The Journal of PLANNING & BUDGETING
Indexed In ISC | Vol. 24 | No. 2 | Summer 2019 | PP 31-58
ISSN: 2251-9092

Evaluating Efficiency and Productivity Growth in Passenger Transportation Industry: Application of Stochastic Frontier Function

Samaneh Norani-Azad[1] | noraniazad@pnu.ac.ir
Farhad Khodadad-Kashi[2] | khodadad@pnu.ac.ir

Abstract The main purpose of this study is to measure the productivity and efficiency of Iran's airline industry. To meet this ends, the data of 12 companies in the airline industry were used over the period 2011-2018. Also, this article sought to measure total factor productivity, technological progress, scale efficiency, and changes in technical efficiency by using a stochastic frontier and parametric approaches. The results show that the highest total factor productivity and change efficiency occurred in 2014. Moreover, among the effective factors on productivity, the change efficiency and economies of scale have the greatest impact. Although some of the companies exhausted all the scale economies, some still have not done that yet. Therefore, by increasing product scale and air fleet capacity, economies of scale can be exploited further. In addition, the results imply that increasing the market share of each company leads to a reduction of inefficiency in this industry. Thus market share being aligned with technological progress, scale efficiency and change efficiency are the determining factors in enhancing total factor productivity and efficiency in this industry.

Keywords: Total Factor Productivity, Scale Efficiency, Technical Efficiency, Technological Progress Rate, Airline Transportation, Growth Accounting, Stochastic Frontier.

JEL Classification: O12, O43, C23.

1. Assistant Professor, Department of Economics, Payame Noor University, Tehran, Iran, (Corresponding Author).
2. Professor, Department of Economics, Payame Noor University, Tehran, Iran.

ارزیابی کارایی و رشد بهره وری صنعت حمل و نقل مسافربری: کاربرد تابع تجزیه پذیر مرزی

سمانه نورانی‌آزاد | noraniazad@pnu.ac.ir
استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(نویسنده مسئول).

فرهاد خداداد کاشی | khodadad@pnu.ac.ir
استاد گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۶ | پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۴

چکیده: هدف محوری پژوهش حاضر ارزیابی رشد بهره‌وری کل عوامل و انواع مولفه‌های کارایی موثر بر آن در شرکت‌های حمل‌ونقل هوایی بخش مسافربری کشور ایران است. بدین منظور از رویکرد پارامتریک تابع تولید تجزیه‌پذیر مرزی استفاده می‌شود که در آن رشد بهره‌وری عوامل تولید، متاثر از نرخ رشد پیشرفت فنی، تغییرهای کارایی فنی، و کارایی مقیاس است تا ضمن بهره‌گیری از داده‌های ۱۲ شرکت فعال در صنعت هوایی ایران در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۰ به این مهم پرداخته شود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سال ۱۳۹۳ بیش‌ترین ضریب نرخ رشد بهره‌وری را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، در بین عوامل موثر بر رشد بهره‌وری عوامل تولید، تغییرهای کارایی فنی و کارایی مقیاس بیش‌ترین اثرگذاری را دارند. علاوه بر این، نتایج دلالت بر آن دارد که با افزایش سهم بازاری هر شرکت، ناکارایی در این صنعت کاهش می‌یابد. بنابراین، سهم بازاری همسو با نرخ رشد پیشرفت فنی، تغییرهای کارایی فنی، و بهره‌برداری از صرفهٔ مقیاس به عنوان عوامل افزایش‌دهندهٔ بهره‌وری عوامل تولید و کارایی در این صنعت به‌شمار می‌روند.

کلیدواژه‌ها: بهره‌وری کل عوامل، کارایی مقیاس، کارایی فنی، نرخ رشد پیشرفت فنی، حمل‌ونقل هوایی، حسابداری رشد، تابع تولید مرزی.

طبقه‌بندی JEL: C23, O43, O12.

فصلنامه علمی - پژوهشی
شاپا (چاپی) ۹۰۹۲-۲۲۵۱ | نمایه در ISC
سال بیست و چهارم | شماره ۲ | تابستان ۱۳۹۸ | ص ص ۵۸-۳۱

مقدمه

ارتقای بهره‌وری و افزایش کارایی در زیربخش‌های مختلف اقتصادی به عنوان یکی از پایه‌های اساسی توسعه متوازن و پایدار کشورهاست که از آن به عنوان نیروی محرکه موتور توسعه تعبیر می‌شود. بررسی عملکرد اقتصادی کشورهایی که در چند دهه اخیر از رشد قابل‌توجهی برخوردار هستند، نشان می‌دهد که بخش چشمگیری از رشد اقتصادی این کشورها از راه افزایش کارایی و بهره‌وری در بخش‌های مختلف است (Han *et al*., 2004). در واقع، ارتقای بهره‌وری عوامل تولید نه‌تنها زمینه‌ساز بقا و رقابت در عرصه بازارهای داخلی و خارجی است، بلکه با فراگیر شدن آن در تمامی فعالیت‌ها زمینه‌ساز رشد و توسعه اقتصادی خواهد بود. اهمیت این مسئله به اندازه‌ای است که در اقتصاد ایران نیز در برنامه‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی، و فرهنگی، به‌ویژه در برنامه‌های سوم، چهارم، و ششم توسعه اقتصادی به ارتقای بهره‌وری از راه اتکای بر رقابت‌پذیری و نوآوری، واگذاری فعالیت‌ها به بخش خصوصی، گسترش سرمایه‌گذاری، و بهبود کیفیت حمل‌ونقل تاکید می‌شود. ارتقای بهره‌وری و کارایی در حوزه حمل‌ونقل هوایی با توجه به مهم‌ترین ویژگی اقتصادی آن، که اثرگذاری بر صنایع دیگر است، می‌تواند به هماهنگی فعالیت بخش‌های مختلف و توسعه اقتصادی کمک شایانی کند.

پژوهش‌های انجام‌شده در صنعت حمل‌ونقل هوایی ایران نشان می‌دهد که بهره‌وری و کارایی در این صنعت از میانگین جهانی پایین‌تر است. همچنین، پژوهش‌های پیشین در مورد بررسی و مقایسه رشد بهره‌وری عوامل تولید در کوتاه‌مدت و بلندمدت حاکی از آن است که به‌طور متوسط صنعت هوایی رشد بهره‌وری دارد، اما به دلیل گرایش به استفاده بیش‌تر از نیروی کار، فرسودگی ناوگان پروازی، استفاده از فناوری نامناسب در شبکه پروازی، و حجم بالای تراکم حمل‌ونقل بدون توجه به ارائه ظرفیت خدمات، این صنعت روند نزولی رشد بهره‌وری را در کل عوامل تولید تجربه می‌کند (هادیان و بگماز، ۱۳۸۱). بر اساس گزارش شرکت اسکای تراکس[1] که هرساله با توجه به شاخص‌هایی از قبیل سیستم‌های مدیریت، کابین هواپیما، رفتار و عملکرد کارکنان و کادر پرواز، کیفیت پذیرایی، و نحوه سرگرمی در طول پرواز، نشان می‌دهند هرچند که پایه‌گذاران این صنعت شرکت‌های اروپایی و آمریکایی هستند و با بیش‌ترین بهره‌وری، بالاترین رتبه را به خود اختصاص می‌دهند، اما چند

1. Skytrax

این شرکت یک گروه مشاوره مستقر در انگلستان است که با استفاده از نظرخواهی‌های مختلف از مسافران به رتبه‌بندی فرودگاه‌ها و شرکت‌های هواپیمایی می‌پردازد.

سالی است که رقبای آسیایی، به‌ویژه کشورهای ثروتمند و موفقی مانند امارات، قطر، و ممالک آسیای شرقی مثل چین، اندونزی، مالزی، و هنگ‌کنگ، گوی سبقت را از رقبا می‌ربایند. بر طبق رتبه‌بندی سال ۲۰۱۹ شرکت سنگاپور ایرلاینز به دلیل پیشگام بودن در ارائه نوآوری برای راحتی مسافران، نرخ ایمنی هفت ستاره، سن ناوگان هوایی، نظرهای مسافران، سوددهی، و نرخ سرمایه‌گذاری رتبه یکم را دارد و شرکت‌های ایرنیوزلند و کانتاس با توجه به عملکرد خوب خود در پروازهای داخلی و بین‌المللی، و جلب رضایت مشتریان رتبه دوم و سوم را به خود اختصاص می‌دهند. این شرکت‌ها با برنامه‌ریزی و نظارت درست بر قیمتگذاری و آزادسازی قیمت‌ها، علاوه بر ارتقای خدمات پروازی، در ارتقای بهره‌وری و توسعه متوازن هر کشور نقش اساسی دارند[1].

این در حالی است که مروری کوتاه بر عملکرد شرکت‌های فعال حمل‌ونقل هوایی کشور ایران برحسب جابه‌جایی مسافر و کالا نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر، جابه‌جایی مسافر و حمل بار به‌ترتیب به میزان ۲۳/۶ و ۱۹/۷ درصد نسبت به سال قبل افزایش دارد و این رشد بیش‌تر به دلیل افزایش جابه‌جایی مسافر و بار در پروازهای داخلی است. از طرفی، افزایش ۳/۸ درصدی شاغلان در این صنعت باعث می‌شود که این بخش به عنوان یکی از ظرفیت‌های افزایش کارایی و بهره‌وری اقتصادی مورد توجه قرار گیرد (واحد آمار دفتر فناوری اطلاعات و بررسی‌های آماری، ۱۳۹۲). همچنین، بررسی وضعیت ناوگان موجود ایران و مقایسه آن با کشورهای منطقه گویای این واقعیت است که متوسط سن ناوگان هوایی ایران ۲۵ سال است، در حالی که در کشورهای رقیب منطقه، متوسط سن ناوگان به ۱۰ سال می‌رسد (وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۴). علاوه بر این، متوسط سوخت مصرفی ۲۲ لیتر است، ولی در مورد ناوگان داخلی به دلیل فرسودگی به ۳۸ لیتر می‌رسد؛ میزان مسافران حمل‌شده توسط سه شرکت هوایی بزرگ کشورهای خلیج فارس به ۸۸ میلیون نفر می‌رسد، در حالی که این رقم در مورد بزرگ‌ترین خط هوایی ایران، یعنی هما، ۶/۴ میلیون نفر است (کریمی مجد، ۱۳۹۴).

با توجه به آمار بالا ملاحظه می‌شود که بهره‌وری عوامل تولید و کارایی در ایرلاین‌ها و سیستم حمل‌ونقل هوایی ایران یکی از مباحث چالش‌برانگیز است. بنابراین، مسئله اصلی پژوهش حاضر آن است که چه عواملی ماهیت بهره‌وری کل عوامل تولید را تشکیل می‌دهند و کدام عامل در صنعت حمل‌ونقل هوایی ایران نقش غالبی دارد؟ در واقع، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این پرسش است

1. Airline Reviews and Rating for 2019 announced by Skytrax https://www.airlinequality.com

که با تغییر کدام یک از مولفه‌ها می‌توان به بالاترین نرخ رشد بهره‌وری در بخش حمل‌ونقل هوایی رسید؟

در ادبیات اقتصادی، بهره‌وری کل به روش غیرپارامتریک تحلیل پوشش داده‌ها (DEA)[1]، مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌گیرد، که مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی، و در قالب مدل غیرتصادفی یا روش پارامتریک مرز تصادفی (SFA)[2]، و روش‌های اقتصادسنجی است. در رهیافت مرز تصادفی، علاوه بر این‌که تحلیل رشد بهره‌وری از راه تابع تولید یا هزینه امکان اندازه‌گیری مولفه‌های نرخ رشد پیشرفت فنی، کارایی فنی، کارایی تخصیصی، کارایی مقیاس، و تعیین سهم هر یک از آن‌ها نیز امکان‌پذیر است، این مزیت را دارد که انحراف از مرز تولید یا هزینه را که به واسطه ناکارایی یا نوسان‌های اتفاقی حاصل می‌شود، شناسایی کند (O'Donnell, 2014). بنابراین، با توجه به هدف اصلی این پژوهش، که سنجش رشد بهره‌وری عوامل تولید و انواع مولفه‌های کارایی موثر بر آن در بخش حمل‌ونقل هوایی کشور ایران در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۰ است، از رهیافت پارامتریک مرز تصادفی استفاده می‌شود. سهم این پژوهش نسبت به پژوهش‌های پیشین آن است که در ادبیات پژوهش تنها اثر برخی از عوامل موثر را بر رشد بهره‌وری عوامل برآورد می‌کند، در حالی که در این پژوهش، با حسابداری رشد و مدل اقتصادسنجی پنل دیتا، ضمن اندازه‌گیری نرخ رشد بهره‌وری عوامل تولید، اثرهای مقیاس و تغییرهای کارایی فنی را در کنار پیشرفت فنی پوشش می‌دهد.

در ادامه، پژوهش به شکل زیر سازماندهی می‌شود. پس از مقدمه، ادبیات پژوهش و پیشینه مرور می‌شود. آن‌گاه معرفی مدل و ساختار الگو ارائه می‌شود، سپس به محاسبه‌های کمّی و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها پرداخته می‌شود. در نهایت، بخش پایانی به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص می‌یابد.

مبانی نظری پژوهش

با توجه به این‌که پژوهش حاضر درصدد سنجش کارایی و بهره‌وری عوامل تولید در سامانه حمل‌ونقل هوایی ایران است، ضروری است که دو مفهوم کارایی و بهره‌وری، و نحوه ارتباط آن‌ها از بُعد نظری بررسی شود. بهره‌وری را می‌توان تخصیص بهینه عوامل تولید تعریف نمود که در آن برای کسب سطح مشخصی از تولید، از کم‌ترین عوامل تولیدی استفاده شود یا با بهره‌گیری از سطح معین عوامل تولید، بیش‌ترین سطح محصول به‌دست آید. در واقع، بهره‌وری نسبت ستاده به نهاده است و بسته به این‌که یک یا چند عامل در فرایند تولید مد نظر باشند، به دو گروه بهره‌وری جزئی و

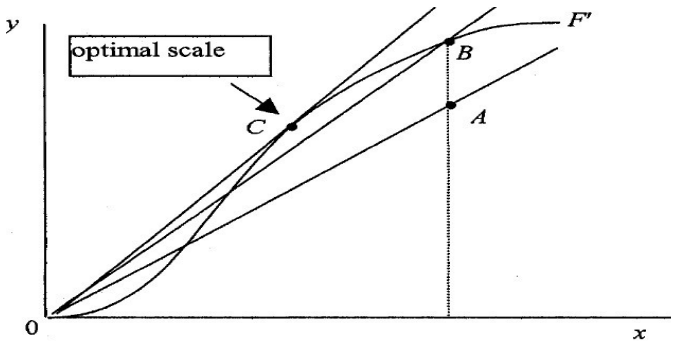
1. Data Envelopment Analysis
2. Stochastic Frontier Approach

بهره‌وری کلی طبقه‌بندی می‌شود. در بهره‌وری جزئی (PFP)[1]، که تنها یک عامل در فرایند تولیدی دخیل است، میزان بهره‌وری از نسبت ستاده (ارزش‌افزوده واقعی)، به نهاده مد نظر به‌دست می‌آید؛ در حالی که در بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP)[2]، که چند عامل تولیدی در تولید محصول دخیل هستند، بهره‌وری از نسبت ستاده (ارزش‌افزوده واقعی)، به میانگین وزنی نهاده‌ها به‌دست می‌آید که در آن وزن‌ها منعکس‌کننده سهم هر یک از نهاده‌ها از کل هزینه تولید هستند. از سوی دیگر، کارایی نیز مفهومی نسبی برای مقایسه بین عملکرد واقعی و ایده‌آل هر بنگاه است. در واقع، کارایی به بهترین عملکرد بنگاه یا بیش‌ترین مقدار ستادهٔ به‌دست‌آمده از ترکیب مقدار مشخص نهاده و فناوری تولید اشاره دارد (Yu, 2016). در مباحث نظری اقتصاد تولید، کارایی به انواع مختلف فنی[3]، تخصیصی[4]، اقتصادی[5]، و مقیاس[6] طبقه‌بندی می‌شود. به‌طوری که در کارایی فنی بنگاه، بحث توانایی بنگاه برای بیشینه‌سازی میزان تولید با توجه به منابع و عوامل تولید مطرح است و با ساختار فناوری ارتباط دارد. در این دیدگاه، بنگاهی دارای کارایی فنی بالاتر است که بتواند با مجموعه نهاده‌های مفروض و ثابت، محصول بیش‌تری نسبت به سایر بنگاه‌ها تولید کند. حال اگر در بحث کارایی فنی، محور بحث متمرکز بر تغییر میزان تولید باشد، به آن کارایی ستاده‌مدار[7] گویند و در صورتی که با توجه به سطح ثابت محصول از یک یا چند عامل تولید کم‌تر استفاده شود، به آن کارایی نهاده‌مدار[8] گفته می‌شود. از طرف دیگر، کارایی تخصیصی بیانگر تخصیص بهینه عوامل تولید از پی کمینه کردن هزینه تولید و بیشینه کردن سود بنگاه با توجه به قیمت نسبی عوامل تولید است. بنابراین، کارایی تخصیصی مستلزم انتخاب آن مجموعه از عوامل تولید با قیمت مشخص است که سطح معینی از محصول را در کم‌ترین هزینه تولید کند. به همین دلیل، کارایی تخصیصی را کارایی قیمت می‌نامند، در حالی که کارایی اقتصادی یا کارایی هزینه، که ترکیبی از کارایی فنی و تخصیصی است، نشان‌دهنده توانایی واحد تولید در به‌دست‌آوردن بیش‌ترین سود ممکن با توجه به قیمت‌ها و سطح نهاده است. کارایی مقیاس یکی دیگر از شاخص‌های سنجش کارایی یک واحد تولیدی است، و بیانگر نسبت کارایی مشاهده‌شده آن واحد به کارایی در مقیاس بهینه است. در این دیدگاه، اندازه بنگاه در تشخیص کارایی نسبی مد نظر

1. Partial Factor Productivity
2. Total Factor Productivity
3. Technical Efficiency
4. Allocative Efficiency
5. Economic Efficiency
6. Scale Efficiency
7. Output Oriented
8. Input Oriented

قرار دارد (Badunenko *et al*., 2006). علاوه بر این، بسیاری از متون اقتصادی کارایی و بهره‌وری را به صورت یکسان یا به‌جای یکدیگر بکار می‌برند، اما این دو اصطلاح به‌طور دقیق مشابه هم نیستند، زیرا هر نقطه روی مرز تولید بیانگر بیش‌ترین میزان کارایی فنی است؛ اما این به معنای بیشینه بودن بهره‌وری نیست. در واقع، نقاط مختلف مرز تولید نسبت به هم از لحاظ بهره‌وری متفاوت هستند، زیرا بنگاه‌های تولیدی ممکن است که به لحاظ فنی از کارایی کامل بهره‌مند باشند، ولی به خاطر عوامل دیگری مانند صرفه‌های مقیاس یا بهینه نبودن اندازه بنگاه، از بیشینهٔ بهره‌وری برخوردار نباشند.

برای درک این موضوع در نمودار (۱)، فرض کنید که ستانده (Y) با استفاده از یک عامل تولید (X) تولید می‌شود. منحنی OF یک تابع مرزی است که روی آن، میزان تولید دسترس‌پذیر برحسب یک فناوری موجود مشخص می‌شود و بیانگر بیش‌ترین کارایی فنی است. در این نمودار، خطوطی که با شیب (Y / X)، بر نقاط روی منحنی OF رسم می‌شوند، معیاری برای اندازه‌گیری بهره‌وری هستند. اگر بنگاه تولیدی در نقطه‌ای مانند A (زیر منحنی تابع مرزی) عمل نماید، ضمن این‌که با نبود کارایی فنی روبه‌روست، می‌تواند از بهره‌وری برخوردار باشد، اما این نقطه بیانگر بیشینهٔ بهره‌وری نیست. حال با جابه‌جایی از نقطه A به B کارایی فنی و بهره‌وری افزایش می‌یابد. اگرچه نقطه B در مقایسه با نقطه A و نقاط مشابهی که زیر مرز تولید هستند، از کارایی فنی برخوردار است، اما بیشینهٔ بهره‌وری نخواهد داشت. بیشینهٔ بهره‌وری در نقط C حاصل می‌شود که در آن شیب خط رسم‌شده از مبدا مختصات (Y/X)، برابر با شیب منحنی تابع مرزی است و در مقایسه با سایر نقاط زیر و روی منحنی، از مقدار بیشینهٔ بهره‌وری برخوردار است. بنابراین، بنگاه تولیدی ممکن است به لحاظ فنی از کارایی کامل بهره‌مند باشد؛ اما به خاطر عوامل دیگری مانند مقیاس یا بهینه نبودن اندازه بنگاه، از بیشینهٔ بهره‌وری برخوردار نباشد. به بیان دیگر، موقعیتی که در آن بیشینهٔ بهره‌وری برقرار است، مسلماً متضمن کارایی نیز است، اما عکس این مطلب لزوماً صادق نیست.



شکل ۱: مقایسه تفاوت دو مفهوم کارایی و بهره‌وری (Coelli *et al.*, 2005)

در فناوری موجود، بنگاه در نقطه C، از بیشینهٔ بهره‌وری و کارایی فنی همزمان برخوردار است. این تحلیل در شرایط ایستا و در یک مقطع زمانی است، اما در شرایط پویا عاملی با عنوان تغییرهای فناورانه مطرح می‌شود که باعث انتقال تابع مرزی می‌شود و افزایش بهره‌وری را به همراه دارد (Coelli *et al.*, 2005). به‌طور کلی، امکان عملی سنجش و اندازه‌گیری کارایی و نرخ رشد بهره‌وری با استفاده از دو روش پارامتریک و غیرپارامتریک فراهم است. در روش پارامتریک یا تحلیل مرز تصادفی، ناکارایی نسبت به تابع مرزی با استفاده از داده‌های آماری تخمین زده می‌شود؛ این امر مستلزم استفاده از توابع تولید و هزینه است. در این روش به‌ازای نهاده‌های هر بنگاه، تابع مرزی و میزان تولید مرزی محاسبه می‌شود و تفاوت تولید واقعی و تولید مرزی ناکارایی محسوب می‌شود که این ناکارایی می‌تواند ناشی از ناکارایی فنی و عامل تصادفی باشد. به‌طوری که اگر عملکرد بنگاهی از تولید مرزی کم‌تر باشد، بخشی از ناکارایی به دلیل ناکارایی فنی و بخشی به دلیل وجود عوامل تصادفی است. اگر بنگاهی بالاتر از تابع مرزی عمل کند، ناکارایی تنها به دلیل وجود عوامل تصادفی خواهد بود و در حالتی خاص که مقدار تولید واقعی بنگاه با تولید مرزی بنگاه فرضی برابر است، بنگاه از لحاظ فنی کارا به‌شمار می‌رود (Battese & Coelli, 1995). در رویکرد ناپارامتریک یا تحلیل پوششی داده‌ها، انواع کارایی و نرخ رشد بهره‌وری با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی و اطلاعات داده و ستاده‌ها مورد سنجش و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این روش، واحدها با سطح استاندارد از قبل تعیین‌شده یا تابعی معلوم و مشخص مقایسه نمی‌شوند؛ بلکه ملاک ارزیابی، عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای است که در شرایط یکسان فعالیت‌های مشابه انجام می‌دهند. در روش تحلیل پوشش داده‌ها، کارایی بنگاه‌ها در شرایط بازدهی ثابت و متغیر نسبت به مقیاس و بر اساس رویکرد نهاده‌مدار و ستاده‌مدار اندازه‌گیری می‌شود. در حالی

که در رویکرد پارامتریک، نرخ رشد بهره‌وری کل عوامل تولید و انواع مولفه‌های کارایی موثر بر آن با استفاده از مرز تصادفی ارائه‌شده توسط باتیس و کولی (۱۹۹۵) سنجیده می‌شود که شامل اثرهای ناکارایی تصادفی است. در واقع، در این مدل امکان تخمین تغییرهای فنی در مرز تصادفی و ناکارایی فنی متغیر در طول زمان فراهم است. این الگو به شرح زیر است:

$$
\begin{aligned}
&Y_{it} = \beta X_{it} + (V_{it} - U_{it}) \\
&U_{it} = \{Uexp(-\eta(t-T))\} \\
&V_{it} \sim iidN(0, \sigma_v^2) \\
&U_{it} \sim iid|N(m_{it}, \sigma_u^2)|, U_{it} \geq 0 \\
&m_{it} = \delta Z_{it}
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

در الگوی (۱)، Y_{it} بیانگر محصول بنگاه iام در دوره زمانی t، X_{it} بردار نهاده‌ها، η, β بردار پارامتر، U_{it} اثرهای ناکارایی تولید، و V_{it} جزء اخلال است. علاوه بر این، جزء U_{it} بیانگر ناکارایی فنی در تابع تولید و متغیر در طول زمان است که توزیع نرمال منقطع[1] در نقطه صفر با میانگین برابر m_{it} دارد. همچنین، Z_{it} بردار P×1 از متغیرهای توضیحی موثر بر ناکارایی فنی بنگاه و δ بردار P×1 از پارامترهای تخمینی است. حال اگر در این مدل از بین متغیرهای توضیحی موثر بر ناکارایی فنی بنگاه $(m_{it} = \delta Z_{it})$، تنها یک متغیر توضیحی معنادار باشد، این الگو مشابه مدل استیونسن[2] (۱۹۸۰)، و باتیس و کولی (۱۹۸۸؛ ۱۹۹۲) خواهد بود. در شرایطی که تمامی متغیرهای توضیحی موثر بر ناکارایی معنادار نباشند، اثر ناکارایی فنی ارتباطی با متغیرهای توضیحی ندارد و توزیع نیمه‌نرمال ارائه‌شده توسط ایگنر و همکاران[3] (۱۹۷۷) حاصل می‌شود. همچنین، در صورتی که متغیر Z شامل اثر تقاطعی متغیر خاص بنگاه و قیمت نهاده‌ها باشد، مدل مرز تصادفی غیرخنثی هوانگ و لیو[4] (۱۹۹۴) به‌دست می‌آید. برآورد الگو (۱) مستلزم استفاده از روش بیشینهٔ راست‌نمایی (MLE)[5] است و در این مدل دو پارامتر $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ و $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}$ بسیار مهم هستند. پارامتر γ در واقع معنادار بودن جزء ناکارایی و اثر آن را در مدل ارزیابی می‌کند. این پارامتر در فرایند بیشینه‌سازی برآورد می‌شود و مقداری بین صفر و یک دارد. اگر $\sigma_u^2 = 0$ باشد، $\gamma = 0$ خواهد بود و جزء ناکارایی از مدل حذف

1. Truncated Normal Distribution
2. Stevenson
3. Aigner *et al*.
4. Huang & Liu
5. Maximum Likelihood Estimation

می‌شود و مدل مرز تصادفی به مدل رگرسیون معمولی تبدیل می‌گردد. در ادامه کیم و هان[1] (۲۰۰۱)، از تابع تولید مرز تصادفی به صورت مدل (۲) استفاده می‌کنند:

$$Y_{it} = f(x_{it}, T)\exp(-u_{it}) \qquad (۲)$$

به‌طوری که Y_{it} بیانگر ستاده شرکت iام در زمان t، x_{it} برداری از نهاده‌های تولیدی، T ضریب فناوری $f(.)$ مرز تولید، و $u_{it} \geq 0$ ناکارایی ستاده‌محور است که در طول زمان تغییر می‌کند. آن‌ها با دیفرانسیل‌گیری از مرز تولید $f(.)$ نسبت به زمان، به رابطه (۳) دست می‌یابند:

$$\frac{dlnf(x,t)}{dt} = \frac{\partial lnf(x,t)}{\partial t} + \sum_j \frac{\partial Lnf(x,t)}{\partial x_j}\frac{dx_j}{dt} \qquad (۳)$$

دو جمله سمت راست معادله (۳)، بر تغییرهای مرز تولید بر اثر پیشرفت فنی و تغییر در نهاده‌های تولیدی دلالت دارد. از آن‌جایی که کشش ستاده نسبت به نهاده j برابر $\varepsilon_j = \frac{\partial lnf}{\partial lnx_j}$ است، جمله دوم را می‌توان به صورت $\sum_j \varepsilon_j \dot{x}_j$ در نظر گرفت که با جایگذاری در رابطه (۳) خواهیم داشت:

$$\frac{dlnf(x,t)}{dt} = TP + \sum_j \varepsilon_j \dot{x}_j \qquad (۴)$$

از طرفی، با دیفرانسیل‌گیری از فرم لگاریتمی تابع مرز تصادفی نسبت به زمان و با بهره‌گیری از رابطه (۴)، تغییرهای تولید را می‌توان به صورت رابطه (۴) بیان نمود:

$$\dot{Y} = \frac{dlnf(x,t)}{dt} - \frac{du}{dt} = TP + \sum_j \varepsilon_j \dot{x}_j - \frac{du}{dt} \qquad (۵)$$

بنا به رابطه (۵)، تغییرهای بهره‌وری کل متاثر از پیشرفت فناوری و تغییرها در ناکارایی فنی است. در این رابطه، پیشرفت فنی مثبت (منفی)، بیانگر انتقال مرز تولید به بالا (پایین) است. همچنین، در شرایطی که $\frac{du}{dt}$ منفی (مثبت) باشد، تغییرهای کارایی فنی بهبود (تنزل) می‌یابد. از طرفی دیگر، به منظور بررسی اثر پیشرفت فناوری و تغییرهای کارایی در نرخ رشد بهره‌وری کل عوامل تولید از رابطه (۶) استفاده می‌شود:

$$\dot{TFP} = \dot{Y} - \sum_j S_j \dot{x}_j \qquad (۶)$$

1. Kim & Han

در رابطه (۶)، S_j سهم زامین نهاده در هزینه تولید است. با جایگذاری رابطه (۵)، در رابطه (۶) خواهیم داشت:

$$T\dot{F}P = TP + \sum_j(\varepsilon_j - S_j)\dot{x}_j - \frac{du}{dt} = TP + \Delta TE_{it} + (\mathrm{RTS}-1)\sum_{\mathrm{j}}\lambda_{\mathrm{j}}\dot{x}_j + \sum_{\mathrm{j}}(\lambda_{\mathrm{j}} - \mathrm{S}_{\mathrm{j}})\dot{x}_j \qquad (۷)$$

به‌طوری که $\Delta TE_{it} = -\frac{\mathrm{du_{it}}}{\mathrm{dt}}$ بیانگر تغییرهای کارایی فنی[1]، $RTS = \sum_j \varepsilon_j = \varepsilon$ بازدهی مقیاس، و $\lambda_{\mathrm{j}} = \varepsilon_j/RTS$ آخرین مولفه در رابطه (۷)، نبود کارایی تخصیصی است. در واقع، رابطه (۷) بیان می‌کند که رشد بهره‌وری عوامل تولید متاثر از نرخ پیشرفت فناورانه TP، تغییرهای کارایی فنی ΔTE ، بازدهی نسبت به مقیاس تولید $(\mathrm{RTS}-1)\sum_{\mathrm{j}}\lambda_{\mathrm{j}}\dot{x}_j$، و تغییرهای کارایی تخصیصی $\sum_{\mathrm{j}}(\lambda_{\mathrm{j}} - \mathrm{S}_{\mathrm{j}})\dot{x}_j$ است. البته کامب‌هاکار و لاول[2] (۲۰۰۳)، نشان می‌دهند که در شرایط دسترس نبودن قیمت نهاده‌ها، امکان محاسبه کارایی تخصیصی وجود ندارد. بنابراین، با توجه به $S_{\mathrm{j}} = \varepsilon_j/\varepsilon$ می‌توان رابطه (۷) را به صورت رابطه (۸) بیان نمود:

$$T\dot{F}P = T\dot{P}_{it} - \Delta TE_{it} + (\varepsilon - 1)\sum_{\mathrm{j}}\frac{\varepsilon_{\mathrm{j}}}{\varepsilon}\dot{x}_j \qquad (۸)$$

در واقع رابطه (۸)، بیانگر آن است که نرخ رشد بهره‌وری عوامل از سه مولفه اساسی پیشرفت فناوری، تغییرهای کارایی فنی، و کارایی مقیاس تشکیل می‌شود و در محاسبه آن‌ها تنها دسترسی به مقادیر نهاده‌ها و ستاده کفایت می‌کند و به قیمت نهاده‌ها و ستاده نیازی نیست. در این راستا، پژوهش‌های تجربی متعدد در بخش‌های مختلف اقتصاد به ارزیابی نرخ رشد بهره‌وری کل عوامل تولید و مولفه‌های کارایی موثر بر آن می‌پردازند.

چتزیمیکال و لیاسیدو[3] (۲۰۱۹)، با استفاده از رویکرد مرز تصادفی به تجزیه رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش هتلداری ۲۵ کشور اروپایی در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۰ می‌پردازند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که بالاترین نرخ رشد بهره‌وری در این بخش مربوط به کشورهای اسکاندیناوی است و کشورهای مدیترانه‌ای با رتبه دوم، نرخ رشد بهره‌وری کل آن‌ها ۱۱ درصد کم‌تر از کشورهای اسکاندیناوی است. از طرفی، کشورهای شمال غربی و خاورمیانه به‌ترتیب در مقایسه با کشورهای اسکاندیناوی ۱۶ و ۲۱ درصد رشد بهره‌وری پایین‌تری دارند. همچنین، به دلیل آن‌که رشد بهره‌وری

1. Technical Efficiency Change
2. Kumbhakar & Lovell
3. Chatzimichael & Liasidou

کشورهای مدیترانه‌ای تمایل به همگرایی به کشورهای اسکاندیناوی دارد، این امر باعث کاهش تدریجی شکاف بهره‌وری می‌شود، اما روند کاهشی بهره‌وری در کشورهای شمال غربی و خاورمیانه شکاف بهره‌وری را افزایش می‌دهد. نجوکی و همکاران[1] (۲۰۱۹)، با استفاده از رویکرد مرز تصادفی با پارامترهای تصادفی به ارزیابی بهره‌وری در بخش کشاورزی آمریکا در سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۶۰ می‌پردازند. در این پژوهش، عوامل زیست‌محیطی به عنوان عوامل موثر در ناکارایی در نظر گرفته می‌شود. آن‌ها درمی‌یابند که اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای بین بهره‌وری در مدل‌های مرز تصادفی با شیب تصادفی نسبت به مدل‌های مرسوم با شیب ثابت وجود دارد. روی و داس[2] (۲۰۱۸)، با رویکرد حسابداری رشد و تابع تولید مرز تصادفی به تجزیه‌وتحلیل رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در ۱۳ صنعت کد دورقمی در دو دوره زمانی پیش از اصلاحات (۱۹۸۲-۱۹۸۱)، و پس از اصلاحات (۲۰۱۱-۲۰۱۰) در غرب بنگال می‌پردازند. آن‌ها به این نتیجه می‌رسند که در دوره پس از اصلاحات، نرخ رشد کل بهره‌وری عوامل تولید کاهش می‌یابد، و مهم‌ترین دلیل آن کاهش در رشد پیشرفت فنی است؛ البته کارایی مقیاس نیز تا حدودی کاهش می‌یابد. کامب‌هاکار و همکاران[3] (۲۰۱۵)، اثرهای مقیاس، تغییر فناوری، و کارایی را برای توزیع برق در کشور نروژ در سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۸ ارزیابی می‌کنند و به این نتیجه می‌رسند که ظرفیت صرفه‌های مقیاس در شرکت‌های کوچک در بالاترین حد قرار دارد و این مسئله به ساختار بازار این شرکت‌ها برمی‌گردد. دینگ و همکاران[4] (۲۰۱۶)، بهره‌وری کل عوامل و مولفه‌های موثر بر آن را در بخش صنعت چین بررسی و برآورد می‌کنند. نتایج حاکی از آن است که متوسط رشد TFP در صنایع چین در دوره ۲۰۰۷–۱۹۹۸ معادل ۶/۹ درصد است. آن‌ها درمی‌یابند که کارایی تخصیصی مهم‌ترین عامل موثر بر رشد بهره‌وری است. دویگان و همکاران[5] (۲۰۱۳)، به بررسی ناکارایی و تغییرهای بهره‌وری در ۸۶ بنگاه صنعت حمل‌ونقل هوایی اروپا در سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۹۹ می‌پردازند. آن‌ها با بهره‌گیری از تابع هزینه به تفکیک اجزای موثر بر بهره‌وری عوامل و اندازه‌گیری آن، تحلیل می‌کنند که صرفه مقیاس و قیمت مواد اولیه نقش بالقوه‌ای در بهبود بهره‌وری دارد و سطح بهره‌وری در صنایع هوایی اروپا بالاتر از متوسط بهره‌وری است. شهابی‌نژاد و همکاران[6] (۲۰۱۳)، به بررسی رشد بهره‌وری عوامل تولید و تجزیه آن به مولفه‌های پیشرفت فنی و تغییرهای کارایی

1. Njuki *et al*.
2. Roy & Das
3. Kumbhakar *et al*.
4. Ding *et al*.
5. Duygun *et al*.
6. Shahabinejad *et al*.

فنی در ۴۴ کشور آسیایی با استفاده از رویکرد مرز تصادفی در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۹۸ می‌پردازند و نشان می‌دهند که در ۷۵ درصد از کشورها، نقش تغییرهای فنی در رشد بهره‌وری منفی است. ژاپن بالاترین رشد بهره‌وری و کشورهای تازه‌مستقل از قبیل ارمنستان، آذربایجان، قزاقستان، قرقیزستان، تاجیکستان، ترکمنستان، و ازبکستان کم‌ترین نقش را در رشد بهره‌وری کل عوامل تولید دارند. توار و مارتین‌سجاس[1] (۲۰۱۰)، با بهره‌گیری از یک روش پارامتریک به تخمین توابع فاصله‌ای، ارزیابی کارایی فنی، و تغییرهای بهره‌وری در صنعت حمل‌ونقل هوایی اسپانیا در سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۹۳ می‌پردازند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که متوسط بهره‌وری در دوره مورد مطالعه نُه درصد رشد دارد. همچنین، روشن می‌کنند که عامل اصلی این رشد به دلیل رشد سه درصدی پیشرفت فناورانه است. در واقع، آن‌ها رشد بهره‌وری را به کارایی فنی نسبت نمی‌دهند، بلکه مرهون پیشرفت فناورانه می‌دانند.

عطرکار روشن و همکاران (۱۳۹۴)، به اندازه‌گیری، مقایسه، و تجزیه‌وتحلیل شاخص‌های بهره‌وری جزئی نیروی کار و سرمایه، و همچنین محاسبه رشد بهره‌وری کل عوامل در بخش صنعت و زیربخش‌های آن در استان کردستان در سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۴ می‌پردازند. آن‌ها با استفاده از روش حسابداری رشد، میزان بهره‌وری کل عوامل تولید را به تفکیک زیربخش‌ها برای ۱۶ گروه صنعتی با کد ISIC دورقمی محاسبه می‌کنند و سهم هر یک از عوامل را به‌دست می‌آورند. آن‌ها نشان می‌دهند که میانگین بهره‌وری نیروی کار و سرمایه در سطح صنعت به‌ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ است. همچنین، متوسط رشد سالانه بهره‌وری کل عوامل تولید بیانگر رشد سالانه سه درصد در استان کردستان است که در مقایسه با میزان رشد ۲/۰۶ درصدی بهره‌وری کل عوامل تولید بخش صنعت ایران، رشد بیش‌تری را نشان می‌دهد. سجادی‌فر و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی کارایی انرژی در ایران و ۱۸ کشور همجوار در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۷ می‌پردازند و بیان می‌کنند که روند کارایی برای ایران و کشورهای همجوار نزولی است، و جایگاه ایران از نظر کارایی انرژی در مقایسه با سایر کشورها مطلوب نیست. خدادادکاشی و حاجیان (۱۳۹۲)، کارایی هزینه‌ای را در صنعت بانکداری ایران ارزیابی می‌کنند. آن‌ها از اطلاعات صنعت بانکداری ایران شامل ده بانک دولتی و چهار بانک خصوصی در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۰ و تابع هزینه مرز تصادفی برای دو محصول وام و سپرده استفاده می‌کنند. نتایج پژوهش گویای آن است که متوسط ناکارایی هزینه‌ای از ۰/۲۲ در سال ۱۳۸۰ به ۰/۳۷ در سال ۱۳۸۶ افزایش دارد و مقدار ناکارایی در بانک‌های خصوصی از بانک دولتی کم‌تر است.

1. Tovar & Martín-Cejas

شهیکی‌تاش و شیوایی (۱۳۹۱)، نرخ پیشرفت فنی و بهره‌وری کل عوامل تولید را با استفاده از رویکرد مرز تصادفی در ۱۴۰ صنعت ایران در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۷۴ بررسی می‌کنند. یافته‌ها بیانگر آن است که بیش‌ترین رشد پیشرفت فنی مربوط به صنایع تولید مواد پلاستیکی به شکل اولیه و ساخت لاستیک مصنوعی، صنایع تولید وسایل نقلیه موتوری، و صنایع تولید محصولات اولیه آهن و فولاد است. همچنین، متوسط رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در دوره مورد بررسی ۱/۲۸ است، و بیش‌ترین نقش را در رشد بهره‌وری عوامل تولید می‌توان به پیشرفت فنی و پس از آن تغییرهای کارایی فنی در بخش صنعت نسبت داد. رهبر دهقانی و همکاران (۱۳۹۱)، با بررسی انواع کارایی و بازدهی به مقیاس در ۱۴۰ تولیدکننده صنعت شیر استان کرمان با روش تحلیل پوشش داده‌ها بیان می‌کنند که متوسط کارایی‌های فنی، تخصیصی، و اقتصادی برای تولیدکنندگان گوسفند ۵۷/۶، ۴۷/۲، و ۲۴/۵ و برای تولیدکنندگان شیر گاو ۴۶/۷، ۳۹/۸، و ۱۸/۶ است. زراءنژاد و یوسفی حاجی‌آباد (۱۳۹۰)، با بهره‌گیری از داده‌های تلفیقی ۴۱ شرکت توزیع برق ایران در سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۲ به ارزیابی کارایی اقتصادی در این شرکت‌ها می‌پردازند. آن‌ها با استفاده از مدل خطای ترکیب و اثرهای ناکارایی باتیس و کولی برای اندازه‌گیری میزان ناکارایی، بیان می‌کنند که میانگین کارایی اقتصادی شرکت‌های توزیع برق در قالب الگوی یکم و دوم باتیس و کولی به‌ترتیب ۱/۷۴ و ۱/۶۵ است. همچنین، در میان عوامل موثر بر کارایی اقتصادی این شرکت‌ها، نسبت کارکنان با تحصیلات لیسانس به بالا و سابقه کاری، دارای بیش‌ترین تاثیر بر کارایی هستند.

روش‌شناسی پژوهش و معرفی مدل

هدف این پژوهش، سنجش رشد بهره‌وری کل عوامل تولید و مولفه‌های کارایی مقیاس، پیشرفت فنی، و تغییرهای کارایی فنی موثر بر آن به کمک تابع تجزیه‌پذیر مرزی در بخش حمل‌ونقل مسافربری هوایی است. جامعه آماری پژوهش ۱۶ شرکت فعال بخش حمل‌ونقل هوایی است و نمونه مورد بررسی ۱۲ شرکت شامل ایران ایر، ایران ایرتور، آسمان، ماهان ایر، کیش ایر، تابان، زاگرس، کاسپین، نفت ایران، آتا، معراج، و قشم ایر می‌شود. در این پژوهش، داده‌ها و اطلاعات از سالنامه آماری سازمان هواپیمایی کشوری در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۰ است تا بتوان نسبت به برآورد ضرایب تابع تولید تجزیه‌پذیر مرزی با فرم تبعی ترانسلوگ[1] و کمّی نمودن متغیرهای مورد نظر در چارچوب الگوی ستاده‌محور، شامل یک ستاده و چهار نهاده تولیدی، اقدام نمود. دلیل انتخاب این شرکت‌ها و بازه

1. Transcendental Logaritmatic Production Function

زمانی اشاره‌شده آن است که بر اساس گزارش دفتر فناوری و بررسی‌های آماری، تنها آمار و اطلاعات ستاده و نهاده‌های مورد نیاز برای این ۱۲ شرکت، در این بازه زمانی به‌طور کامل در دسترس است و در سال‌های قبل گزارش صورت‌های مالی به‌طور کامل ارائه نشده است. از طرفی، در خصوص مدل‌های تجزیه‌پذیر مرزی می‌توان اذعان نمود که ساده‌ترین این مدل‌ها نخستین بار توسط ایگنر و چاو[1] (۱۹۶۸)، و ایگنر و همکاران (۱۹۷۶) معرفی می‌شود. سپس توسط ایگنر و همکاران (۱۹۷۷)، میوسن و وندن‌بروک[2] (۱۹۷۷) در مطالعات مقطعی، و استیونسن (۱۹۸۰)، فرساند و همکاران[3] (۱۹۸۰)، اشمیت[4] (۱۹۸۵)، هوانگ و لیو (۱۹۹۴)، و باتیس و کولی (۱۹۹۵)، در پژوهش‌هایی با تغییرهای کارایی در طول زمان تکمیل می‌شوند. آن‌گاه در پژوهش‌های تجربی مختلف توسط هولتبرگ و همکاران[5] (۲۰۰۴)، و سیکلس و همکاران[6] (۲۰۱۴) مورد استفاده قرار می‌گیرند. شایان اشاره است که در این پژوهش برای تجزیه نرخ رشد بهره‌وری از تابع تولید مرز تصادفی به صورت رابطه (۹) استفاده می‌شود:

$$Y_{\mathrm{it}} = \mathrm{f}(\mathrm{x_{it}}, \mathrm{T})\exp(v_{it} - \mathrm{u_{it}}) \qquad (۹)$$

به‌طوری که *f(0)* بیانگر مرز تولید، T ضریب فناوری، v_{it} جمله اخلال، و u_{it} ناکارایی متغیر در طول زمان است که توسط باتیس و کولی (۱۹۹۲) معرفی می‌شود. با دیفرانسیل‌گیری از فرم لگاریتمی رابطه (۹) خواهیم داشت:

$$\dot{Y}_{\mathrm{it}} = \frac{\mathrm{dLnf(x_{it}, t)}}{\mathrm{dt}} - \frac{\mathrm{du_{it}}}{\mathrm{dt}} + \frac{\mathrm{dv_{it}}}{\mathrm{dt}}$$

$$\dot{Y}_{\mathrm{it}} = \frac{\partial \mathrm{Lnf(x_{it}, t)}}{\partial \mathrm{t}} + \sum_{\mathrm{j}} \frac{\partial \mathrm{Lnf(x_{it}, t)}}{\partial \mathrm{x_j}} \frac{\mathrm{dx_j}}{\mathrm{dt}} - \frac{\mathrm{du_{it}}}{\mathrm{dt}} \qquad (۱۰)$$

$$\dot{Y}_{it} = \dot{TP}_{it} + \sum_{\mathrm{j}} \varepsilon_{\mathrm{j}} \frac{\mathrm{dx_j}}{\mathrm{dt}} - \frac{\mathrm{du_{it}}}{\mathrm{dt}}$$

1. Aigner & Chu
2. Meeusen & Van Den Broeck
3. Førsund *et al*.
4. Schmidt
5. Hultberg *et al*.
6. Sickles *et al*.

در رابطه (۱۰)، $\dot{TP}_{it}$ بیانگر نرخ پیشرفت فنی، $\frac{dx_j}{\mathrm{dt}}$ رشد نهاده‌ها زام است که به آن وزنه‌ای معادل کشش ستاده نسبت به آن نهاده داده می‌شود، و $\frac{\mathrm{du_{it}}}{\mathrm{dt}}$ تغییرهای کارایی فنی است. از آن‌جایی که نرخ رشد بهره‌وری عوامل تولید آن بخش از رشد ستاده توسط عوامل تولید توضیح داده نمی‌شود، بنابراین خواهیم داشت:

$$\dot{TFP}_{\mathrm{it}} = \dot{\mathrm{Y}}_{\mathrm{it}} - \sum_{\mathrm{j}} S_{\mathrm{j}} \frac{\mathrm{dx_j}}{\mathrm{dt}} \qquad (۱۱)$$

در رابطه (۱۱)، S_{j} سهم هزینه‌ای نهاده تولیدی است که با کشش ستاده به صورت رابطه (۱۲) مرتبط است:

$$\mathrm{S_j} = \frac{\varepsilon_{\mathrm{j}}}{\varepsilon} \quad , \mathrm{RTS} = \sum_{\mathrm{j}} \varepsilon_{\mathrm{j}} = \varepsilon \qquad j = 1,2, \dots, n \qquad (۱۲)$$

در ادامه، با جایگذاری رابطه (۱۰) و (۱۲) در رابطه (۱۱)، نرخ رشد بهره‌وری کل عوامل تولید به صورت رابطه (۱۳) خواهد بود:

$$\dot{TFP} = \dot{TP}_{it} - \frac{\mathrm{du_{it}}}{\mathrm{dt}} + \sum_{\mathrm{j}} \left(\varepsilon_{\mathrm{j}} - \frac{\varepsilon_j}{\varepsilon}\right) \frac{\mathrm{dx_j}}{\mathrm{dt}} \qquad (۱۳)$$

$$= \dot{TP}_{it} - \Delta TE_{it} + (\varepsilon - 1) \sum_{\mathrm{j}} \frac{\varepsilon_{\mathrm{j}}}{\varepsilon} \frac{\mathrm{dx_j}}{\mathrm{dt}}$$

رابطه (۱۳)، گویای آن است که نرخ رشد بهره‌وری عوامل تولید متاثر از سه مولفه کارایی مقیاس، پیشرفت فناورانه، و تغییرهای کارایی فنی است. نیاز به اشاره است که نرخ تغییرهای فناوری به انتقال تابع تولید، تغییرهای کارایی فنی به میزان جابه‌جایی روی مرز کارایی تولید، و کارایی مقیاس به بازدهی نسبت به مقیاس تولید اشاره دارد (Sharma *et al*., 2007).

محاسبه‌های کمّی و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در این بخش، برای کمّی نمودن سنجش نرخ رشد بهره‌وری و مولفه کارایی مقیاس، پیشرفت فنی، و تغییرهای کارایی فنی در شرکت‌های حمل‌ونقل هوایی مسافربری ایران از داده‌های ۱۲ شرکت فعال هوایی در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۰ استفاده می‌شود. برای دستیابی به این هدف الگویی با استفاده از تابع تولید ترانسلوگ شامل مسافر کیلومتر حمل‌شده (هزار) به عنوان ستاده و نهاده‌ها (تعداد پرواز،

تعداد کارکنان، مسافت طی‌شده ـ هزار کیلومتر ـ و پوشش فرودگاهی)، طراحی می‌شود و سپس با بهره‌گیری از روش بیشینهٔ راست‌نمایی نسبت به برآورد ضرایب اقدام می‌گردد. نیاز به اشاره است که در تصریح تابع تولید بیش‌تر بخش‌ها و صنایع از نهاده‌های تولیدی نیروی کار، سرمایه، و قیمت انرژی استفاده می‌شود، اما در صنعت حمل‌ونقل هوایی به دلیل در دسترس نبودن آمار و اطلاعات صورت‌های مالی ایرلاین‌های کشور ایران، استفاده از نهاده‌های سرمایه و انرژی امکان‌پذیر نیست. بنابراین، از فرم تبعی تابع تولید به صورت رابطه (۱۴) استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} lpas_{it} = {} & \beta_0 + \beta_1 lnpln_{it} + \beta_2 ll_{it} + \beta_3 lmil_{it} + \beta_4 lairp + \beta_5 T \\ & + \frac{1}{2}[\beta_6 (lnplan_{it})^2 + \beta_7 (ll_{it})^2 \\ & + \beta_8 (lmil_{it})^2 + \beta_9 (lairp_{it})^2 + \beta_{10} T^2] \\ & + \beta_{11} lnpln_{it} lmil_{it} + \beta_{12} lnpln_{it} ll_{it} \\ & + \beta_{13} lnplan_{it} lairp_{it} + \beta_{14} lnplan_{it} T \\ & + \beta_{15} ll_{it} lmil_{it} + \beta_{16} lmil_{it} lairp_{it} \\ & + \beta_{17} lmil_{it} T + \beta_{18} ll_{it} lairp_{it} + \beta_{19} ll_{it} T \\ & + \beta_{20} lairp_{it} T + (v_{it} - u_{it}) \end{aligned} \qquad (۱۴)$$

$$u_{it} = \delta_0 + \delta_i S_{it}$$

در رابطه (۱۴)، $lpas_{it}$ بیانگر لگاریتم مسافر کیلومتر حمل‌شده، $lnpln_{it}$ لگاریتم تعداد پرواز، ll_{it} لگاریتم تعداد کارکنان، $lmil_{it}$ لگاریتم مسافت طی‌شده، $lairp_{it}$ لگاریتم پوشش فرودگاهی، T عامل فناوری در طول زمان، S_{it} به عنوان متغیر موثر بر کارایی بنگاه است که در این پژوهش از سهم بازاری هر شرکت استفاده می‌شود، و $(v_{it} - u_{it})$ جزء استوکاستیک تابع تولید است. به دلیل آن‌که در تابع مرز تصادفی می‌توان میزان تغییرهای کارایی تکنیکی را محاسبه نمود، از این‌رو در مرحله بعد، به استناد تابع تولید ترانسلوگ، میزان پیشرفت فناورانه (TP_{it}) و بازدهی نسبت به مقیاس $(Scal_{it})$ به عنوان دو مولفه دیگر موثر بر بهره‌وری با استفاده از روابط زیر استخراج می‌شوند.

$$TP_{it} = \frac{\partial Lpas_{it}}{\partial T} = \beta_5 + \beta_{10} T + \beta_{14} lnpln_{it} + \beta_{17} lmil_{it} + \beta_{19} ll_{it} + \beta_{20} lairp_{it} \qquad (۱۵)$$

$$e_{it}^{plan} = \beta_1 + \beta_6 lnpln_{it} + \beta_{12} ll_{it} + \beta_{11} lmil_{it} + \beta_{13} lairp_{it} + \beta_{14} T \qquad (۱۶)$$

$$e_{it}^{L} = \beta_2 + \beta_7 ll_{it} + \beta_{12} lnpln_{it} + \beta_{15} lmil_{it} + \beta_{18} lairp_{it} + \beta_{19} T \qquad (۱۷)$$

$$e_{it}^{mil} = \beta_3 + \beta_8 lmil_{it} + \beta_{11} lnpln_{it} + \beta_{15} ll_{it} + \beta_{16} lairp_{it} + \beta_{17} T \qquad (۱۸)$$

$$e_{it}^{airport} = \beta_4 + \beta_9 lairp_{it} + \beta_{13} lnpln_{it} + \beta_{16} lmil_{it} + \beta_{18} ll_{it} + \beta_{20} T \qquad (۱۹)$$

$$RTS = e_{it}^{plan} + e_{it}^{mil} + e_{it}^{airport} + e_{it}^{L} \qquad (۲۰)$$

پس از استخراج روابط (۱۵ تا۲۰)، نیاز است که تعریف عملیاتی متغیرهای پژوهش ارائه شود تا در ادامه بتوان نسبت به برآورد مدل و انجام محاسبه‌های کمّی اقدام نمود.

تعریف عملیاتی متغیرها

تعریف عملیاتی متغیرهای پژوهش که مستخرج از دفتر فناوری اطلاعات و بررسی‌های آماری حمل‌ونقل هوایی کشور است، به شرح زیر تعریف می‌شود:

مسافر کیلومتر حمل‌شده: مجموع به‌دست‌آمده از حاصل‌ضرب تعداد مسافر درآمدزای حمل‌شده در مسافت طی‌شده در هر مرحله پرواز (واحد آمار دفتر فناوری اطلاعات و بررسی‌های آماری، ۱۳۹۷).

مسافت طی‌شده: مسافت طی‌شده در پرواز عبوری عبارت است از فاصله طی‌شده هواپیما از نقطه ورود به فضای کشور تا نقطه خروج از فضای کشور (واحد آمار دفتر فناوری اطلاعات و بررسی‌های آماری، ۱۳۹۷).

پوشش فرودگاهی: به تعداد فرودگاه‌هایی اشاره دارد که خدمات لازم را برای عملکرد شرکت‌ها در اختیار شرکت‌های هواپیمایی ایرانی قرار می‌دهند (واحد آمار دفتر فناوری اطلاعات و بررسی‌های آماری، ۱۳۹۷).

عامل فناوری: این متغیر با استفاده از معیارهای متفاوتی از قبیل شدت تحقیق‌وتوسعه، و سطوح مهارتی و آموزشی کارکنان سنجش و ارزیابی می‌شود. در این پژوهش از سطوح مهارتی کارکنان، که از نسبت تعداد مهندسان و کارکنان فنی به کل شاغلان هر شرکت به‌دست می‌آید، به عنوان ضریب فناوری استفاده می‌شود (فیض‌پور و رضایی نوجینی، ۱۳۹۱).

عوامل موثر بر کارایی: متغیرهای متعددی از قبیل ساختار مالکیت، نوع مدیریت، سهم بازاری هر شرکت، مقررات دولتی، و سیاستگذاری دولتی می‌توانند بر کارایی و ناکارایی شرکت‌های هوایی موثر باشند. در این پژوهش، با رعایت اصل خست، سهم بازاری هر شرکت به عنوان نماینده مناسبی از تمامی متغیرهای اثرگذار بر کارایی در نظرگرفته می‌شود، زیرا سهم بازاری بالاتر، به قدرت انحصاری منجر می‌شود ولی ما را از کارایی دور می‌کند. البته این امکان وجود دارد که به دلیل بهره‌برداری از صرفه مقیاس، سهم بازاری بالاتر به کارایی بیش‌تر شرکت‌ها منجر شود. بنابراین، به عنوان عامل موثر بر ناکارایی در الگو وارد می‌شود.

سهم بازاری: سهم بازاری هر شرکت از نسبت مسافر کیلومتر حمل‌شده هر شرکت به کل مسافر کیلومترهای حمل‌شده در هر سال توسط شرکت‌های هوایی به‌دست می‌آید (خدادادکاشی، ۱۳۸۹).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

همان‌طور که بیان شد، برای برآورد مدل و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها می‌توان از رویکرد مرز تصادفی و روش بیشینهٔ راست‌نمایی نسبت به تخمین ضرایب اقدام نمود. از این‌رو، برای دستیابی به این مهم از نرم‌افزار Frontier 4.1[1] استفاده می‌شود. البته پیش از برآورد ضرایب باید فرضیه‌های مربوط به انتخاب بهترین مدل، با استفاده از آماره لگاریتم راست‌نمایی (LR) آزمون شود. این آماره که برای آزمون‌های مربوط به برآوردکننده بیشینهٔ درست‌نمایی استفاده می‌شود، از مقدار بیشینهٔ تابع درست‌نمایی برای توابع مقید تحت فرضیه صفر و مقدار تابع بیشینهٔ درست‌نمایی برای توابع نامقید تحت فرضیه مقابل به‌دست می‌آید و به شکل زیر بیان می‌شود:

$$LR = -2[L(H_0) - L(H_1)] \qquad (۲۱)$$

که در آن $L(H_1), L(H_0)$ به‌ترتیب مقادیر لگاریتم درست‌نمایی تحت فرض صفر و فرض مقابل هستند. آماره بالا دارای توزیع χ^2_{df} با درجه آزادی برابر با تعداد قیود اعمال‌شده بر مدل تحت فرضیه صفر است. نتایج آزمون فرضیه‌های مربوط به انتخاب مدل در جدول (۱) ارائه می‌شود.

جدول ۱: آزمون آماری فروض مدل تابع تولید مرزی و انتخاب نوع مدل مورد برازش

فرضیه H_0	$LR = -2[L(H_0) - L(H_1)]$	χ^2_{df}	رد یا قبول فرضیه H_0
$\beta_6 = \beta_7 = \cdots = \beta_{20} = 0$	۹۱/۵۴	۳۱/۴۱	رد فرضیه صفر
$\beta_5 = \beta_{10} = \beta_{14} = \beta_{17} = \beta_{19} = \beta_{20} = 0$	۵۸/۰۸	۱۲/۵۹	رد فرضیه صفر
$\beta_{14} = \beta_{17} = \beta_{19} = \beta_{20} = 0$	۵۲/۴۲	۹/۴۸۷	رد فرضیه صفر
$\mu = \eta = 0$	۹۲/۶۲	۵/۹۹	رد فرضیه صفر
$\delta_i = 0$ $i = 0,1,2, \ldots n$	۷۱/۵۶	۳/۸۴	رد فرضیه صفر

۱. پژوهشگران برای کسب اطلاعات بیش‌تر در خصوص این نرم‌افزار به کولی (۱۹۹۶) مراجعه نمایند.

نخستین فرضیه‌ای که مورد آزمون قرار می‌گیرد، مربوط به انتخاب شکل تابع مرزی است. در این حالت، رد فرضیه صفر $\beta_6 = \beta_7 = \cdots = \beta_{20} = 0$ بیانگر آن است که فرم ترانسلوگ تابع مرزی بهتر از فرم کاب‌داگلاس است. فرضیه دوم در مورد بررسی اثر تغییرهای فناورانه در مدل است. در این زمینه، فرضیه صفر $\beta_5 = \beta_{10} = \beta_{14} = \beta_{17} = \beta_{19} = \beta_{20} = 0$ موثر نبودن تغییرهای فناورانه را مورد آزمون قرار می‌دهد. همچنین، فرضیه سوم $\beta_{14} = \beta_{17} = \beta_{19} = \beta_{20} = 0$ بیانگر خنثی بودن یا نبودن نوع تغییرهای فناوری از نظر هیکس است. فرضیه چهارم $\mu = \eta = 0$ به معنای آن است که توزیع u به صورت نیمه‌نرمال است و کارایی در طی زمان تغییر نمی‌کند. و فرضیه پنجم $\delta_i = 0$ نیز بیانگر آن است که شاخص سهم بازاری برای تشریح ناکارایی فنی مفید نیست. با توجه به نتایج آزمون فرضیه‌های بالا ملاحظه می‌شود که تابع تولید ترانسلوگ مناسب‌تر از تابع کاب‌داگلاس است و تغییرهای فناورانه در مدل موثر است. همچنین، ناکارایی فنی دارای توزیع نرمال است و کارایی طی زمان تغییر می‌کند. از طرفی، سهم بازاری هر شرکت به عنوان نماینده قدرت انحصاری برای تشریح ناکارایی فنی بنگاه‌ها مناسب است. حال بر اساس آزمون فرضیه‌های بالا می‌توان تابع مرز تصادفی را برآورد و تحلیل نمود. نتایج به‌دست‌آمده از برآورد تابع مرزی ترانسلوگ در جدول (۲) ارائه می‌شود.

جدول ۲: برآورد تابع مرز تصادفی ترانسلوگ به روش بیشینهٔ راست‌نمایی

متغیرها	ضرایب	انحراف معیار	آماره t
جمله ثابت	-۳/۷۵	۰/۱۳۲	-۲۸/۲۹
لگاریتم تعداد پرواز Lnpln	۵/۸۴	۰/۰۶۰	۹۷/۱۶
لگاریتم تعداد کارکنان LL	۲/۳۷	۰/۰۶۱	۳۹/۱۱
لگاریتم مسافت طی‌شده Lmail	۱/۷۲	۰/۰۲۳	۷۳/۹۲
لگاریتم پوشش فرودگاهی Lairp	-۷/۷۵	۰/۰۴۵	-۱۷۳/۰۱
ضریب فناوری T	۱/۸۶	۰/۰۱۴	۱۳۱/۸
توان دوم لگاریتم تعداد پرواز^{۲} (Lnpln)	-۱/۱۹	۰/۰۴۲	-۲۸/۳۶
توان دوم لگاریتم تعداد کارکنان^{۲} (LL)	-۰/۲۴	۰/۰۰۲	-۱۰۱/۴
توان دوم لگاریتم مسافت طی‌شده^{۲} (Lmail)	-۰/۴۰۷	۰/۰۰۵	-۸۳/۳۱
توان دوم لگاریتم پوشش فرودگاهی^{۲} (Lairp)	-۰/۸۰۵	۰/۰۱۹	-۴۰/۴۵
توان دوم فناوری^{۲} T	-۰/۰۴۲	۰/۰۰۲	-۳۴/۸۷
لگاریتم تعداد پرواز در مسافت (Lnpln)(Lmail)	۰/۴۵۱	۰/۰۲۲	۲۰/۷۵
لگاریتم تعداد پرواز در تعداد کارکنان (Lnpln)(LL)	-۰/۵۱۹	۰/۰۱۷	-۳۰/۶۲
لگاریتم تعداد پرواز در پوشش فرودگاهی (Lnpln)(Lairp)	۲/۰۲۸	۰/۰۱۴	۱۵۰/۱۰
لگاریتم تعداد پرواز در فناوری (Lnpln)T	-۰/۳۰۵	۰/۰۰۴	-۷۰/۰۸
لگاریتم مسافت در تعداد کارکنان (Lmail)(LL)	۰/۵۹۸	۰/۰۱۵	۳۹/۹۷
لگاریتم مسافت در پوشش فرودگاهی (Lmail)(Lairp)	-۱/۳۳	۰/۰۱۱	-۱۱۷/۳
لگاریتم مسافت در فناوری (Lmail)T	۰/۱۱۳	۰/۰۰۵	۲۷/۰۷
لگاریتم کارکنان در پوشش فرودگاهی (LL)(lairp)	۳۶/۷۳	۰/۰۰۴	۸۸/۷۵
لگاریتم کارکنان در فناوری (LL)T	-۰/۰۴۹	۰/۰۰۲	-۲۹/۱۵
لگاریتم پوشش فرودگاهی در فناوری (Lair)T	۰/۱۹۳	۰/۰۰۴	۴۹/۲۰
عوامل موثر بر ناکارایی	$m_{it} = \delta_0 + \delta_1 S_{it}$		
δ_0	-۳/۶۸۰	۰/۷۸۷	-۴/۶۷۸
δ_1	-۳۰/۶۷	۸/۹۰۱	-۳/۴۴۶
Sigma-Square	۲/۹۰۹	۰/۴۰۷	-۳/۴۴۶
Gamma	۰/۹۹۹	۰/۵E-۷	۱۸/۶E۲
LR Test of One-side Error = ۱۱۱/۱۵	Log Likelihood Function = -۲/۶۴۴		

نتایج جدول (۲)، بیانگر معناداری ضرایب الگوی ترانسلوگ است و با افزایش سهم بازاری میزان ناکارایی کاهش می‌یابد. از این‌رو، با توجه به معناداری ضریب δ_1 می‌توان بیان نمود که شرکت‌های هوایی که سهم بازاری بالاتری دارند، ناکارایی کم‌تری تجربه می‌کنند. به عبارت دیگر، افزایش در اندازه و سهم بازاری شرکت‌های فعال در حمل‌ونقل هوایی می‌تواند کمک کند که ناکارایی فنی در بخش حمل‌ونقل هوایی کاهش یابد یا کارایی را افزایش دهد. این امر به دلیل فعالیت این شرکت‌ها در مقیاس و ظرفیت بالای تولیدی است که باعث افزایش کارایی شرکت‌ها می‌شود. از سوی دیگر، نتایج برآورد واریانس ناکارایی در تشریح واریانس کل ستاده که، با نسبت γ نشان داده می‌شود، با مقدار نزدیک به یک و احتمال خطای بسیار کوچک نزدیک به صفر بیانگر آن است که تغییرهای پسماندها تا اندازه زیادی ناشی از کاهش ناکارایی U در اثر افزایش سهم بازاری هر شرکت است، و سهم خطای تصادفی، یعنی V بسیار کوچک است. بنابراین، الگوی مرز تصادفی بر روش حداقل مربع‌های معمولی ارجحیت دارد. برای دستیابی به هدف محوری پژوهش لازم است که نسبت به محاسبه بهره‌وری و مولفه‌های موثر بر آن اقدام شود؛ نتایج مربوط به این محاسبه‌ها در جداول (۳) و (۴) آورده می‌شود.

جدول ۳: محاسبه متوسط نرخ رشد بهره‌وری و مولفه‌های موثر بر آن در بخش حمل‌ونقل هوایی ایران در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۰

سال	تغییرهای کارایی‌فنی ΔTE_{it}	نرخ رشد پیشرفت‌فنی TP_{it}	کارایی مقیاس $Scal_{\mathrm{it}}$	نرخ رشد بهره‌وری $\dot{TFP}_{\mathrm{it}}$
۱۳۹۱	۰/۸۴۰	-۰/۰۹۹	۰/۸۳۶	۱/۵۷۶
۱۳۹۲	۰/۷۸۴	-۰/۲۲۹	۰/۷۲۱	۱/۲۷۷
۱۳۹۳	۰/۸۶۴	۰/۳۴۹	۰/۸۱۸	۲/۰۳۱
۱۳۹۴	۰/۶۵۰	۰/۲۸۱	۰/۵۱۲	۱/۴۴۴
۱۳۹۵	۰/۶۶۹	۰/۲۴۴	۰/۲۵۰	۱/۱۶۳
۱۳۹۶	۰/۵۸۹	۰/۲۲۸	۰/۲۳۷	۱/۰۵۴
۱۳۹۷	۰/۵۸۰	۰/۲۰۴	۰/۲۴۷	۱/۰۳۱
میانگین	۰/۷۱۱	۰/۱۴۰	۰/۵۱۷	۱/۳۶۸

نتایج جدول (۳)، با توجه به شاخص‌های تجزیه‌پذیر TFP برای شرکت‌های حمل‌ونقل هوایی در سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۱ نشان می‌دهد که متوسط نرخ رشد بهره‌وری عوامل تولید بالا و برابر ۱۳۶/۸

درصد است، تغییرهای کارایی فنی و کارایی مقیاس در مقایسه با نرخ رشد پیشرفت فنی بیش‌ترین نقش را در رشد بهره‌وری عوامل دارند، و در این صنعت تمامی صرفه‌های مقیاس به‌طور کامل تخلیه نمی‌شود و با افزایش مقیاس تولید و ظرفیت ناوگان موجود، امکان بهره‌برداری بیش‌تر از صرفه مقیاس همچنان وجود دارد. همچنین، متوسط نرخ رشد پیشرفت فنی به‌نسبت پایین است که دلیل آن را می‌توان به تشدید تحریم‌ها و اتخاذ سیاست‌هایی خصمانه (تحریم‌ها) به واسطه ممانعت از فروش هواپیما، افزایش هزینه تامین و تعمیر قطعات، و فرسودگی ناوگان نسبت داد. باید در نظر داشت که این صنعت در سال ۱۳۹۳ به دلیل برخورداری از بازدهی فزاینده به مقیاس، نرخ رشد پیشرفت فنی، و تغییرهای کارایی فنی بالا، بیش‌ترین بهره‌وری را به خود اختصاص داده است؛ که دلیل آن را می‌توان به اصلاح توافقنامه‌ها، اخذ مجوز چک‌های (بررسی‌های فنی) دوره‌ای سنگین F100 و F50[1] و انجام چک‌های دوره‌ای سنگین بر F100، جایگزینی پروازهای ملکی به‌جای اجاره‌ای، تدوین برنامه‌های راهبردی سه‌ساله، بهره‌گیری از شبکهٔ بلیط الکترونیکی، افزایش دوره‌های آموزشی و آموزش نیروهای متخصص و خلبان، و شناورسازی و آزادسازی قیمت به منظور تامین حقوق مسافران در یک فضای رقابتی نسبت داد. بیان این نکته ضروری است که در سال‌های بازهٔ پژوهش، در میان عوامل موثر بر متوسط نرخ رشد بهره‌وری عوامل تولید به‌ترتیب تغییرهای کارایی فنی و کارایی مقیاس بیش‌ترین اثرگذاری را در رشد بهره‌وری عوامل تولید دارند.

۱. منظور بررسی فنی هواپیمای فوکر ۱۰۰ و فوکر ۵۰ پس از دوره مشخص پرواز است که در شناسنامه ناوگان اشاره می‌شود.

جدول ۴: محاسبه نرخ رشد بهره‌وری و مولفه‌های موثر بر آن در هر یک از شرکت‌های حمل‌ونقل هوایی ایران

بنگاه	تغییرهای کارایی فنی $\underline{\Delta TE_{it}}$	نرخ رشد پیشرفت فنی TP_{it}	کارایی مقیاس $Scal_{\mathrm{it}}$	نرخ رشد بهره‌وری $\dot{TFP}_{\mathrm{it}}$
ایران ایر	۰/۹۱۵	۰/۰۱۱	-۰/۰۵۵	۰/۸۷۰
ایران ایرتور	۰/۷۵۴	۰/۲۸۳	۰/۱۸۱	۱/۲۱۹
آسمان	۰/۷۲۰	۰/۱۵۰	۰/۴۷۱	۱/۳۴۰
ماهان ایر	۰/۹۹۵	۰/۱۸۳	۰/۱۳۵	۱/۳۱۳
کیش ایر	۰/۸۴۸	۰/۱۳۷	-۰/۲۳۴	۰/۷۵۰
تابان	۰/۸۳۸	۰/۳۲۰	۰/۵۲۴	۱/۶۸۲
زاگرس	۰/۸۱۰	۰/۱۸۹	۰/۵۶۶	۱/۵۶۶
کاسپین	۰/۸۳۴	۰/۳۷۵	-۰/۹۹۳	۰/۲۱۷
نفت ایران	۰/۴۶۳	۰/۱۸۹	-۰/۱۱۹	۰/۵۳۳
آتا	۰/۷۱۱	۰/۱۰۲	۰/۱۷۹	۰/۹۹۲
معراج	۰/۴۴۳	۰/۲۵۴	۱/۳۲۸	۲/۰۲۴
قشم ایر	۰/۶۱۵	۰/۱۰۷	۲/۱۱۰	۲/۶۱۹
میانگین	۰/۷۴۵	۰/۱۷۴	۰/۳۴۱	۱/۲۶۰

نتایج جدول (۴)، گویای این واقعیت است که متوسط تغییرهای کارایی فنی با مقدار برابر ۰/۷۴۵ هرچند مثبت است، اما انحراف اندکی از عملکرد بهینه دارد و برای رسیدن به سطح مطلوب لازم است که به میزان ۰/۲۵۵ افزایش یابد؛ یعنی این صنعت در استفاده از فناوری‌های موجود ضعیف عمل کرده است. از طرفی، در تمامی شرکت‌های حمل‌ونقل هوایی نرخ رشد پیشرفت فنی هرچند اندک است، اما تا حدودی نرخ رشد بهره‌وری عوامل تولید را افزایش می‌دهند. به‌طوری که محاسبه‌های متوسط نرخ رشد بهره‌وری کل عوامل تولید، افزایش ۱۲۶ درصدی را برای شرکت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سهم پیشرفت فنی از این افزایش ۱۷/۴ درصد است. علاوه بر این، بیش‌تر شرکت‌های هوایی کشور با بازدهی فزاینده نسبت به مقیاس در حال بهره‌برداری از صرفه‌های مقیاس هستند و به‌جز دو شرکت «معراج» و «قشم ایر»، در بقیه شرکت‌های هوایی کشور تمامی صرفه‌های مقیاس به‌طور کامل تخلیه نمی‌شود و امکان برخورداری از صرفه مقیاس با افزایش مقیاس و ظرفیت تولید همچنان وجود دارد. از طرفی، بررسی‌های دقیق‌تر مولفه‌های کارایی و بهره‌وری در میان شرکت‌های حمل‌ونقل هوایی

بیانگر آن است که شرکت «ایران ایر» از نرخ رشد پیشرفت فنی و کارایی مقیاس پایینی برخوردار است، اما تغییرهای کارایی فنی اثر دو مولفه دیگر بر نرخ رشد بهره‌وری عوامل تولید را جبران می‌کند. همچنین، شرکت‌های «معراج» و «قشم ایر» به دلیل برخورداری از صرفه مقیاس بالاتر از سطح بهینه نرخ رشد بهره‌وری بالا برخوردارند و شرکت‌های «کاسپین»، «نفت ایران»، «کیش ایر»، و «ایران ایر» در مقایسه با دیگر فعالان، کم‌ترین نرخ رشد بهره‌وری را به‌خود اختصاص می‌دهند.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف محوری این پژوهش، ارزیابی کارایی و نرخ رشد بهره‌وری در صنعت حمل‌ونقل هوایی مسافربری کشور ایران است. با استفاده از داده‌های ۱۲ شرکت فعال در حمل‌ونقل هوایی ایران و رویکرد پارامتریک تابع تولید تجزیه‌پذیر مرزی ارائه‌شده توسط کامب‌هاکار و لاول (۲۰۰۳)، که رشد بهره‌وری عوامل تولید را متاثر از مولفه‌های نرخ رشد پیشرفت فنی، تغییرهای کارایی فنی، و کارایی مقیاس می‌دانند، یافته‌های پژوهش بیان می‌کند که به‌ترتیب تغییرهای کارایی فنی، کارایی مقیاس، و پیشرفت فنی در بین عوامل موثر بر متوسط بهره‌وری عوامل بیش‌ترین اثرگذاری را بر شرکت‌های هوایی دارند. در خصوص تاثیر بالای تغییرهای کارایی فنی می‌توان اذعان نمود که اقدام‌ها و کارایی مدیریتی در بخش فنی و مهندسی، عملیات پرواز، مالی، آموزشی، و منابع انسانی مانند اخذ مجوز و انجام چک‌های دوره‌ای ناوگان برای کاهش ضریب آلایندگی هواپیماهای موجود، برنامه‌ریزی و آموزش در جهت بهبود سطح آموزش جامعه، تربیت خلبان و معلم خلبان، یکسان‌سازی قراردادهای نیروی انسانی، و تامین نیازهای ارزی با نرخ مبادله‌ای می‌توانند مهم‌ترین دلیل تغییرهای کارایی فنی باشند. از طرفی، عامل دوم موثر در نرخ رشد بهره‌وری عوامل تولید، نرخ پیشرفت فنی است که در ادبیات اقتصادی به صورت فناوری تبلوریافته در سرمایه و نیروی کار از راه سرمایه‌گذاری در تجهیزات با فناوری برتر و افزایش تخصص، مهارت، و دانش نهادینه‌شده در نیروی کار محقق می‌شود. واقعیت‌های مشهود در این صنعت نشان می‌دهد که متوسط نرخ رشد پیشرفت فنی به‌نسبت پایین است که دلیل آن را می‌توان به فرسودگی ناوگان هوایی، محدودیت عملیاتی ناوگان فوکر، کمبود زیرساخت‌ها و شرایط فرودگاه‌ها، تشدید تحریم‌ها و اتخاذ سیاست‌هایی خصمانه به واسطه ممانعت از فروش هواپیما، و افزایش هزینه تعمیر و تامین قطعات نسبت داد. همچنین، عامل سوم موثر در رشد بهره‌وری عوامل تولید، کارایی مقیاس است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که هرچند کارایی مقیاس در این صنعت حاکم است، اما تمامی صرفه مقیاس برای شرکت‌های اشاره‌شده در سال‌های

۱۳۹۷-۱۳۹۰ به‌طور کامل تخلیه نمی‌شود و انتظار می‌رود که با افزایش مقیاس تولید و ظرفیت ناوگان، همچنان امکان کاهش هزینه تولید و بهره‌برداری از صرفه‌های مقیاس وجود داشته باشد. این نتیجه‌گیری با شواهد موجود در صنعت هوایی کشور که در مقیاس وسیع تولیدی فعالیت می‌کنند، سازگار است. بررسی‌های دقیق‌تر گویای آن است که در بین شرکت‌های مورد بررسی «ایران ایر»، «کیش ایر»، «نفت ایران»، و «کاسپین» در مقایسه با دیگر فعالان بهره‌وری کم‌تری دارند که دلیل آن می‌تواند نوع مالکیت دولتی یا شبه‌دولتی آن‌ها باشد. زیرا به‌طور معمول، شرکت‌هایی با مالکیت دولتی یا شبه‌دولتی از حمایت‌های غیرمستقیم و خوراک ارزان‌قیمت برخوردار هستند و تلاش چندانی برای افزایش کارایی و بهره‌وری از خود نشان نمی‌دهند. از طرفی، با افزایش در اندازه و سهم بازاری هر شرکت میزان ناکارایی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، به دلیل آن‌که این صنعت در مقیاس و ظرفیت بالای تولیدی عمل می‌کند، با افزایش سهم بازاری هر شرکت، کارایی در این صنعت افزایش می‌یابد یا ناکارایی را کاهش می‌دهد.

به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که افزایش سهم بازاری هر شرکت همسو با دیگر عوامل موثر بر بهره‌وری، مزید بر افزایش بهره‌وری کل عوامل تولید در این صنعت است. از طرفی، با توجه بر این‌که پژوهش حاضر با حسابداری رشد و رویکرد پارامتریکی به‌طور جزئی وضعیت شرکت‌های فعال حمل‌ونقل هوایی مسافربری را در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۹۰ بررسی می‌کند و اثرهای مقیاس و تغییرهای کارایی فنی را در کنار پیشرفت فنی پوشش می‌دهد، سهم بسزایی در ادبیات حسابداری رشد و سنجش کارایی دارد.

با توجه به واقعیت‌های مشهود و نتایج به‌دست‌آمده، تجدید ساختار شرکت‌ها و بکارگیری یک الگوی مناسب در جهت استفاده بیش‌تر از منابع بهینه تولیدی به منظور بهره‌برداری بیش‌تر از تغییرهای کارایی فنی در این صنعت پیشنهاد می‌شود. تلاش برای افزایش مقیاس و ظرفیت ناوگان مسافربری از راه افزایش ایمنی سفر، امکانات رفاهی و سرگرمی در طول سفر، و کاهش تاخیر در برنامه پرواز به منظور بهره‌برداری از کارایی مقیاس، دیگر پیشنهادهای این پژوهش هستند. همچنین، توجه به تحقیق‌وتوسعه در راستای ارتقای ضریب فناوری و پیشرفت فناوری با سرمایه‌گذاری در تجهیزات جدید توصیه می‌گردد. علاوه بر این، به مدیران پیشنهاد می‌شود که در جهت هماهنگی منافع مدیران و سهامداران به منظور افزایش تغییرهای کارایی فنی، مدیریتی، و بهره‌وری شرکت‌های فعال در این صنعت تلاش کنند.

در پایان، مهم‌ترین محدودیت پژوهش آن است که به دلیل دسترسی نداشتن به قیمت نهاده‌های تولیدی، امکان محاسبه کارایی تخصیصی در صنعت حمل‌ونقل هوایی ایران وجود ندارد.

منابع

الف) فارسی

خدادادکاشی، فرهاد. (۱۳۸۹). *اقتصاد صنعتی نظریه و کاربرد*. انتشارات سمت.

خدادادکاشی، فرهاد، و حاجیان، محمدرضا (۱۳۹۲). ارزیابی کارایی هزینه‌ای در صنعت بانکداری ایران در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۰. *فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۱۸(۱)، ۲۴-۳.

رهبر دهقان، علیرضا؛ اسمعیلی دستجردی‌پور، عادله، و دهمرده، نظر (۱۳۹۱). محاسبه انواع کارایی و بازده نسبت به مقیاس در صنعت شیر (بررسی موردی: استان کرمان). *فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۱۷(۴)، ۱۴۵-۱۵۹.

زراءنژاد، منصور، و یوسفی حاجی‌آباد، رضا (۱۳۹۰). ارزیابی کارایی اقتصادی شرکت‌های توزیع برق ایران. *فصلنامه پژوهشنامه اقتصاد کلان*، ۶(۱۱)، ۱۰۶-۸۱.

سجادی‌فر سیدحسین؛ عسلی، مهدی؛ فتحی، بهرام، و محمدباقری، اعظم (۱۳۹۴). اندازه‌گیری کارایی انرژی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها با خروجی‌های نامطلوب. *فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲۰(۴)، ۵۵-۶۹.

شهیکی‌تاش، محمدنبی، و شیوایی، الهام (۱۳۹۱). سنجش رشد بهره‌وری عوامل تولید و اثر مقیاس بر مبنای تابع تجزیه‌پذیر (مطالعه موردی صنایع ایران). *دوفصلنامه سیاستگذاری اقتصادی*، ۴(۷)، ۱۴۶-۱۲۶.

عطرکار روشن، صدیقه؛ موسوی، میرحسین، و رسولی، فاطمه (۱۳۹۴). تجزیه‌وتحلیل رشد و بهره‌وری، و ارزیابی عملکرد صنعت و زیربخش‌های آن (استان کردستان). *فصلنامه سیاست‌های راهبردی و کلان*، ۳(۹)، ۹۷-۱۲۱.

فیض‌پور، محمدعلی، و رضایی نوجینی، عباس (۱۳۹۱). سطح تکنولوژی و احتمال خروج بنگاه‌های جدیدالورود صنایع تولیدی ایران با استفاده از مدل مخاطره کاکس. *فصلنامه پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار*، ۱۲(۳)، ۱۰۷-۱۳۲.

کریمی مجد، فرج‌اله (۱۳۹۴). *بررسی و نقدی بر وضعیت هوانوردی کشوری و حمل‌ونقل هوایی*. مجموعه مقالات سومین همایش ایمنی هوانوردی، پژوهشگاه هوافضا، هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران (هما).

واحد آمار دفتر فناوری اطلاعات و بررسی‌های آماری، (۱۳۹۲). *ده سالنامه آماری حمل‌ونقل هوایی کشور*. جلد ۱، سازمان هواپیمایی کشوری.

واحد آمار دفتر فناوری اطلاعات و بررسی‌های آماری، (۱۳۹۷). *کتاب آماری حمل‌ونقل هوایی کشور*. جلد ۱، سازمان هواپیمایی کشوری.

وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۴). *کتاب جامع آماری حمل‌ونقل*، مسکن و شهرسازی

کشور سال ۱۳۹۴. فصل چهارم، حمل‌ونقل هوایی.

هادیان، ابراهیم، و بگماز، علی (۱۳۸۱). تخمین تابع هزینه و بررسی رشد بهره‌وری شرکت هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران (هما). *مجله تحقیقات اقتصادی*، ۳۷(۶۱)، ۲۱۵-۱۸۹.

ب) انگلیسی

Aigner, D. J., & Chu, S.-F. (1968). On Estimating the Industry Production Function. *The American Economic Review*, 58(4), 826-839.

Aigner, D. J., Amemiya, T., & Poirier, D. J. (1976). On the Estimation of Production Frontiers: Maximum Likelihood Estimation of the Parameters of a Discontinuous Density Function. *International Economic Review*, 17(2), 377-396.

Aigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37.

Badunenko, O., Fritsch, M., & Stephan, A. (2006). *What Determines the Technical Efficiency of a Firm? The Importance of Industry, Location, and Size*. Arbeits- und Diskussionspapiere der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena: ISSN 1611-1311

Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1988). Prediction of Firm Level Technical Inefficiencies with a Generalized Frontier Production Function. *Journal of Econometrics*, 38(1), 387-399.

Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1992). Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 3(1-2), 153-169.

Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, 20(2), 325-332.

Chatzimichael, K., & Liasidou, S. (2019). A Parametric Decomposition of Hotel-Sector Productivity Growth. *International Journal of Hospitality Management*, 76(1), 206-215.

Coelli, T. J. (1996). *A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation*. CEPA Working papers 96/07.

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.

Ding, S., Guariglia, A., & Harris, R. (2016). The Determinants of Productivity in Chinese Large and Medium-Sized Industrial Firms, 1998–2007. *Journal of Productivity Analysis*, 45(2), 131-155.

Duygun, M., Shaban, M., Sickles, R. C., & Weyman-Jones, T. (2013). Efficiency and Productivity Change in the European Airlines Industry in the Post Liberalization Era. *Online: http://rsickles*.

Førsund, F. R., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1980). A Survey of Frontier Production Functions and of Their Relationship to Efficiency Measurement. *Journal of Econometrics*, 13(1), 5-25.

Han, G., Kalirajan, K., & Singh, N. (2004). Productivity, Efficiency and Economic Growth: East Asia and the Rest of the World. *The Journal of Developing Areas*, 37(2), 99-118.
Huang, C. J., & Liu, J.-T. (1994). Estimation of a Non-Neutral Stochastic Frontier Production Function. *Journal of Productivity Analysis*, 5(2), 171-180.
Hultberg, P. T., Nadiri, M. I., & Sickles, R. C. (2004). Cross-Country Catch-Up in the Manufacturing Sector: Impacts of Heterogeneity on Convergence and Technology Adoption. *Empirical Economics*, 29(4), 753-768.
Kim, S., & Han, G. (2001). A Decomposition of Total Factor Productivity Growth in Korean Manufacturing Industries: A Stochastic Frontier Approach. *Journal of Productivity Analysis*, 16(3), 269-281.
Kumbhakar, S. C., & Lovell, C. K. (2003). *Stochastic Frontier Analysis*: Cambridge University Press.
Kumbhakar, S. C., Amundsveen, R., Kvile, H. M., & Lien, G. (2015). Scale Economies, Technical Change and Efficiency in Norwegian Electricity Distribution, 1998–2010. *Journal of Productivity Analysis*, 43(3), 295-305.
Meeusen, W., & Van Den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, 18(2), 435-444.
Njuki, E., Bravo-Ureta, B. E., & O'Donnell, C. J. (2019). Decomposing Agricultural Productivity Growth Using a Random-Parameters Stochastic Production Frontier. *Empirical Economics*, 57(3), 839-860.
O'Donnell, C. J. (2014). Econometric Estimation of Distance Functions and Associated Measures of Productivity and Efficiency Change. *Journal of Productivity Analysis*, 41(2), 187-200.
Roy, P. K., & Das, P. S. (2018). Productivity Growth Decomposition in the Manufacturing Industries of Food, Beverages, and Tobacco Products in India: A Stochastic Frontier Approach. *Arthshastra Indian Journal of Economics & Research*, 7(1), 37-57.
Schmidt, P. (1985). Frontier Production Functions. *Econometric Reviews*, 4(2), 289-328.
Shahabinejad, V., Zare Mehrjerdi, M. R., & Yaghoubi, M. (2013). Total Factor Productivity Growth, Technical Change and Technical Efficiency Change in Asian Economies: Decomposition Analysis. *Iranian Journal of Economic Studies*, 2(2), 47-69.
Sharma, S. C., Sylwester, K., & Margono, H. (2007). Decomposition of Total Factor Productivity Growth in US States. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 47(2), 215-241.
Sickles, R. C., Hao, J., & Shang, C. (2014). Panel Data and Productivity Measurement: An Analysis of Asian Productivity Trends. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 12(3), 211-231.
Stevenson, R. E. (1980). Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation. *Journal of Econometrics*, 13(1), 57-66.
Tovar, B., & Martín-Cejas, R. R. (2010). Technical Efficiency and Productivity Changes in Spanish Airports: A Parametric Distance Functions Approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(2), 249-260.
Yu, C. (2016). Airline Productivity and Efficiency: Concept, Measurement, and Applications. *In Airline Efficiency* (11-53): Emerald Group Publishing Limited.