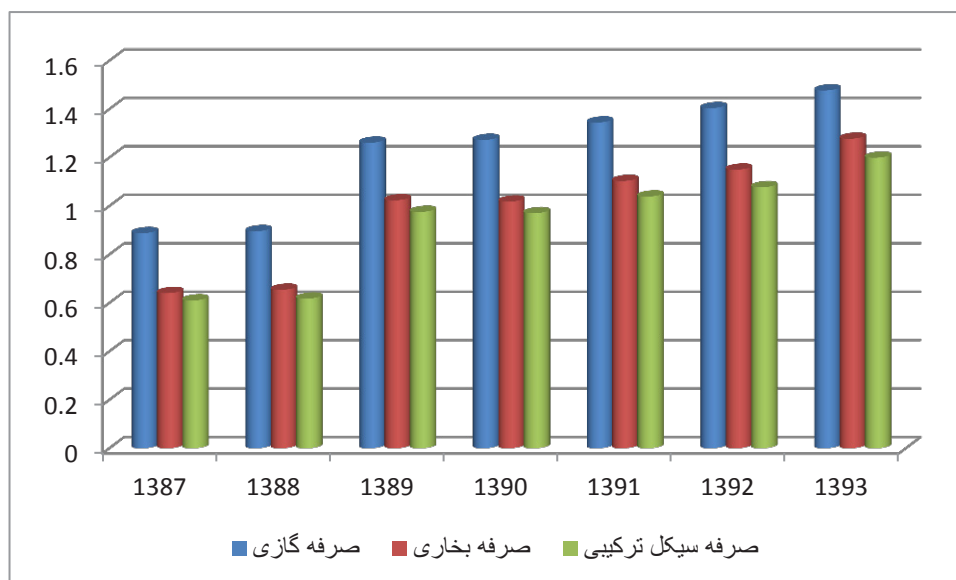
جدول ۸. تحلیل صرفه‌های ناشی از مقیاس

نتیجه	بازده	صرفه‌های ناشی از مقیاس (ES)	شیب تابع هزینه $(\frac{\partial c}{\partial q})$
افزایش تولید با هزینه‌های نزولی همراه است.	صعودی	$ES > 1$	$\frac{\partial c}{\partial q} < 1$
تولید بیشتر تغییری در هزینه ندارد	ثابت	$ES = 1$	$\frac{\partial c}{\partial q} = 1$
در این بازه افزایش تولید بی فایده است.	نزولی	$ES < 1$	$\frac{\partial c}{\partial q} > 1$

مأخذ: نتایج تحقیق



نمودار ۱. صرفه‌های ناشی از مقیاس طی دوره زمانی ۹۳-۱۳۸۷



نمودار ۲. صرفه‌های ناشی از مقیاس نیروگاه‌های برق

و نیروگاه‌های سیکل ترکیبی (۰/۹۲) و در کل صنعت برق ایران (۱/۰۴) تأیید شده است. با توجه به صرفه‌های ناشی از مقیاس در صنعت برق، انتظار می‌رود که تولید برق بیشتر با هزینه کمتر همراه باشد. با توجه به این اصل، توسعه ظرفیت در نیروگاه‌های گازی در تولید برق با هزینه کمتر، در مقایسه با سایر نیروگاه‌ها باعث کاهش قیمت تمام شده برق در کشور می‌شود.

## ۷. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش وجود یا عدم صرفه‌های ناشی از مقیاس و میزان آن در صنعت برق ایران طی دوره زمانی ۹۳-۱۳۸۷ با استفاده از تابع هزینه ترانس‌لوگ بررسی شده است. طبق نتایج حاصل از محاسبات پژوهش، وجود صرفه‌های ناشی از مقیاس طی دوره مذکور در نیروگاه‌های بخاری (۰/۹۸)، نیروگاه‌های گازی (۱/۲۲)

داخل کشور و برتری صنعت برق در صحنه تجارت بین‌الملل حائز اهمیت است. بر این اساس با وجود صرفه‌ها در صنعت برق ایران باید به دنبال توسعه ظرفیت تولید برق در نیروگاه‌هایی با صرفه‌های بالاتر بود.

طبق محاسبات انجام گرفته و نتایج حاصل از آنها، پیشنهادات زیر جهت کارایی بهتر و بیشتر تولید برق در ایران ارائه می‌شود:

۱. سرمایه گذاری در نیروگاه هایی که صرفه‌های ناشی از مقیاس بالا دارند تا جایی که نتیجه معکوس نداشته باشد.
  ۲. از آنجا که اصولاً کارایی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از سایر نیروگاه ها بیشتر است، سرمایه گذاری بیشتر در این نیروگاه ها پیشنهاد می‌شود.
  ۳. جایگزین کردن انرژی‌های نو به جای انرژی‌های فسیلی جهت افزایش بهره‌وری و همچنین آلودگی کمتر در تمام نیروگاه‌های حرارتی اعم از گازی، بخاری و سیکل ترکیبی مفید است.
- به دلیل اهمیت صرفه‌های ناشی از مقیاس در صنایع، پیشنهاد می‌شود این موضوع در صنعت فولاد، صنعت سیمان و صنعت تولید خودرو نیز مورد بررسی قرار گیرد.

محاسبات انجام شده در زمینه کشش جانشینی موریشیما، رابطه جانشینی بین ۳ نهاده انرژی، نیروی کار و سرمایه را نشان می‌دهند. البته بسته به نوع نیروگاه‌ها اعم از گازی، بخاری و سیکل ترکیبی، درجه جانشینی نهاده‌ها در نیروگاه‌های مختلف متفاوت است. بر این اساس، درجه جانشینی بین نهاده‌ها به جز نهاده سرمایه با یکدیگر بسیار قوی و بالای یک است. در مقابل میزان جانشینی نهاده سرمایه با سایر نهاده‌ها در ازای تغییر قیمت سایر نهاده‌ها کمتر از یک و کم کشش است که می‌تواند ناشی از فناوری پایین صنعت برق در ایران باشد. فناوری بالا امکان جانشینی بین نهاده‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین نتایج حاکی از این است که، در نیروگاه‌های بخاری نسبت نهاده نیروی کار به نهاده انرژی در اثر تغییر قیمت نیروی کار به انرژی ۰/۳ است. یعنی یک درصد تغییر در نسبت قیمت نیروی کار به انرژی در صورت ثابت بودن سایر عوامل، باعث تغییر در نسبت نیروی کار به انرژی به اندازه ۰/۳ درصد می‌شود، که این مقدار نسبت به سایر نیروگاه‌ها بسیار پایین تر است.

از آنجا که صرفه‌های ناشی از مقیاس باعث کاهش هزینه‌های تولید به دلیل کارایی عملیاتی و همکاری می‌شود. وجود آن برای رشد صنعت برق و سایر صنایع مرتبط با آن در

## منابع

- شهپیک تاش، محمد نبی؛ نوروزی، علی و غلامعلی رحیمی (۱۳۹۲). "صرفه‌های مقیاس، سطح تولید بهینه و کشش جانشینی در صنایع انرژی بر ایران"، *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی*، سال ۲، شماره ۶، صص ۱۰۵-۷۵.
- شهپیک تاش، محمد نبی و علی نصیری اقدم (۱۳۹۰). "تمرکز، شدت مانع ورود و صرفه‌های مقیاس در صنعت کولر آبی ایران و هزینه رفاهی ناشی از ساختار انحصار مؤثر"، *فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)*، دوره ۸، شماره ۱، صص ۷۳-۹۸.
- عباسی، پیام؛ صیادی، احمدرضا و لطفعلی عاقلی (۱۳۹۰). "بررسی صرفه‌های مقیاس در معادن سنگ ساختمانی ایران"، سال ۱۱، شماره ۵۹، صص ۱۱۶-۹۵.

- ترابی، رضوان و مجتبی میرزایی (۱۳۹۳). "اثر صرفه‌های ناشی از مقیاس تولید و درجه تمرکز بر شاخص رقابت‌پذیری در بین صنایع فولاد ایران"، کنفرانس بین‌المللی دست‌آورد‌های نوین پژوهشی در مدیریت، حسابداری و اقتصاد. خداداد کاشی، فرهاد (۱۳۸۶). "صرفه‌های مقیاس در اقتصاد ایران: مورد بخش صنعت"، *تحقیقات اقتصادی*، سال ۱۱، شماره ۸۰، صص ۱۸-۱.
- راسخی، سعید (۱۳۹۵). "عوامل تعیین کننده مزیت رقابتی صنایع کارخانه‌ای ایران"، *اقتصاد و تجارت نوین*، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، سال یازدهم، شماره سوم، صص ۱۲۶-۱۰۳.
- سیفی، احمد و محمدرضا دهقان پور (۱۳۹۳). "بررسی تقاضای نهاده‌ها، صرفه جوئی‌های ناشی از مقیاس و تغییرات فنی در صنعت تولید برق کشور طی دوره ۸۶-۱۳۵۰"، *مجله علمی-پژوهشی سیاست‌گذاری اقتصادی*، سال ۶، شماره ۱۲، صص ۸۰-۴۸.

- شماره‌پیاپی، صص ۵۴-۲۷.
- ملکان، جاوید (۱۳۹۰). "بررسی اثرات نسبت تمرکز و صرفه‌های ناشی از مقیاس بر سودآوری در بخش صنعت ایران"، فصلنامه روند پژوهش‌های اقتصادی، سال ۱۹، شماره ۵۸، صص ۱۲۵-۹۹.
- عمادزاده، مصطفی؛ آذربایجانی، کریم و غلامرضا زمانیان (۱۳۸۰). "صرفه‌های ناشی از مقیاس: تحلیلی از وضعیت شرکت ذوب آهن اصفهان"، مجله تحقیقات اقتصادی، سال ۱۱، شماره ۵۹، صص ۱۱۶-۹۵.
- معمارنژاد، عباس و داود هادیفر (۱۳۸۸). "بررسی وجود انحصار طبیعی در بازار مخابرات ایران"، فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، سال سوم،
- Akkemik K. Ali (2009). "Cost Function Estimates, Scale Economies and Technological Progress in the Turkish Electricity Generation Sector", *Energy Policy*, No. 37, pp.204-213.
- Al-Mutairi, Naief A. and Burney Nadeem (2002), "Factor Substitution and Economies of Scale and Utilisation in Kuwait's Crude oil Industry", *Energy Economics*, No. 24, pp. 337-354.
- Christensen Laurits R. and Greene William H. (1976), "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation", *Journal of political economy*, Vol. 84, No.4, pp. 655-676.
- Filippini Massimo and Luchsinger Cornelia (2007), "Economies of Scale in the Swiss hydropower Sector", *Applied Economics Letters*, No. 14, pp. 1109-1113.
- Komiya Ryutaro (1962), "Technological Progress and Production Function in the United States Steam Power Industry", *The Review of Economics and Statistics*, Vol.44, No.2, pp.156-166.
- Machado Mauricio Marins Conceição Sampaio de Sousa Hewings Geoffrey (2016), "Economies of Scale and Technological Progress in Electric Powerproduction: The Case of Brazilian utilities", *Energy Economics*, No.59, pp. 290-299.
- Martín, Juan Carlos, Román, Concepción, Voltés-Dorta, Augusto (2011), "Scale Economies and Marginal Costs in Spanish Airports", *Transportation Research*. Part E, No. 47, pp.238-248.