

تعیین کارایی اقتصادی صنایع ایران در بازه زمانی ۱۳۷۴ - ۱۳۸۹ (رویکرد فرامرزی)

زهرا منتظری^۱، همایون رنجبر^{۲*}، مجید صامتی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)

Montazerizahra86@yahoo.com

۲. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، گروه اقتصاد، اصفهان، ایران

hranjbar@khuisf.ac.ir

۳. دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، گروه اقتصاد، اصفهان، ایران

p_sameti@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹

چکیده

با توجه به اهمیت کارایی در رشد و توسعه اقتصادی کشور، اندازه‌گیری کارایی برای کشورهای در حال توسعه، نظیر ایران - که مراحل اولیه فرایند صنعتی شدن را طی می‌کند - از اهمیت بیشتری برخوردار است. از این رو، در این پژوهش، با استفاده از تحلیل مرزی تصادفی (SFA) و رویکرد فرامرزی، کارایی اقتصادی (هزینه) و نسبت فراتکنولوژی (شکاف بین تکنولوژی هر صنعت با تکنولوژی متناسب با بهترین عملکرد صنعت که فعالیت‌های صنعتی ایران توانایی رسیدن به آن را دارند) صنایع مختلف، در قالب سه گروه، با سطوح تکنولوژی گوناگون در بازه زمانی ۱۳۷۴ - ۱۳۸۹ تعیین می‌شود. نتایج حاکی از آن است که متوسط کارایی اقتصادی برای صنایع مورد بررسی در محدوده ۴۲/۴۲ و ۹۶/۱۵ درصد، متوسط کارایی فرامرزی در محدوده ۲۰ و ۸۹/۱۲ درصد، و متوسط نسبت فراتکنولوژی نیز در محدوده ۰/۴۷۱۱ و ۰/۹۷۶۵ است. همچنین گروه وابسته به صنعت و ماشین‌آلات - به لحاظ درصد متوسط کارایی گروهی و فرامرزی و متوسط نسبت فراتکنولوژی - نسبت به گروه‌های وابسته به کشاورزی و وابسته به معدن، انرژی و سوخت عملکرد بهتری دارد. از طرفی، روند بهبود و رشد نسبت فراتکنولوژی و تغییرات کارایی در گروه وابسته به معدن، انرژی و سوخت در طول دوره مورد بررسی بیشتر و ملموس‌تر است.

طبقه‌بندی JEL: C23, C61, D24, L23

واژگان کلیدی: تابع فرامرزی، تحلیل مرزی تصادفی، کارایی هزینه، نسبت فراتکنولوژی.

مقدمه

انسان همواره کوشیده است تا با کمترین امکانات و عوامل موجود حداکثر نتیجه را به دست بیاورد. این کوشش‌ها را می‌توان دستیابی به کارایی اقتصادی بالاتر نامید. امروزه، کشورهای وجود دارند که بدون داشتن منابع، ذخایر و امکانات طبیعی، تولید ناخالص سرانه آن‌ها چندین برابر کشورهای است که از امکانات و ثروت‌های خدادادی ارزشمند بهره‌مندند. شکاف عمیق بهره‌وری و کارایی میان کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای کمتر توسعه‌یافته و به عبارتی، در حال توسعه از دلایل عمده این تفاوت است (رنجبر و رجبی، ۱۳۸۸). از این رو، با توجه به کم‌رنگ‌شدن مرزهای اقتصادی و شدت یافتن رقابت در عرصه جهانی، در کشوری نظیر ایران، که مراحل اولیه فرایند صنعتی شدن را طی می‌کند، شناخت میزان کارایی و شکاف تکنولوژی گروه صنایع مختلف و نوسانات آن‌ها بیش از پیش ضروری است. چنین شناختی می‌تواند سیاست‌گذاران اقتصادی شاخه صنعتی کشور را با موفقیت نسبی یا، به عبارت دیگر، میزان رقابت‌پذیری گروه‌های مختلف صنعتی کشور آشنا سازد و آن‌ها را در اتخاذ راهکارهای سیاستی مناسب برای تخصیص بهینه منابع بین رشته‌های مختلف تولید و برای حداقل کردن هزینه‌ها و حداکثر کردن بازدهی در مجموعه صنعتی کشور یاری کند. در این تحقیق ۲۳ گروه فعالیت صنعتی ایران، بر اساس کد ISIC^۱ های دورقمی، به سه دسته فعالیت تفکیک شده است؛ به گونه‌ای که، با فرض متفاوت بودن سطوح تکنولوژی این سه دسته فعالیت، هر یک از این گروه فعالیت‌ها درون یکی از این دسته فعالیت‌ها - دسته اول^۲ فعالیت‌های وابسته به کشاورزی؛ دسته دوم^۳ فعالیت‌های وابسته به معدن،

1. International Standard Industry Classification

۲. صنایع غذایی و آشامیدنی (۱۵)، تولید محصولات از توتون و تنباکو (۱۶)، تولید منسوجات (۱۷)، تولید پوشاک (۱۸)، دباغی (۱۹)، تولید چوب و محصولات چوبی (۲۰)، تولید کاغذ (۲۱) و انتشار و چاپ (۲۲).
۳. تولید زغال کک - پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای (۲۳)، تولید مواد و محصولات شیمیایی (۲۴)، تولید محصولات لاستیکی (۲۵)، تولید محصولات کانی غیرفلزی (۲۶)، فلزات اساسی (۲۷)، بازیافت (۲۸).

انرژی و سوخت؛ و دسته سوم^۱ فعالیت‌های وابسته به صنعت و ماشین‌آلات - قرار می‌گیرد. بر این اساس، هدف تحقیق حاضر به کارگیری مفهوم فرامرزی است برای تعیین جایگاه فعلی صنایع و فاصله هر یک از صنایع از بهترین عملکردی که با به کارگیری امکانات و ظرفیت‌های فعلی صنعت می‌توانند داشته باشند. همچنین، امکان مقایسه کارایی واحدهای مختلف صنعتی کشور را، که تحت تکنولوژی‌های متفاوت فعالیت می‌کنند فراهم می‌سازد. این امر می‌تواند به صنعت کشور در شناخت جایگاه فعلی‌اش، جبران کاستی‌ها و رفع نواقص و دستیابی به جایگاهی شایسته یاری رساند.

مبانی نظری اندازه‌گیری کارایی به روش فرامرزی

نخستین بار فارل^۲ (۱۹۵۷) به ارائه روشی برای اندازه‌گیری کارایی پرداخت. او پیشنهاد کرد که مقایسه عملکرد یک بنگاه با عملکرد بهترین بنگاه‌های موجود در صنعت مناسب‌تر است. فارل، برای عملی‌ساختن پیشنهاد خود، یعنی تعیین کارایی، استفاده از اطلاعات بنگاه‌ها را برای برآورد تابع تولید مرزی معرفی کرد (امامی میبیدی، ۱۳۸۴). ایگنر و چاو^۳ (۱۹۸۶) تابع تولید مرزی پارامتریک را در شکل کاب-داگلاس تخمین زدند. از آنجا که ایشان در این الگو امکان تأثیرگذاری خطا و سایر اجزای اخلال را در تخمین مرزی تصادفی در نظر گرفتند و همه انحرافات از مرز را ناکارایی فنی قلمداد کردند، الگوی آن‌ها به الگوی مرزی معین^۴ (DEA) معروف شد.

سپس، تیمر^۵ (۱۹۷۱) تلاش کرد مشکل الگوی مرزی معین را رفع کند، ولی برای حل این مشکل درصدی از مشاهدات نزدیک‌تر به مرز را رها کرد و مرز را دوباره با

۱. محصولات فلزات فابریکی (۲۸)، تولید ماشین‌آلات طبقه‌بندی نشده (۲۹)، تولید ماشین‌آلات اداری حسابگر و محاسباتی (۳۰)، تولید ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی طبقه‌بندی نشده در جای دیگر (۳۱)، تولید رادیو و تلویزیون و وسایل ارتباطی (۳۲)، تولید ابزار پزشکی و ابزار اپتیکی و ابزار دقیق (۳۳)، تولید وسایل نقلیه موتوری تریلر و نیم‌تریلر (۳۴)، تولید سایر تجهیزات حمل و نقل (۳۵)، تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی نشده (۳۶).

2. Farrel

3. Aigner & Chu

4. Data Envelopment Analysis

5. Timmer

استفاده از داده‌های تقلیل‌یافته تخمین زد که به الگوی مرزی پهن (TFA)^۱ شناخته می‌شود. سپس، ایگنر^۲، لاول و اشمیت (۱۹۷۷)، باتیس و کورا^۳ (۱۹۷۷)، و میوسن و ون دن بروک (۱۹۷۷) تابع مرزی تصادفی^۴ (SFA) به روش اقتصادسنجی را برای نخستین بار معرفی کردند. از طرف دیگر، برآورد کارایی با استفاده از داده‌های تابلویی توسط کارلسون^۵ (۱۹۷۲)، ایگنر، لاول و اشمیت (۱۹۷۷) و میوسن ون دن بروک (۱۹۷۷) توسعه یافت. پس از آن، افراد بسیاری همچون اشمیت^۶ (۱۹۸۵، ۱۹۸۹)، فورساند، لاول و اشمیت^۷ (۱۹۸۰) و بائور^۸ (۱۹۹۰) روش‌های برآورد را بهبود بخشیدند و درباره جنبه‌های مختلف آن به بحث پرداختند (رنجبر و همکاران، ۱۳۸۹).

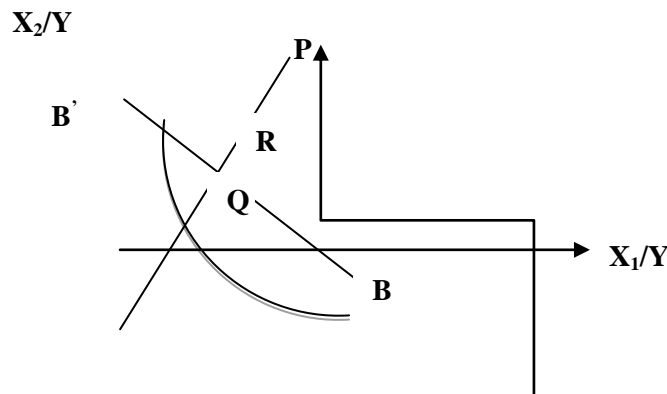
در این میان، گروهی همچون پیت و ولی^۹ (۱۹۸۱)، اشمیت و سایکلز^{۱۰} (۱۹۸۴)، باتیس و کوئلی^{۱۱} (۱۹۸۸) کارایی را در طول زمان ثابت در نظر گرفتند. در میان متخصصان مطرح در حوزه پژوهش برای الگوهای مرزی تصادفی، کورنول، اشمیت و سایکلز^{۱۲} (۱۹۹۰)، کومبهاکار^{۱۳} (۱۹۹۰)، باتیس و کوئلی (۱۹۹۲) و لی و اشمیت^{۱۴} (۱۹۹۳) درباره الگوهای مربوط به جزء ناکارایی متغیر در طول زمان و باتیس و کوئلی (۱۹۹۵) درباره عوامل مؤثر بر ناکارایی به بحث پرداختند. به هر حال، یکی از پیشرفت‌های درخور توجه اخیر کنارگذاردن فرض یکسان بودن تکنولوژی در بین بنگاه‌های مورد بررسی است. بر این اساس، باتیس و رائو^{۱۵} (۲۰۰۲) و باتیس، رائو و

-
1. Thick Frontier Analysis
 2. Aigner
 3. Battese & Corra
 4. Stochastic Frontier Analysis
 5. Carlsoon
 6. Schmidt
 7. Forsand, Lovell & Schmidt
 8. Bauer
 9. Pit & Lee
 10. Schmidt & Sickles
 11. Battese & Coelli
 12. Cornwell, Schmidt & Sickles
 13. Kumbhakar
 14. Lee & Schmidt
 15. Battese & Rao

اودانل^۱ (۲۰۰۴ و ۲۰۰۸) چارچوب تابع فرامرزی^۲ تصادفی با فرض متفاوت بودن تکنولوژی گروه‌های مورد بررسی را ارائه کردند که در ادامه به معرفی آن می‌پردازیم.

۱. کارایی اقتصادی

برای بنگاه‌هایی که فقط از دو نهاده X_1 و X_2 برای تولید ستاده Y استفاده می‌کنند منحنی تولید یکسان بنگاه‌های کاملاً کارا با منحنی $A'A$ با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس در نمودار ۱ نشان داده شده است. اگر نقطه P نمایانگر یکی از بنگاه‌ها باشد، کارایی فنی - که منعکس‌کننده توانایی یک بنگاه در حداقل‌سازی نهاده با توجه به مقدار ثابت ستاده است - به صورت $\frac{OR}{OP}$ تعریف می‌شود. یک تولیدکننده زمانی به لحاظ فنی کاراست که تولید او بر روی منحنی تولید همسان $A'A$ انجام شود.



نمودار ۱. توصیف انواع کارایی به روش فارل (دیدگاه نهاده‌محور)

در نمودار ۱ خط هزینه یکسان $B'B$ نشان دهنده قیمت نهاده‌هاست. کارایی تخصیصی منعکس‌کننده توانایی یک بنگاه در حداقل‌سازی هزینه با توجه به مقدار ثابت تولید است. برای بنگاهی که در نقطه P تولید می‌کند کارایی تخصیصی به صورت $\frac{OS}{OR}$ قابل تعریف است. زمانی بنگاه از لحاظ تخصیصی کاراست که بر روی خط هزینه یکسان

1. Battese, Rao & O'Donnelli
2. meta frontier function

قرار گیرد. از حاصل ضرب کارایی فنی در کارایی تخصیصی کارایی اقتصادی برای بنگاه P به صورت $\frac{OR}{OP} \times \frac{OS}{OR} = \frac{OS}{OP}$ تعریف می‌شود. زمانی بنگاه P دارای کارایی اقتصادی است که خود را از وضعیت P به وضعیت Q برساند (امامی میبیدی، ۱۳۸۴).

۲. معرفی الگوی فرامرزی

در رویکرد فرامرزی تصادفی فرض می‌شود K گروه مورد بررسی دارای تکنولوژی‌های متفاوت از یکدیگرند. بنابراین، تابع هزینه مرزی تصادفی برای این گروه‌ها به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$C_{it(k)} = f(X_{it(k)}, \beta_{(k)}) \exp(v_{it(k)} + u_{it(k)}) = e^{X_{it(k)}\beta_{(k)} + v_{it(k)} + u_{it(k)}} \quad (1)$$

C هزینه توابع مرزی تصادفی، x بردار نهاده‌های استفاده‌شده، β بردار پارامترهای مربوط به متغیرهای x برای تابع مرز تصادفی، V جزء تصادفی دارای توزیع یکسان و مستقل $(\cdot, \sigma_v^2(k))$ ، N جزء ناکارایی دارای توزیع نرمال منقطع $(\mu_{it(k)}, \sigma_u^2(k))$ و مستقل از V است. اندیس‌های i, t, k بیانگر صنعت i ، زمان t ، گروه k و زمان t است و L_k نیز بیانگر تعداد بنگاه‌های موجود در هر گروه است.

تابع فرامرزی پوششی از نقاط هزینه با ناکارایی پایین^۱ (کارایی اقتصادی بالا) در مناطق مختلف است. مفهوم تابع فرامرزی بر این فرض استوار است که کل تولیدکنندگان در گروه‌های مختلف توانایی دستیابی به تکنولوژی یکسانی را دارند. تکنولوژی، به منزله موقعیتی از دانش موجود در هستی، در یک لحظه از زمان در نظر گرفته می‌شود، بنابراین، آنچه تا کنون به عنوان تکنولوژی‌های منطقه‌ای بیان شده توضیحی از بعضی عناصر این دانش است. از این رو، فراتکنولوژی T^* به عنوان اجماعی از تکنولوژی‌های منطقه‌ای مطرح می‌شود که به حداقل هزینه منجر خواهد شد. از این تعریف برمی‌آید که مجموع تکنولوژی‌های منطقه‌ای رابطه ۲ مجموعه‌ای از فراتکنولوژی است.

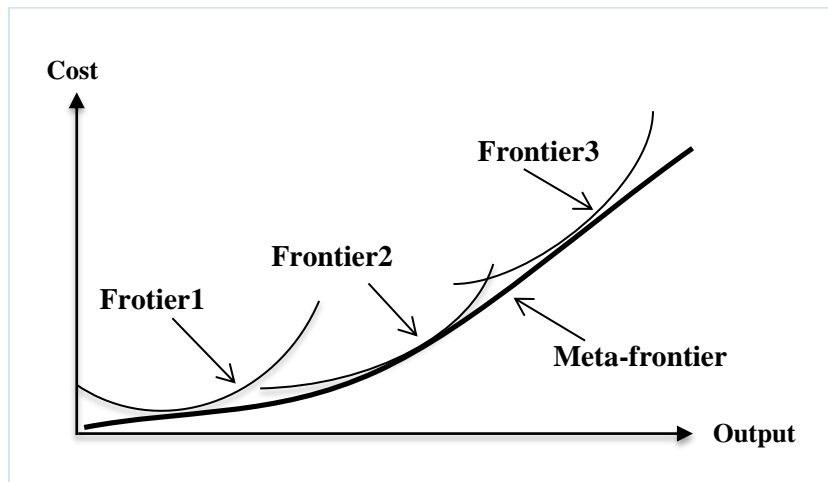
۱. در این مطالعه برای بیان مفهوم کارایی اقتصادی با رویکرد فرامرزی از تابع هزینه استفاده شد؛ بدین مفهوم که هر یک از گروه صنایع که فاصله کمتری با تابع هزینه فرامرزی داشته باشند هزینه کمتری دارند و به لحاظ کارایی اقتصادی در جایگاه بالاتری قرار می‌گیرند، زیرا در این صورت شکاف تکنولوژی، که عددی بین صفر و یک است، کوچک‌تر است و حاصل ضرب آن در کارایی گروهی و در نتیجه کارایی اقتصادی فرامرزی مقدار بزرگ‌تری را به خود اختصاص می‌دهد.

$$\{T^1 \cup T^2 \cup \dots \cup T^K\} \subset T^* \quad (2)$$

حال برای اینکه بتوان کارایی هزینه هر بنگاه را نسبت به کل صنعت - که در آن گروه‌هایی با تکنولوژی متفاوت وجود دارد - سنجید، باید روش تابع هزینه فرامرزی (پوش مرزی) تصادفی را به کار گرفت. از این رو، به پیروی از باتیس، راثو و اودانل (۲۰۰۴)، تابع هزینه فرامرزی به عنوان مدلی برای یک صنعت به صورت رابطه ۳ پیشنهاد می‌شود:

$$C_{it}^* = f(X_{it}, \beta^*) = e^{X_{it}\beta^*} \quad i = 1, \dots, L; \quad L = \sum_{k=1}^K L_k; \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

C^* نشان‌دهنده تابع هزینه فرامرزی و β^* پارامترهای ناشناخته‌ای است که باید برآورد شود و L تعداد کل بنگاه‌ها و L_k تعداد بنگاه‌های موجود در هر یک از گروه‌هاست. برای کلیه مقادیر k (گروه‌هایی با تکنولوژی‌های متفاوت) نیز رابطه $X_{it}\beta^* \leq X_{it}\beta_{(k)}$ برقرار است؛ بدین معنا که تابع هزینه فرامرزی همواره پایین‌تر از توابع هزینه مرزی منطقه‌ای است. باتیس، راثو و اودانل (۲۰۰۴) تابع فرامرزی را تابعی یکنواخت و بدون بریدگی و پوش توابع مرزی تصادفی منطقه‌ای در نظر گرفته‌اند. آن‌ها با استفاده از دو روش حداقل کردن مجموع انحرافات و مجموع انحرافات از فاصله بین تابع هزینه فرامرزی و تابع هزینه مرزی گروهی ضرایب تابع فرامرزی تصادفی را تخمین زدند. نمودار ۲ بیانگر الگوی فرامرزی است.



نمودار ۲. الگوی هزینه فرامرزی و توابع هزینه مرزی منطقه‌ای با تکنولوژی‌های مختلف

در اینجا فرض می‌شود که واحدهای تولیدی محصول y را با استفاده از چند نهاده x و سطوح مختلف تکنولوژی تولید می‌کنند. تعدادی از واحدها با تکنولوژی ۱، تعدادی با تکنولوژی ۲ و تعدادی با تکنولوژی ۳ به تولید مشغول‌اند. بنابراین، برای هر سطح از تکنولوژی می‌توان یک تابع هزینه مرزی مشخص کرد.

با استفاده از روابط ۱ و ۳ می‌توان نوشت:

$$C_{it(k)} = e^{u_{it(k)}} \times \frac{e^{X_{it}\beta(k)}}{e^{X_{it}\beta^*}} \times e^{X_{it}\beta^* + v_{it(k)}} \quad (۴)$$

بخش اول در سمت راست رابطه ۴ بیانگر ناکارایی هزینه‌گروهی مربوط به تابع هزینه مرزی تصادفی گروه k ام است، یعنی:

$$INF_{it}^k = \frac{C_{it}}{e^{X_{it}\beta(k) + v_{it(k)}}} = e^{u_{it(k)}} \quad (۵)$$

بخش دوم در سمت راست رابطه ۴ نیز معادل نسبت فراتکنولوژی^۱ (MTR) فعالیت k ام در گروه k ام و در زمان t ام است.

$$MTR_{it}^k = \frac{e^{X_{it}\beta(k)}}{e^{X_{it}\beta^*}} \quad (۶)$$

نسبت فراتکنولوژی (شکاف تکنولوژی)^۲ عددی بین صفر و یک است که با فرض به کارگیری مقدار معینی نهاده برابر با نسبت هزینه تابع فرامرزی به هزینه تابع مرزی گروه k ام است. این نسبت هر اندازه بزرگ‌تر باشد بیانگر شکاف کمتر تابع هزینه مرزی گروهی با تابع هزینه فرامرزی است. فراتکنولوژی بهترین تکنولوژی موجود در صنعت است که برای هر گروه تکنولوژی بالقوه محسوب می‌شود.

نسبت محصول مشاهده‌شده به قسمت سوم طرف راست رابطه ۴ بیانگر ناکارایی اقتصادی بنگاه k ام در گروه k ام و در زمان t ام نسبت به تابع فرامرزی خواهد بود که با (INF_{it}^*) به صورت رابطه ۷ نشان داده می‌شود:

1. metafrontier technology ratio

۲. باتیس، راثو و اودانل (۲۰۰۸) برای بیان شفاف‌تر و عدم ایجاد تناقض در بیان مفهوم نسبت شکاف تکنولوژی (۲۰۰۴) از اصطلاح نسبت فراتکنولوژی استفاده کردند؛ به همین منظور، در این مقاله نیز به جای نسبت شکاف تکنولوژی از نسبت فراتکنولوژی استفاده شده است. این دو مفاهیم کاملاً یکسانی دارند.

$$INF_{it(k)}^* = \frac{C_{it}}{e^{X_{it}\beta^* + v_{it(k)}}} \quad (7)$$

به بیان دیگر، ناکارایی اقتصادی فرامرزی با استفاده از رابطه ۵ و ۶ به صورت رابطه ۸ یعنی برابر با حاصل ضرب ناکارایی اقتصادی گروهی و نسبت فرانتکنولوژی است:

$$INF_{it(k)}^* = INF_{it(k)} \times MTR_{it}^k \quad (8)$$

تابع هزینه کاب-داگلاس برای هر گروه با استفاده از الگوی باتیس و کوئلی (۱۹۹۵) به روش حداکثر درست‌نمایی^۱ با استفاده از نرم‌افزار فرونتیر^۲ نسخه (۴.۱) برآورد می‌شود. برآورد ضرایب تابع هزینه فرامرزی و محاسبه نسبت فرانتکنولوژی نیز با استفاده از نرم‌افزار شزم^۳ بر اساس کدهای برنامه‌نویسی، ماتریس داده‌ها، و ضرایب برآوردشده برای هر گروه در نرم‌افزار فرونتیر و روش برنامه‌ریزی خطی^۴ صورت می‌گیرد. در کاربرد تجربی، پارامترهای β^* تابع فرامرزی با حل مسئله بهینه‌یابی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی به صورت رابطه ۹ برآورد می‌شوند:

$$\sum_{i=1}^L \sum_{t=1}^T (X_{it} \hat{\beta}_{(k)} - X_{it} \beta^*) \quad \text{حداقل کردن} \quad (9)$$

نسبت به قید:

$$X_{it} \beta^* \leq X_{it} \beta_{(k)} \quad \text{حداقل کردن} \quad (10)$$

۱. آماره محاسباتی از طریق آزمون نسبت درست‌نمایی $LR = -\log[L(H_0) - L(H_1)]$ به دست می‌آید که در آن $L(H_0)$ مقدار حداکثر تابع درست‌نمایی مقید به محدودیت‌ها و $L(H_1)$ مقدار حداکثر تابع درست‌نمایی بدون توجه به محدودیت‌هاست. این آماره دارای توزیع χ^2 با درجه آزادی برابر با تعداد قیدهاست.

2. Frontier 4.1

3. Shazam

4. linear programming

پیشینه تحقیق

۱. مطالعات داخلی

زیبایی و جعفری ثانی (۱۳۸۷)، طی مطالعه موردی از مفهوم تابع فرامرزی، با روش غیرپارامتریک فراگیر داده‌ها (DEA)، به مطالعه تفاوت‌های منطقه‌ای در تکنولوژی تولید شیر کشور پرداختند. نتایج حاصل تخمین تابع تولید مرزی منطقه‌ای نشان داد شکاف بین بهترین تولیدکننده و سایر تولیدکنندگان در استان یزد حداقل و در استان اصفهان حداکثر است. همچنین، نتایج حاصل از تخمین تابع تولید فرامرزی و محاسبه نسبت شکاف تکنولوژی^۱ (TGR) نشان داد که استان‌های تهران و یزد در مقایسه با سایر استان‌های مورد مطالعه عملکرد تکنیکی بهتری دارند.

اسفنجاری کناری و زیبایی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به «بررسی کارایی فنی و شکاف تکنولوژی واحدهای پرورش مرغ تخم‌گذار ایران» پرداختند. تابع تولید فرامرزی با روش غیرپارامتریک فراگیر داده‌ها (DEA) تخمین زده شد. نتایج حاکی از آن است که میانگین کارایی برای استان‌های منتخب در محدوده ۰/۴۹ تا ۰/۸۸ و میانگین کارایی فنی بر اساس تابع تولید فرامرزی در محدوده ۰/۳۱ تا ۰/۸۲ است. بنابراین، بالاترین کارایی مربوط به استان قم است؛ در حالی که پایین‌ترین کارایی فنی مربوط به استان تهران است.

۲. مطالعات خارجی

باتیس و راثو (۲۰۰۲)، در مطالعه‌ای با عنوان «شکاف تکنولوژی، کارایی و تابع فرامرزی تصادفی»، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به بررسی کارایی فنی بنگاه‌های موجود در گروه‌های متفاوت - که تکنولوژی یکسانی ندارند - پرداختند. همچنین، با کاربرد یک الگوی فرامرزی تصادفی نسبت‌های شکاف تکنولوژی بنگاه‌های موجود در هر گروه را نسبت به بهترین عملکرد صنعت به عنوان یک پوشش برای گروه‌های مختلف به دست آوردند.

باتیس، راثو و اودانل (۲۰۰۴)، در پژوهشی با عنوان «کاربرد تابع تولید فرامرزی برای برآورد کارایی‌های فنی و شکاف‌های تکنولوژی بنگاه‌های تحت تکنولوژی متفاوت» با

1. Technology Gap Ratio

به کارگیری یک تابع تولید فرامرزی برای بنگاه‌های موجود در گروه‌هایی با تکنولوژی‌های متفاوت، به مقایسه کارایی فنی و نسبت شکاف تکنولوژی بنگاه‌های موجود در پنج منطقه اندونزی در بازه زمانی ۱۹۹۰ - ۱۹۹۵ پرداختند. میانگین نسبت شکاف تکنولوژی بین ۰/۵۲ برای شرق جاوا و ۰/۹۰ برای جاکارتا بود. تعداد زیادی از بنگاه‌های جاکارتا بالاترین میانگین کارایی فنی را نسبت به تابع فرامرزی داشتند و برای سایر مناطق کارایی‌های فنی محاسبه شده کمتر از مرزهای منطقه‌ای بود. همچنین، تعداد زیادی از بنگاه‌های شرق جاوا نیز بالاترین میانگین کارایی فنی را نسبت به مرز تصادفی منطقه‌ای دارند.

محرابی بوشرابادی^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای، به تجزیه و تحلیل فرامرزی مربوط به تولید سه رقم پسته مختلف برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ در ایران پرداختند. نتایج نشان می‌دهد تفاوت بسیار اندکی در کارایی فنی بین مزارعی که انواع مختلف کشت می‌کنند وجود دارد، اما، چشم‌پوشی از محدودیت‌های اعمال شده بر تولید، که ناشی از انتخاب گوناگون درخت است، می‌تواند به افزایش دامنه فعالیت کشاورزان برای بهبود کارایی تکنیکی‌شان از طریق اعمال فعالیت‌های بهتر کشاورزی منجر شود. همچنین، نتایج بیانگر آن است که توجه به نتایج عملکرد در واحد سطح برای مقایسه کارآمدی ارقام سه‌گانه به‌تنهایی کفایت نمی‌کند.

موریرا و براوو^۲ (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای با عنوان «کارایی فنی و نسبت‌های فراتکنولوژی برای مزارع تولید مواد لبنی در سه کشور جنوبی: یک رویکرد فرامرزی»، کارایی فنی و نسبت‌های فراتکنولوژی را با استفاده از رویکرد فرامرزی برای کشورهای آرژانتین، شیلی و اروگوئه در دوره‌های زمانی متفاوتی از بازه ۱۹۹۶ - ۲۰۰۳ برای هر کشور مقایسه کردند. نتایج حاکی از آن است که مرزهای تصادفی کشورهای آرژانتین و اروگوئه به فرامرزی نزدیک‌تر است و درصد متوسط کارایی فنی این کشورها بالاتر از کشور شیلی است.

چن^۳ و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای با عنوان «اندازه‌گیری کارایی محیط زیست کشورها با استفاده از تابع فاصله و رویکرد فرامرزی»، کارایی محیط زیست ۶۳ کشور را در بازه زمانی ۱۹۸۱ - ۲۰۰۵ اندازه‌گیری کردند. در این مطالعه این کشورها به چهار گروه

1. Mehrabi Boshrabadi

2. Moreira & Bravo

3. Chen, Yu-Ying Lin & Chen

تحت توابع مرزی تصادفی تولید مجزا و سطوح مختلف تکنولوژی تفکیک شدند. نتایج نشان داد بالاترین رشد متوسط کارایی محیط زیست نسبت به فرامرزی به کشورهایی با درآمد بالا اختصاص دارد؛ در حالی که در کشورهایی با درآمد پایین متوسط کارایی محیط زیست دارای نرخ رشد منفی است.

معرفی و برآورد الگو

۱. معرفی الگو

داده‌های مورد نیاز این تحقیق از آمارهای ارائه شده به صورت سری زمانی و تحت عنوان سرشماری کارگاه‌های صنعتی کشور جمع‌آوری شده است. بنگاه‌های فعال در بخش صنعت کشور در قالب سه دسته طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۹ جامعه آماری در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق به صورت داده‌های تابلویی به کار می‌رود. گروه فعالیت‌های عمده صنعتی با کد ISIC دورقمی دارای زیرشاخه‌هایی شامل کد ISIC سه‌رقمی و چهاررقمی است که در این مطالعه صنایع سرگروه مطالعه شده است. بدین ترتیب، داده‌های مربوط به هزینه و ارزش ستانده واقعی بنگاه نمونه^۱، قیمت واقعی نهاده نیروی کار^۲، قیمت واقعی سرمایه^۳، قیمت واقعی انرژی^۴، و قیمت واقعی سایر عوامل^۵ در ۲۳ فعالیت صنعتی ایران استخراج شده است. تابع هزینه ترانسلوگ

۱. از طریق تقسیم هزینه و ارزش ستانده هر صنعت به تعداد کل کارگاه‌های آن صنعت و سپس تعدیل آن‌ها به ترتیب با شاخص مصرف کالای واسطه‌ای و شاخص عمده‌فروشی به دست می‌آید.

۲. از طریق تقسیم ارزش جبران خدمات (مجموع مزد و حقوق و سایر پرداخت‌ها) بر تعداد کارکنان مزدبگیر و سپس تعدیل آن با شاخص مصرف کالای واسطه‌ای هر صنعت به دست می‌آید.

۳. با فرض یکسان بودن بین صنایع، از تقسیم ارزش جاری به ثابت واسطه‌گری پولی به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶ به دست می‌آید.

۴. مجموع متوسط وزنی قیمت کلیه سوخت‌ها و انرژی‌های مصرفی (نفت سفید، گازوئیل، گاز طبیعی، گاز مایع، بنزین، نفت سیاه و کوره، زغال سنگ، زغال چوب، برق، آب) است که برابر با حاصل ضرب قیمت واقعی انرژی (که با شاخص مربوط به همان سوخت یا انرژی تعدیل شده) در سهم ارزشی همان انرژی (نسبت ارزش هر انرژی به ارزش کل انرژی مصرفی) است. قیمت انرژی نیز حاصل تقسیم ارزش هر انرژی بر حجم مصرفی آن است.

۵. از طریق تقسیم ارزش جاری به ثابت (مجموع ۲۳ فعالیت مورد بررسی منهای ارزش فعالیت مورد نظر) با استفاده از جدول مصارف واسطه‌ای به دست می‌آید.

نرمالایز شده نسبت به قیمت واقعی سرمایه^۱ برای هر گروه به صورت رابطه ۱۱ است (رنجبر و رجبی، ۱۳۸۸).

$$\begin{aligned} \ln(\tilde{C}_{it(k)}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(Y_{it(k)}) + \beta_2 \ln(\tilde{P}_{wit(k)}) + \beta_3 \ln(\tilde{P}_{Eit(k)}) + \beta_4 \ln(\tilde{P}_{Oit(k)}) + \\ & \beta_5 \frac{1}{\gamma} \left(\ln(Y_{it(k)}) \right)^\gamma + \beta_6 \frac{1}{\gamma} \left(\ln(\tilde{P}_{wit(k)}) \right)^\gamma + \beta_7 \frac{1}{\gamma} \left(\ln(\tilde{P}_{Eit(k)}) \right)^\gamma + \beta_8 \frac{1}{\gamma} \left(\ln(\tilde{P}_{Oit(k)}) \right)^\gamma + \\ & \beta_9 \ln(Y_{it(k)}) \ln(\tilde{P}_{wit(k)}) + \beta_{10} \ln(Y_{it(k)}) \ln(\tilde{P}_{Eit(k)}) + \beta_{11} \ln(Y_{it(k)}) \ln(\tilde{P}_{Oit(k)}) + \\ & \beta_{12} \ln(\tilde{P}_{wit(k)}) \ln(\tilde{P}_{Eit(k)}) + \beta_{13} \ln(\tilde{P}_{wit(k)}) \ln(\tilde{P}_{Oit(k)}) + \beta_{14} \ln(\tilde{P}_{Eit(k)}) \ln(\tilde{P}_{Oit(k)}) \\ & + u_{it(k)} + v_{it(k)} \end{aligned} \quad (11)$$

که در آن $\tilde{C}, \tilde{P}_W, \tilde{P}_E, \tilde{P}_O$ به ترتیب قیمت واقعی نرمالایز شده سایر عوامل، انرژی، نیروی کار و هزینه کل صنعت است و Y ارزش واقعی ستانده و اندیس های i, t, k بیانگر صنعت i ام دسته k ام و زمان t ام است.

۲. گزینش ساختار تبعی مناسب هزینه

برای شروع برآورد الگو، نخست باید ساختار تبعی مناسب هزینه با استفاده از آزمون نسبت درست نمایی (LR) انتخاب شود. بدین منظور، نخست الگوی کاب-داگلاس و سپس ترانسلوگ برای هر سه گروه برآزش می شود. سپس، با استفاده از آزمون نسبت درست نمایی و مقایسه آن با آماره خی دو جدول با درجه آزادی مربوطه، می توان به انتخاب شکل تبعی مناسب برای تابع هزینه صنعت کشور اقدام کرد. اگر H_1 و H_0 به ترتیب مقدار تابع درست نمایی در الگوی تابع هزینه کاب-داگلاس و الگوی تابع هزینه ترانسلوگ باشد، نتیجه آزمون به صورتی که در جدول ۱ می آید بیان می شود:

جدول ۱. آزمون نسبت درست نمایی برای گزینش نوع تابع هزینه

نتیجه	مقدار بحرانی	LR آزمون	$\sum_{i=1}^r \log L(H_0)$	$\sum_{i=1}^r \log L(H_1)$	فرضیه صفر
رد H_0	$\chi^2_{0.05}(10) = 18.30$	۷۵,۸۹۷۲	۷۴,۲۶۷۸	۳۶,۳۱۹۱	$H_1: \beta_i = 0$ $i = 5, 6, \dots, 14$

منبع: نتایج تحقیق

۱. برای اعمال فرض همگن از درجه یک بودن تابع هزینه نسبت به قیمت عوامل.

بنابراین، به دلیل بزرگ‌تر بودن آماره آزمون، نسبت درست‌نمایی از آماره جدول χ^2 با درجه آزادی ۱۰، فرضیه H_0 مبنی بر صفر بودن ضرایب β_4 تا β_5 پذیرفتن فرم تبعی کاب-داگلاس رد می‌شود و صحت به کارگیری تابع هزینه ترانسلوگ در مقابل تابع هزینه کاب-داگلاس بر مبنای آماره آزمون محاسبه‌شده در سطح خطای ۵ درصد تأیید می‌شود.

۳. تعیین نوع توزیع ناکارایی

در بین فرضیه‌های معمول بیان شده برای هزینه مرزی تصادفی، فرض ناکارایی متغیر در طول زمان ارائه‌شده توسط باتیس و کوئلی (۱۹۹۲) به صورت $u_{it} = \exp[-\eta(t-T)]\mu_i$ بیان شده است. این الگو برآمده از یک تابع نمای از زمان و متغیرهای تصادفی غیرمنفی در صنعت است. در اینجا $(i=1,2,\dots,N)$ است که $t \in \tau(i)$ است که مجموعه‌ای از دوره‌های زمانی T_i در بین T زمانی است که مشاهدات تولید i امین بنگاه در آن زمان قرار دارد. η پارامتر عددی است که باید برآورد شود. u_{it} ناکارایی متغیر در طول زمان است که بسته به مثبت، منفی و صفر بودن η می‌تواند افزایش یا کاهش یابد یا برابر با u_i شود و دارای توزیع نرمال منقطع $N^+(\mu_{it(k)}, \sigma_{(k)}^2)$ است. μ_k نیز بیانگر متوسط توزیع ناکارایی در هر گروه است. بنابراین، برای بررسی نوع توزیع ناکارایی‌ها، آزمون فرضیه‌های مرکب مربوطه برای هر سه گروه پیشنهادی در جدول ۲ گزارش شده است:

جدول ۲. آزمون فرضیه‌های مرکب مربوط به پارامترهای γ, η, μ

H_0	H_1	$\sum_{i=1}^r \log L(H_0)$	$\sum_{i=1}^r \log L(H_1)$	آزمون LR	نتیجه آزمون
$\gamma = \mu = \eta = 0$	$\gamma \neq 0, \mu = \eta = 0$	۷۴,۲۶۷۸	۱۳۱,۶۱۵۶	۱۱۴,۶۹۵۷	H_0 رد شد
$\gamma \neq 0, \mu = \eta = 0$	$\gamma, \mu \neq 0, \eta = 0$	۱۳۱,۶۱۵۶	۱۳۳,۷۱۸۴	۴,۲۰۵۶	H_0 رد شد
$\gamma \neq 0, \mu = \eta = 0$	$\gamma, \eta \neq 0, \mu = 0$	۱۳۱,۶۱۵۶	۱۴۳,۴۵۶۵	۲۳,۶۸۱۷	H_0 رد شد
$\gamma \neq 0, \mu = \eta = 0$	$\gamma, \mu, \eta \neq 0$	۱۳۱,۶۱۵۶	۱۴۴,۲۸۴۹	۲۵,۳۳۸۵	H_0 رد شد

منبع: نتایج تحقیق

نخست با اجرای آزمون اول به بررسی مرزی تصادفی بودن الگو پرداخته می‌شود؛ با توجه به بزرگ‌تر بودن مقدار این آماره (۱۱۴/۶۹) از $\chi^2_{0.5}(1) = 3/84$ یعنی H_0 رد و فرض H_1 مبنی بر مرزی تصادفی بودن الگو تأیید می‌شود.

در حالت دوم وجود μ بدون وجود η ، حالت سوم وجود η بدون وجود μ ، و در حالت آخر وجود توأم μ و η در مقابل فقدان آن‌ها آزمون می‌شود. با توجه به بزرگ‌بودن مقادیر آماره محاسباتی از آماره جدول $\chi^2_{0.5}(1) = 3/84$ ، در هر یک از این سه حالت فرض H_0 رد و فرض H_1 تأیید می‌شود. بنابراین، با توجه به بزرگ‌تر بودن مقدار آماره محاسباتی از آماره جدول، یعنی $\chi^2_{0.5}(2) = 5/99$ ، در حالت چهارم فرض H_0 رد و نتیجه نهایی دال بر وجود توأم μ و η در الگو است.

۴. بررسی امکان وجود الگوی فرامرزی

هرچند کارایی اقتصادی واحدهایی که بر اساس یک تابع هزینه مرزی تعیین شده‌اند مقایسه‌شدنی است، برای واحدهایی که تحت تکنولوژی‌های متفاوت فعالیت می‌کنند چنین مقایسه‌ای معتبر نخواهد بود. بنابراین، باید برای آن‌ها یک فرامرز تعریف شود. با تعریف این فرامرز نه تنها می‌توان کارایی بنگاه‌های همگن و تحت یک تکنولوژی را بررسی کرد، بلکه امکان مقایسه کارایی بنگاه‌های ناهمگن از گروهی به گروه دیگر و تحت تکنولوژی متفاوت نیز فراهم می‌شود. برای بررسی وجود این امکان آزمون نسبت درست‌نمایی به صورت جدول ۳ انجام می‌شود.

جدول ۳. آزمون نسبت درست‌نمایی برای بررسی امکان وجود تابع فرامرزی

نتیجه آزمون	مقدار بحرانی	LR آزمون	$\sum_{i=1}^2 \log L(H_i)$	$\log L_{pooled}$	فرضیه صفر
رد H_0	$\chi^2_{0.5}(10) = 18/30$	۹۴/۶۸۱۲	۱۴۴/۲۸۴۹	۹۶/۹۴۴۳	یکسانی ۳ تکنولوژی

منبع: نتایج تحقیق

مشاهده می‌شود که، با توجه به بزرگ‌تر بودن آماره آزمون نسبت درست‌نمایی از آماره جدول، یعنی χ^2 با درجه آزادی ۱۰، فرضیه یکسان بودن تکنولوژی سه گروه رد می‌شود. بنابراین، صحت به کارگیری یک تابع فرامرزی برای سه گروه پیشنهادی در سطح خطای پنج درصد تأیید می‌شود. جدول ۴ نتایج حاصل از برازش سه گروه و تابع فرامرزی در حالت وجود ناکارایی متغیر در طول زمان و دارای توزیع نرمال منقطع (طبق آزمون فرضیات ارائه شده در جدول ۲) را نشان می‌دهد.

۵. برآورد الگو

جدول ۴. نتایج برازش الگوی ترانسلوگ

ضرایب	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	تلفیقی	فرامرزی
β	-۴,۳۷۹۴ (-۴,۲۵۳۷)	-۰,۷۹۴۷ (-۰,۴۵۳۰)	۱,۷۴۹۰ (۱,۵۸۲۴)	-۲,۵۸۰۴ (-۲,۶۳۲۰)	-۰,۷۷۱۲
β_1	۰,۹۰۵۶ (۳,۸۲۱۵)	۰,۶۹۹۷ (۲,۵۱۳۳)	۰,۳۴۳۷ (۱,۱۱۲۵)	۰,۷۰۰۹ (۲,۸۲۱۸)	۰,۵۲۰۰
β_2	۲,۱۳۷۱ (۳,۹۵۵۵)	۱,۸۱۸۷ (۱,۹۴۴۵)	۰,۲۷۸۷ (۰,۳۳۳۷)	۱,۸۱۷۳ (۱,۹۸۰۴)	۰,۱۸۰۷
β_3	۰,۴۴۳۴ (۱,۴۷۳۸)	-۰,۰۶۰۷ (-۰,۲۳۶۴)	۰,۰۳۸۳ (۰,۱۰۹۳)	۰,۲۷۳۳ (۰,۸۰۱۲)	۰,۷۰۸۰
β_4	-۲,۵۱۹۴ (-۲,۳۵۰۶)	-۰,۳۹۳۷ (-۰,۲۳۲۱)	۱,۰۴۱۷ (۱,۰۹۱۹)	-۱,۸۳۳۷ (-۱,۹۹۷۷)	-۰,۸۷۸۱
β_5	۰,۰۳۹۳ (۱,۴۳۷۹)	۰,۰۴۱۸ (۱,۷۵۸۷)	۰,۱۱۰۵ (۲,۰۹۲۹)	۰,۰۶۲۹ (۱,۷۰۷۱)	۰,۰۵۰۶
β_6	-۰,۰۱۱۸ (-۰,۰۳۰۷)	۰,۸۹۱۸ (۲,۲۶۹۹)	۰,۳۸۳۱ (۱,۴۲۳۷)	۰,۵۷۵۳ (۱,۲۹۶۰)	۰,۴۳۵۳
β_7	-۰,۰۷۶۲ (-۱,۴۴۰۷)	۰,۰۱۹۱ (۰,۷۱۲۹)	۰,۰۲۵۵ (۰,۳۶۸۶)	-۰,۰۱۱۰ (-۰,۲۴۳۲)	-۰,۰۳۷۰
β_8	-۰,۲۴۶۳ (-۰,۲۵۰۳)	۰,۰۰۲۲ (۰,۰۰۱۹)	۱,۸۰۲۵ (۱,۹۸۵۴)	۰,۱۱۱۷ (۰,۱۳۰۶)	-۰,۲۶۳۶
β_9	-۰,۱۶۷۶ (-۲,۸۵۶۸)	-۰,۲۲۳۴ (-۲,۴۴۷۵)	-۰,۱۲۸۳ (-۱,۱۴۴۵)	-۰,۲۰۹۳ (-۲,۰۷۳۳)	-۰,۰۰۳۱

ادامه جدول ۴. نتایج برازش الگوی ترانسلوگ

ضرایب	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	تلفیقی	فرامرزی
β_{11}	۰٫۰۱۳۳ (۰٫۵۴۰۳)	۰٫۰۳۳۶ (۱٫۰۲۷۱)	-۰٫۰۳۹۲ (-۱٫۲۳۰۵)	۰٫۰۱۵۸ (۰٫۴۵۹۲)	-۰٫۰۲۳۸
β_{12}	۰٫۲۵۸۲ (۲٫۳۴۷۰)	۰٫۱۴۶۱ (۱٫۳۱۵۶)	۰٫۲۹۳۰ (۱٫۵۷۶۹)	۰٫۲۸۱۴ (۱٫۶۴۰۴)	۰٫۰۷۶۳
β_{13}	-۰٫۰۴۴۱ (-۰٫۴۴۷۶)	-۰٫۲۰۷۵ (-۱٫۳۰۹۳)	۰٫۱۱۹۲ (۱٫۲۴۴۶)	-۰٫۱۳۵۵ (-۰٫۸۵۷۲)	-۰٫۰۸۳۷
β_{14}	-۰٫۱۰۵۸ (-۰٫۲۰۰۷)	-۰٫۰۳۲۵ (-۰٫۵۸۸۸)	-۱٫۰۵۰۱ (-۲٫۳۲۷۷)	-۰٫۴۱۵۸ (-۰٫۷۲۶۰)	-۰٫۲۸۰۲
β_{21}	۰٫۲۴۶۱ (۱٫۲۲۷۸)	-۰٫۰۹۷۷ (-۰٫۴۲۳۹)	-۰٫۱۹۵۷ (-۱٫۰۱۹۸)	۰٫۱۶۸۰ (۰٫۷۷۳۷)	۰٫۱۹۵۶
σ^2	۰٫۰۸۴۹ (۳٫۱۷۹۱)	۰٫۰۳۳۷ (۲٫۷۰۳۷)	۰٫۰۲۰۰ (۵٫۹۵۳۶)	۰٫۰۸۰۸ (۰٫۹۴۰۱)	
γ	۰٫۰۷۳۹۰ (۱۰٫۹۵۲۱)	۰٫۱۷۴۲ (۰٫۵۸۶۲)	۰٫۰۲۳۸ (۰٫۶۶۵۳)	۰٫۶۵۸۸ (۲٫۵۱۴۳)	
μ	۰٫۵۰۱۱ (۳٫۶۶۵۸)	۰٫۰۱۹۳ (۰٫۱۱۵۱)	۰٫۰۴۳۶ (۲٫۳۷۶۱)	۰٫۴۶۱۳ (۱٫۱۵۲۰)	
η	-۰٫۰۰۲۳ (-۰٫۱۷۱۴)	۰٫۱۲۲۸ (۳٫۶۹۲۲)	۰٫۱۰۷۳ (۲٫۸۵۹۷)	۰٫۰۱۲۵ (۱٫۰۳۳۵)	
Log Likelihood	۴۷٫۲۹۲۵	۲۷٫۸۵۰۶	۶۹٫۱۴۱۸	۹۶٫۹۴۴۳	

ارقام داخل پرانتز بیانگر آماره t است.

منبع: نتایج تحقیق

۶. تجزیه و تحلیل نتایج

برای تعیین شدت و جهت اثرگذاری هر یک از متغیرها بر هزینه هر گروه، نخست با استفاده از آزمون نسبت درست نمایی اثرگذاربودن یا نبودن هر یک از متغیرهای ستانده، قیمت نیروی کار، قیمت انرژی و قیمت سایر عوامل بر هزینه هر گروه مشخص، سپس، با محاسبه کشش در جدول ۵ نوع آن در مواردی که این اثرگذاری وجود داشته تعیین شده است.

نتایج به دست آمده بیانگر اثرگذاری مثبت متغیرهای ستانده و قیمت نیروی کار بر هزینه گروه‌های اول، دوم، سوم، و تابع هزینه فرامرزی است. از طرفی، قیمت انرژی بر هزینه گروه‌های اول و سوم اثرگذار نبوده، ولی بر هزینه گروه دوم و تابع هزینه فرامرزی اثری مثبت دارد. قیمت سایر عوامل نیز بر هزینه گروه‌های اول، دوم، و سوم اثر مثبتی گذاشته، اما این اثرگذاری بر تابع هزینه فرامرزی منفی است.

جدول ۵. کشش تابع هزینه هر گروه نسبت به متغیرهای اثرگذار هر گروه

فرامرزی	گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱	کشش نسبت به
۰٫۸۵	۰٫۸۴	۰٫۷۴	۰٫۸۹	متوسط ستانده
۰٫۷	۰٫۷۶	۰٫۳۶	۰٫۵۷	متوسط قیمت نیروی کار
۰٫۶۳	—	۰٫۰۹	—	متوسط قیمت انرژی
-۰٫۷۵	۰٫۳۵	۰٫۶۵	۰٫۵۵	متوسط قیمت سایر عوامل

منبع: نتایج تحقیق

تحلیل آماری نتایج

۱. متوسط نسبت فراتکنولوژی، درصد متوسط کارایی گروهی و فرامرزی دسته فعالیت‌ها در طول دوره

در این مطالعه از مفهوم تابع فرامرزی برای بررسی تفاوت‌های کارایی و تکنولوژی منطقه‌ای استفاده می‌شود. از این رو، علاوه بر کارایی اقتصادی گروهی^۱ (eff)، نسبت فراتکنولوژی، یعنی MTR که فاصله هر یک از توابع هزینه مرزی تصادفی تا تابع هزینه فرامرزی تعریف شده، نیز برآورد شده است. در نهایت، با حاصل ضرب این نسبت در کارایی اقتصادی گروهی کارایی فرامرزی^۲ (Meta eff) حاصل می‌شود.

۱.۱. گروه صنایع وابسته به کشاورزی

با توجه به نتایج جدول ۶، ملاحظه می‌شود که در گروه اول، یعنی گروه وابسته به کشاورزی، متوسط نسبت فراتکنولوژی تا سال ۱۳۸۵ به طور نسبی و نوسانی در حال افزایش بوده و

1. Efficiency
2. Metaefficiency

گویای بهبود شرایط تکنولوژی در این گروه از صنایع است. اما، از سال ۱۳۸۶ به بعد این نسبت در حال کاهش است. سال ۱۳۸۹ کمترین متوسط نسبت فراتکنولوژی را در این گروه به خود اختصاص می‌دهد. کارایی گروهی در گروه اول تا سال ۱۳۸۴ روند تقریباً باثباتی داشته، اما از این سال به بعد روندی کاهشی دارد و در کل میزان رشد آن منفی است؛ البته محسوس نیست. متناسب با تغییرات نسبت فراتکنولوژی، کارایی فرامرزی نیز تا سال ۱۳۸۵ به طور نسبی روندی افزایشی داشته، اما از سال ۱۳۸۵ به بعد این روند کاهشی است.

جدول ۶. MTR، eff، و Meta eff در گروه اول در طول دوره

سال	گروه ۱		
	MTR1	eff 1	meta eff 1
۱۳۷۴	۰,۵۸۰۷	۶۰,۷۲	۳۵,۰۹
۱۳۷۵	۰,۵۸۷۵	۶۰,۶۶	۳۵,۶۸
۱۳۷۶	۰,۶۴۷۱	۶۰,۵۹	۳۹,۰۴
۱۳۷۷	۰,۶۰۰۰	۶۰,۵۲	۳۶,۱۲
۱۳۷۸	۰,۶۲۶۵	۶۰,۴۶	۳۷,۸۸
۱۳۷۹	۰,۶۴۷۷	۶۰,۳۹	۳۹,۱۱
۱۳۸۰	۰,۶۴۸۵	۶۰,۳۲	۳۹,۰۱
۱۳۸۱	۰,۶۰۸۸	۶۰,۲۶	۳۶,۶۸
۱۳۸۲	۰,۵۷۰۶	۶۰,۱۹	۳۴,۲۷
۱۳۸۳	۰,۶۰۰۳	۶۰,۱۲	۳۶,۰۶
۱۳۸۴	۰,۶۲۰۵	۶۰,۰۶	۳۷,۲۹
۱۳۸۵	۰,۶۳۱۵	۵۹,۹۹	۳۷,۸۷
۱۳۸۶	۰,۵۹۵۳	۵۹,۹۲	۳۵,۶۱
۱۳۸۷	۰,۵۳۵۴	۵۹,۸۶	۳۲,۰۰
۱۳۸۸	۰,۵۴۶۲	۵۹,۷۹	۳۲,۷۶
۱۳۸۹	۰,۵۱۸۴	۵۹,۷۲	۳۰,۷۹
میانگین کل	۰,۵۹۷۸	۶۰,۲۲	۳۵,۹۵
نرخ رشد	-۰,۰۰۴۱	-۰,۰۰۶	-۰,۰۲۵

منبع: نتایج تحقیق

۲.۱. گروه صنایع وابسته به معدن، انرژی، و سوخت

جدول ۷. MTR، eff و Meta eff در گروه دوم در طول دوره

سال	MTR 2	گروه ۲ eff 2	meta eff 2
۱۳۷۴	۰٫۶۶۲۱	۶۷٫۶۵	۴۵٫۶۷
۱۳۷۵	۰٫۷۱۸۷	۷۰٫۴۸	۵۱٫۰۶
۱۳۷۶	۰٫۷۱۰۵	۷۳٫۱۴	۵۲٫۲۹
۱۳۷۷	۰٫۶۴۹۲	۷۵٫۶۳	۴۸٫۹۳
۱۳۷۸	۰٫۶۴۶۹	۷۷٫۹۵	۴۹٫۷۲
۱۳۷۹	۰٫۷۸۱۵	۸۰٫۱۰	۶۲٫۹۷
۱۳۸۰	۰٫۷۴۲۸	۸۲٫۰۷	۶۱٫۳۵
۱۳۸۱	۰٫۷۷۲۱	۸۳٫۸۸	۶۵٫۱۲
۱۳۸۲	۰٫۷۴۹۱	۸۵٫۵۴	۶۴٫۶۳
۱۳۸۳	۰٫۷۶۷۸	۸۷٫۰۴	۶۷٫۲۵
۱۳۸۴	۰٫۷۶۳۴	۸۸٫۴۱	۶۷٫۷۲
۱۳۸۵	۰٫۷۷۴۹	۸۹٫۶۴	۶۹٫۶۲
۱۳۸۶	۰٫۷۶۵۴	۹۰٫۷۵	۶۹٫۴۲
۱۳۸۷	۰٫۸۳۹۲	۹۱٫۷۵	۷۶٫۵۲
۱۳۸۸	۰٫۷۹۰۳	۹۲٫۶۵	۷۳٫۱۱
۱۳۸۹	۰٫۸۳۲۹	۹۳٫۴۶	۷۷٫۶۴۸
میانگین کل	۰٫۷۴۷۹	۸۳٫۱۳	۶۲٫۶۹
نرخ رشد	۰٫۰۱۱۵	۴٫۵۹	۷٫۴۳

منبع: نتایج تحقیق

در گروه دوم، یعنی گروه وابسته به معدن، انرژی، و سوخت، کمترین متوسط نسبت فراتکنولوژی متعلق به سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ و بیشترین نسبت فراتکنولوژی متعلق به سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ است. نرخ رشد ۰٫۰۱۱۵ همواره بیانگر افزایش متوسط نسبت فراتکنولوژی- به مفهوم بهبود تقریباً مداوم و با سرعت کم تکنولوژی- است و نرخ رشد ۴٫۵۹ نیز بیانگر افزایش کارایی اقتصادی گروهی در طول سال‌های مورد بررسی در

این گروه است. متعاقباً، با رشد متوسط کارایی گروهی و نسبت فراتکنولوژی، درصد متوسط کارایی فرامرزی نیز رشد مثبت (۷/۴۳) را به خود اختصاص داده است.

۳.۱. صنایع وابسته به صنعت و ماشین‌آلات

جدول ۸. MTR، eff، و Meta eff در گروه سوم در طول دوره

سال	گروه ۳		
	MTR 3	eff 3	Meta eff 3
۱۳۷۴	۰٫۹۳۸۶	۷۸٫۶۶	۷۴٫۰۳
۱۳۷۵	۰٫۹۳۴۸	۸۰٫۵۸	۷۵٫۴۲
۱۳۷۶	۰٫۹۳۲۲	۸۲٫۳۵۹	۷۶٫۸۲
۱۳۷۷	۰٫۹۴۲۳	۸۳٫۹۸	۷۹٫۲۱
۱۳۷۸	۰٫۹۳۱۷	۸۵٫۴۷	۷۹٫۵۹
۱۳۷۹	۰٫۹۷۱۶	۸۶٫۸۴	۸۴٫۳۱
۱۳۸۰	۰٫۹۶۰۳	۸۸٫۰۸	۸۴٫۵۳
۱۳۸۱	۰٫۹۷۸۲	۸۹٫۲۲	۸۷٫۳۰
۱۳۸۲	۰٫۹۳۰۵	۹۰٫۲۶	۸۳٫۹۴
۱۳۸۳	۰٫۹۳۰۸	۹۱٫۲۰	۸۴٫۸۲
۱۳۸۴	۰٫۹۱۷۶	۹۲٫۰۵	۸۴٫۴۲
۱۳۸۵	۰٫۹۴۱۲	۹۲٫۸۳	۸۷٫۳۷
۱۳۸۶	۰٫۹۳۱۲	۹۳٫۵۳	۸۷٫۰۷
۱۳۸۷	۰٫۹۰۸۷	۹۴٫۱۷	۸۵٫۵۲
۱۳۸۸	۰٫۸۹۱۲	۹۴٫۷۴	۸۴٫۳۹
۱۳۸۹	۰٫۸۱۳۰	۹۵٫۲۶	۷۷٫۲۸
میانگین کل	۰٫۹۲۸۴	۸۸٫۷۰	۸۲٫۲۵
نرخ رشد	-۰٫۰۰۸۳	۲٫۰۲	۰٫۲۴

منبع: نتایج تحقیق

گروه سوم، یعنی گروه وابسته به صنعت، اگرچه شاهد رشد کمتری است، وضعیت این گروه به لحاظ کارایی گروهی و نسبت فراتکنولوژی از دو گروه دیگر بهتر است. در این گروه سال ۱۳۸۹ کمترین و سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۱ بیشترین متوسط نسبت فراتکنولوژی را به خود اختصاص داده‌اند. درصد متوسط کارایی گروهی و فرامرزی در این گروه به ترتیب با رشد مثبت روبه روست. در نهایت، با مقایسه متوسط کارایی فرامرزی می‌توان گفت گروه سوم (وابسته به صنعت و ماشین‌آلات) جایگاه اول، گروه دوم (وابسته به معادن، انرژی، و سوخت) جایگاه دوم، و گروه اول (وابسته به کشاورزی) نیز جایگاه اول را به خود اختصاص داده‌اند. همین ترتیب گروهی به لحاظ مقایسه کارایی گروهی و نسبت فراتکنولوژی در گروه‌های مورد بررسی نیز برقرار است.

۲. متوسط نسبت فراتکنولوژی، درصد متوسط کارایی گروهی و فرامرزی هر فعالیت در هر دسته در طول دوره

۱.۲. گروه صنایع وابسته به کشاورزی

جدول ۹. MTR، eff و Meta eff هر فعالیت در گروه اول در طول دوره

کد فعالیت	MTR1	eff 1	Meta eff1
۱۵	۰٫۶۴۰۷	۵۳٫۰۸	۳۴٫۰۲
۱۶	۰٫۵۰۸۲	۶۱٫۹۷	۳۱٫۵۲
۱۷	۰٫۶۲۴۲	۴۸٫۶۰	۳۰٫۳۴
۱۸	۰٫۵۷۷۴	۵۸٫۶۰	۳۳٫۸۳
۱۹	۰٫۵۹۳۳	۴۸٫۹۰	۲۹٫۰۲
۲۰	۰٫۶۱۴۰	۶۳٫۸۷	۳۹٫۲۲
۲۱	۰٫۶۱۷۰	۵۴٫۰۸	۳۳٫۳۷
۲۲	۰٫۶۰۷۵	۹۲٫۷۰	۵۶٫۳۱
میانگین کل	۰٫۵۹۷۸	۶۰٫۲۲	۳۵٫۹۵

منبع: نتایج تحقیق

همان طور که ملاحظه می‌شود، گروه اول شامل هشت کد فعالیت است که از بین آن‌ها فعالیت ۱۵ (صنایع غذایی و آشامیدنی) و فعالیت ۱۶ (تولید محصول از توتون و تنباکو) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین متوسط نسبت فراتکنولوژی اند. از طرفی، فعالیت ۲۲ (انتشار و چاپ) و فعالیت ۱۷ (تولید منسوجات) نیز به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد متوسط کارایی گروهی اند و در نهایت فعالیت ۲۲ (انتشار و چاپ) و فعالیت ۱۹ (دباغی) به ترتیب بیشترین و کمترین درصد متوسط کارایی فرامرزی را به خود اختصاص می‌دهند.

۲.۲. گروه صنایع وابسته به معدن، انرژی و سوخت

جدول ۱۰. MTR، eff، و Meta eff هر فعالیت در گروه دوم در طول دوره

کد فعالیت	MTR 2	eff 2	Meta eff2
۲۳	۰٫۴۷۴۶	۹۳٫۹۴	۴۴٫۶۵
۲۴	۰٫۷۰۲۸	۷۶٫۴۱	۵۴٫۱۵
۲۵	۰٫۸۶۴۵	۷۱٫۳۲	۶۲٫۳۳
۲۶	۰٫۹۳۰۰	۹۴٫۶۴	۸۷٫۹۶
۲۷	۰٫۶۵۳۶	۶۹٫۴۷	۴۶٫۴۶
۳۷	۰٫۸۶۲۱	۹۳٫۰۲	۸۰٫۵۹
میانگین کل	۰٫۷۴۷۹	۸۳٫۱۳	۶۲٫۶۹

منبع: نتایج تحقیق

گروه دوم شامل شش کد فعالیت است. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که در این گروه فعالیت ۲۶ (تولید محصولات کانی غیرفلزی) و فعالیت ۲۳ (تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای) به ترتیب بیشترین و کمترین متوسط نسبت فراتکنولوژی و فعالیت ۲۶ و فعالیت ۲۷ (فلزات اساسی) نیز به ترتیب بیشترین و کمترین درصد متوسط کارایی گروهی را به خود اختصاص داده‌اند. در نهایت، فعالیت ۲۶ و ۲۳ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد متوسط کارایی فرامرزی‌اند.

۳.۲. گروه صنایع وابسته به صنعت ماشین‌آلات

جدول ۱۱. MTR، eff و Meta eff هر فعالیت در گروه سوم در طول دوره

کد فعالیت	MTR3	eff 3	Meta eff 3
۲۸	۰٫۹۱۶۵	۹۶٫۸۳	۸۸٫۶۸
۲۹	۰٫۹۱۳۲	۹۰٫۸۷	۸۲٫۸۶
۳۰	۰٫۹۲۴۵	۹۱٫۱۵	۸۴٫۲۰
۳۱	۰٫۹۳۷۴	۸۳٫۵۴	۷۸٫۲۶
۳۲	۰٫۹۵۳۴	۸۳٫۳۵	۷۹٫۵۳
۳۳	۰٫۹۰۹۳	۸۶٫۳۳	۷۸٫۲۲
۳۴	۰٫۹۴۳۰	۸۷٫۷۳	۸۲٫۹۲
۳۵	۰٫۹۴۱۶	۸۶٫۲۵	۸۱٫۲۵
۳۶	۰٫۹۱۶۳	۹۲٫۱۷	۸۴٫۳۴
میانگین کل	۰٫۹۲۸۴	۸۸٫۷۰	۸۲٫۲۵

منبع: نتایج تحقیق

گروه سوم شامل نه کد فعالیت است که در آن فعالیت ۳۲ (تولید رادیو و تلویزیون) و فعالیت ۳۳ (تولید ابزار پزشکی و ...) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین نسبت فراتکنولوژی‌اند و فعالیت‌های ۲۸ (محصولات فلزات فابریکی) و ۳۲ (تولید رادیو و تلویزیون) به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد متوسط کارایی گروهی‌اند. در نهایت، فعالیت‌های ۲۸ و ۳۳ به ترتیب بیشترین و کمترین درصد متوسط کارایی فرامرزی را در این گروه به خود اختصاص داده‌اند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از برازش توابع مرزی تصادفی در سه گروه منتخب، می‌توان نتیجه گرفت که از بین گروه‌ها، گروه سوم، یعنی گروه وابسته به صنعت و ماشین‌آلات، در طول سال‌های مورد بررسی از درصد متوسط کارایی گروهی و فرامرزی و متوسط نسبت فراتکنولوژی بالاتری نسبت به دو گروه دیگر برخوردار است. در بین ۲۳ فعالیت

مورد بررسی در قالب سه دسته، محصولات فلزات فابریکی و تولید منسوجات به ترتیب بیشترین و کمترین کارایی گروهی، تولید رادیو و تلویزیون و تولید زغال کک پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای به ترتیب بیشترین و کمترین نسبت فراتکنولوژی و محصولات فلزات فابریکی و دباغی نیز به ترتیب بیشترین و کمترین کارایی فرامرزی را به خود اختصاص دادند. از طرفی، حداکثر نسبت فراتکنولوژی (در برخی فعالیت‌ها و سال‌ها) در گروه دوم^۱ و سوم^۲ برابر با یک است؛ بدین معنا که توابع مرزی تصادفی گروه‌های مورد بررسی در برخی نقاط بر تابع فرامرزی مماس است و این نقاط تکنولوژی‌های بالقوه محسوب می‌شوند.

- نظر به نتایج برآوردی حاصل از به کارگیری مفهوم تابع فرامرزی، می‌توان پیشنهاد کرد به گسترش صنایع انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌های چاپ‌شده در گروه صنایع وابسته به کشاورزی و تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی در گروه صنایع وابسته به معادن و سوخت و تولید محصولات فلزی فابریکی در گروه صنایع وابسته به صنایع و ماشین‌آلات به لحاظ کارایی هزینه‌ای^۳ نسبتاً بالای آن‌ها توجه خاص صورت گیرد و به صنایعی همچون دباغی و عمل‌آوردن چرم (ساخت کیف و چمدان و زین و یراق و تولید کفش) در گروه کشاورزی و تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای در گروه معادن و سوخت و تولید ابزار پزشکی و اپتیکی و ابزار دقیق در گروه وابسته به صنعت و ماشین‌آلات نیز به لحاظ کارایی هزینه‌ای پایین توجه بیشتری شود.

- بخش کشاورزی شاهد نسبت فراتکنولوژی پایینی است، از این رو، پیشنهاد می‌شود، در راستای بهبود تکنولوژی و افزایش درآمد ملی، دولت در بخش‌های کم‌بازدهی که کشور در آن‌ها مزیت نسبی دارد مزیت‌های کافی ایجاد کند تا از طریق

۱. فعالیت ۲۶ تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (۱۳۷۶)، فعالیت ۳۷ بازیافت (۱۳۸۳، ۱۳۸۵)، فعالیت ۲۷ فلزات اساسی (۱۳۸۷)، فعالیت ۲۵ تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی (۱۳۸۹).
 ۲. فعالیت ۳۶ تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی‌نشده (۱۳۷۴، ۱۳۷۵)، فعالیت ۳۴ تولید وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم‌تریلر (۱۳۷۸، ۱۳۸۵)، فعالیت ۳۰ تولید ماشین‌آلات اداری و حسابگر و محاسباتی (۱۳۷۴)، فعالیت ۳۲ تولید رادیو و تلویزیون و وسایل ارتباطی (۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۸۳، ۱۳۸۹)، فعالیت ۳۳ تولید ابزار پزشکی و ... (۱۳۷۹).

کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و جذب سرمایه‌گذاری خارجی سبب کاهش شکاف تکنولوژی و افزایش کارایی در این بخش‌ها، به‌ویژه بخش کشاورزی، شود.

- برای تخصیص بهینه منابع در صنایع ایران، توجه هر چه بیشتر دولت به کاهش ضایعات مواد اولیه و ضایعات تولید، که معلول شکاف تکنولوژی است، ضروری است. مرتفع‌شدن این مشکلات با کاهش شکاف تکنولوژی در بخش‌های مختلف صنعت سبب افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های تولید، به‌ویژه در بخش کشاورزی، خواهد شد.

- بهبود تکنولوژی از طریق ارتقای فناوری‌های تولید و سیستم‌های کنترل و مونیتورینگ به هدف بهینه‌سازی مصرف عوامل تولید و یک‌پارچه‌سازی فرایندها در بخش صنایع فلزات اساسی می‌تواند در افزایش کارایی این بخش مفید واقع شود.

- پیشنهاد می‌شود در بخش تولید منسوجات برای افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها اصلاحات و نوسازی‌های لازم صورت پذیرد و ماشین‌آلات پیشرفته صنعتی جایگزین ماشین‌آلات فرسوده شود.

- با توجه به بالابودن کارایی در گروه وابسته به معدن، انرژی، و سوخت و وجود مزیت نسبی در صنایع نفت و پتروشیمی، توجه بیشتر به این صنایع برای جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و ایجاد زمینه‌های لازم در این صنایع ضروری است، زیرا سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نه‌تنها از جهت تأمین مالی فرایند تولید، بلکه به علت انتقال تکنولوژی و مدیریت نو و آسان‌سازی صدور کالاهای تولیدی ایران اهمیت بسیاری دارد.

منابع

۱. اسفنجاری کناری، رضا و زیبایی، منصور (۱۳۹۱). «بررسی کارایی فنی و شکاف تکنولوژی واحدهای پرورش مرغ تخم‌گذار ایران»، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۴، ۲۵۲ - ۲۶۰.
۲. امامی میبیدی، ع. (۱۳۸۴). اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری (علمی - کاربردی)، تهران: انتشارات مؤسسه مطالعات و پژوهش بازرگانی.

۳. رنجبر، همایون و رجبی، مصطفی (۱۳۸۸). «بررسی کارایی هزینه در بخش صنعت (مورد مطالعه: استان اصفهان)»، اولین همایش ملی اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر.
۴. رنجبر، همایون، رجبی، مصطفی و عباد سیچانی، عاطفه (۱۳۸۹). «عوامل مؤثر بر کارایی زیربخش‌های عمده صنعت ایران»، فصلنامه علوم اقتصادی، ۱۳، ۱۶۰ - ۱۷۳.
۵. زیبایی، منصور و جعفری ثانی، مریم (۱۳۸۷). «تعیین کارایی فنی و نسبت شکاف تکنولوژی در واحدهای تولید شیر ایران (مطالعه موردی: استان‌های آذربایجان، اصفهان، تهران، خراسان، فارس، یزد، کاربرد روش فرامرزی)»، فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۳، ۱۲۵ - ۱۳۹.
6. Aigner, D.J., Lovell, C.A. & Schmidt, K. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models, *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.
7. Aigner, D.J. & Chu S.F. (1986). On estimating the industry production function, *The American economic review*, 58(4): 826-839.
8. Battese, G.E. & Coeli, T.J. (1995). A model for Technical Inefficiency Effect in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data, *Journal of Empirical Economics*, 20, 325-332.
9. Battese, G.E. & Coelli, T.J. (1992). Frontier Production Function Technical Efficiency and Panel Data with Application to Paddy Farmers in India, *Journal of Productivity Analysis*, 3 (1-2): 153-169.
10. Battese G.E. & Coelli, T.J. (1988). Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and panel Data, *Journal of Econometrics*, 38, 387-399.
11. Battese, G.E. & Rao, D.S.P. (2002). Technology Gap, Efficiency, and a Stochastic Metafrontier Function, *International Journal of Business and Economics*, 2, 1-7.
12. Battese, G.E. Rao, D.S.P. & O'Donnell, C.J.A. (2004). Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating Under Different Technologies, *Journal of Productivity Analysis*, 21, 91-103.

13. Baure, P.W. (1977). Recent Development in the Econometric Estimation of Frontiers, *Journal of Econometrics*, 46, 39-56.
14. Bauer, P.W. (1990). Recent Developments in the Econometric Estimation of Frontiers, *Journal of Econometrics*, 49, 39-56.
15. Buttese, G.E. & Corra, G.S. (1977). Estimation of production Frontier Model: with Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia, *Australian Journal of Agricultural Economics*, 12, 169-179.
16. Carlsson, B. (1972). The Measurement of Efficiency in Production: An Application to Swedish Manufacturing Industries 1968, *The Swedish Journal of Economics*, 74(4): 468-485.
17. Chen, C.C., Yu-Ying Lin, E. & Chen, P.Y. (2013). Measuring the environmental efficiency of countries: A directional distance Function Metafrontier Approach, *Journal of Environmental Management*, 119, 134-142.
18. Cornwell, C., Schmidt, P. & Sickles, R.C. (1990). Production Frontiers with Cross- Sectional and Time- Series Variation in Efficiency Levels, *Journal of Econometrics*, 46(1/2): 185-200
19. Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of The Royal Statistical Society Series A, General*, 120, 235-280.
20. Forsand, F.R., Lovell, C.A.K. & Schmidt, P. (1980). A Survey of Frontiers Production Function and their Relationship to Efficiency Measurement, *Journal of Econometrics*, 13(1): 27-56.
21. Kumbhakar, S.C. (1990). Production Frontiers, Panel Data, and Time Varying Technical Inefficiency, *Journal of Econometrics*, 46(1-2): 201-212.
22. Lee, Y.H. & Schmidt, P.A. (1993). Production Frontier Model Flexible Temporal Variation in Technical Inefficiency, In Fried H.O., Lovell C.A.K., Schmidt S.S. (eds.), *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Application*, New York: Oxford University Press.
23. Meeusen W. & Van Den Broek, J. (1977). Efficiency estimation cobb-douglas production Function with composed error, *International Economic Review*, 18, 435-444.

24. Mehrabi Boshrabadi, H., Villano, R. & Fleming, E. (2010). When Is Metafrontier Analysis Appropriate? An Example of Varietal Differences in Pistachio Production in Iran, *J. Agr. Sci. Tech*, 12, 379-389.
25. Moreira, V.H. & Bravo-Ureta, B.E. (2010). Technical efficiency and metatechnology ratios for dairy farms in three southern cone countries: a stochastic metafrontier model, *J. Prod Anal*, 33, 33-45.
26. O'donnell, C.J., Rao, D.S.P. & Battese, G.E. (2008). Metafrontier Frameworks for the Study of Firm-Level Efficiencies and Technology Ratio, *Empirical Economics*, 34, 231-255.
27. Pitt, M. & Lee, L.F. (1981). The Measurement and Sources of Technical Inefficiency in the Indonesian Weaving Industry, *Journal of Development Economics*, 9, 43-64.
28. Schmidt, P. & Sickles, R.C. (1984). Production Frontiers and Panel Data, *Journal of Business and Economic Statistics*, 2, 367-374.
29. Schmidt, P. (1985-1986). Frontier Production Functions, *Journal of Econometric Reviews*, 4(2): 289-328.
30. Timmer, C.P. (1971). Using a Probabilistic frontier Production Function to Measure Technical Efficiency, *Journal of Political Economy*, 79, 776-794.