

عملکرد زیست محیطی کل عوامل تولید صنایع کارخانه‌ای ایران: رهیافت شاخص مالیم کوئیسیت غیرشعاعی فرامرزی

سمیه اعظمی^۱، لطیف پور کریمی^۲، سحر صدری^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۵

چکیده

هدف این مطالعه سنجش تغییرات بهره‌وری زیست محیطی کل عوامل تولید صنایع کارخانه‌ای ایران با کد دو رقمی در فاصله زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۳ است. بدین منظور شاخص بهره‌وری زیست محیطی مالیم کوئیسیت غیرشعاعی فرامرزی (MNMCPi) که ناهمگنی‌های تکنولوژیکی میان صنایع را در نظر می‌گیرد استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد MNMCPi طی دوره مطالعه به‌طور متوسط رشد داشته است و بیشترین رشد در گروه صنایع با فناوری متوسط مشاهده می‌شود؛ همچنین هر سه شاخص تغییر کارایی فنی (EC)، تغییر بهترین شکاف عملی (BPC) و تغییر شکاف تکنولوژی (TGC) به عنوان اجزای شاخص MNMCPi به‌طور متوسط رشد داشته‌اند. در گروه صنایع با فناوری متوسط شاخص TGC و در گروه صنایع با فناوری بالا و صنایع با فناوری پایین شاخص BPC (اثر ابداعات) بیشترین تأثیر را در رشد MNMCPi دارد. در کل صنایع کارخانه‌ای ایران شاخص BPC بیشترین اثر را بر رشد MNMCPi دارد. بیشترین رشد شاخص EC در گروه صنایع با فناوری پایین و بیشترین رشد شاخص BPC و TGC در گروه صنایع با فناوری متوسط مشاهده می‌شود. مطابق با شاخص TGC گروه صنایع با فناوری متوسط پیشتاز در تکنولوژی قلمداد می‌شود. مطابق با تحلیل رگرسیون، شدت انرژی تأثیر منفی و معنی‌دار و مخارج تحقیق و توسعه تأثیر مثبت و معنی‌دار بر بهره‌وری زیست محیطی دارند.

۱. استادیار، دانشگاه رازی، دانشکده علوم اجتماعی و تربیتی، گروه اقتصاد (نویسنده مسئول)

Email: sazami_econ@yahoo.com

Email: lp_karimi@yahoo.com

Email: sadri.s2022@yahoo.com

۲. استادیار، دانشگاه رازی، دانشکده علوم، گروه ریاضی

۳. کارشناس ارشد اقتصاد، دانشگاه رازی

واژه‌های کلیدی: تابع فاصله جهت‌دار غیرشعاعی، ناهمگنی گروهی، شاخص بهره‌وری زیست محیطی مالم کوئیسیت غیر شعاعی فرامرزی، صنایع کارخانه‌ای ایران.
طبقه‌بندی JEL: C₆₁، D₂₄، Q₄₃، Q₅₄

۱. مقدمه

فرسایش زیست محیطی یکی از اثرات عمده جانبی رشد اقتصادی است. مفهوم توسعه پایدار ابتدا در سال ۱۹۸۷ در نشست جهانی محیط زیست و توسعه مطرح شد. این نشست نخستین تعریف رسمی توسعه پایدار را چنین عنوان کرد: "توسعه‌ای که نیازهای امروز را بدون از بین بردن توانایی نسل‌های آینده در تأمین نیازهایش برآورده می‌کند". با توجه به نقش کلیدی موضوعات انرژی و محیط زیست (E&E) در توسعه پایدار، علاقه فزاینده‌ای به مدل‌سازی انرژی و محیط زیست در میان محققین ایجاد شده است. در سال‌های اخیر در کشور ایران نیز موضوعات زیست محیطی بیش از گذشته مورد توجه سیاست‌گذاران و مردم قرار گرفته است. آلودگی از جمله فاکتورهای مؤثر بر کیفیت محیط زیست است که عمدتاً ناشی از مصرف انرژی‌های فسیلی (گازوئیل، نفت کوره و بنزین) است: NO_x ، SO_2 ، SO_3 ، CO ، SPM ، CO_2 ، CH_4 ، N_2O . انرژی در بخش‌های خانگی، تجاری و عمومی، کشاورزی، حمل و نقل و صنعت به‌صورت نهایی و در بخش‌های پالایشگاهی و نیروگاهی به‌صورت واسطه مصرف می‌شود. میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از تولید و مصرف انرژی کشور در سال ۱۳۹۳ در جدول (۱) گزارش شده است.

جدول ۱. میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از تولید و مصرف انرژی کشور در سال ۱۳۹۳ (تن)

بخش گاز	NO _x	SO ₂	SO ₃	CO	SPM	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
مصرف نهایی انرژی	۱۳۲۲۳۱۶	۳۲۴۶۳۳	۱۰۴۲۵	۹۱۱۷۸۱۶	۳۸۲۴۸۷	۳/۸۹*۱۰ ^۸	۵۵۳۸۴	۱۰۸۵۴
خانگی، تجاری و عمومی	۱۱۵۳۷۱	۳۷۵۰۵	۳۹۷	۴۸۰۸۳	۱۱۲۰۵	۱۳۷۲۶۹۷۵۷	۴۱۶۸	۵۲۲
صنعت	۱۷۳۱۲۹	۱۷۲۷۱۵	۲۵۳۰	۲۱۹۴۵	۱۷۷۹۳	۱۰۰۳۹۲۶۶۹	۲۱۳۸	۲۷۹
حمل و نقل	۹۷۹۸۱۲	۵۸۸۹۴	۷۱۵۸	۹۰۳۵۵۵۴	۳۲۹۸۸۵	۱۵۰۱۷۳۴۲۲	۴۸۴۸۸	۶۲۹۱
کشاورزی	۵۴۰۰۴	۵۵۵۱۹	۳۴۰	۱۲۲۳۴	۲۳۶۰۴	۱۲۴۷۴۸۵	۵۹۰	۳۷۶۲
مصرف بخش انرژی	۶۵۱۶۱۰	۶۲۷۹۳۴	۴۵۸۶	۱۷۷۶۶۰	۳۱۱۰۵	۲۰۱۹۵۶۷۱۳	۴۷۱۹	۷۰۹
پالایشگاهی	—	—	—	—	—	۲۴۲۱۱۸۰۰	۴۷۶	۵۵
نیروگاهی	۶۵۱۶۱۰	۶۲۷۹۳۴	۴۵۸۶	۱۷۷۶۶۰	۳۱۱۰۵	۱۷۷۷۴۴۹۱۳	۴۲۴۳	۶۵۴
جمع	۱۹۷۳۹۲۶	۱۴۸۲۵۷۷	۱۵۰۱۱	۹۲۹۵۴۷۶	۴۱۳۵۹۲	۶۰۲۲۶۷۳۷۶	۶۰۱۰۲	۱۱۴۷۳

مأخذ: ترازنامه انرژی ۱۳۹۳

- مقادیر در دسترس نمی‌باشد.

مطابق با جدول (۱)، بخش صنعت در ایران به عنوان یکی از بخش‌های کلیدی در تولید CO₂ محسوب می‌شود. قسمت عمده انرژی مورد نیاز بخش صنعت به‌عنوان یکی از بخش‌های اساسی در فرآیند توسعه را سوخت‌های فسیلی تشکیل می‌دهد. یکی از راهکارهای کاهش انتشار آلاینده‌ها در بخش صنعت بهبود کارایی زیست محیطی است. کارایی زیست محیطی که به عنوان کارایی اکولوژی نیز شناخته می‌شود، ترکیبی از کارایی اقتصادی و اکولوژیکی است. در تعریف سنتی، کارایی تولید کالاها و خدمات بیشتر به ازای منابع معین و مشخص است اما در تعریف جدید و پیشرفته، کارایی تولید کالاها و خدمات بیشتر همراه با انتشار آلاینده کمتر به ازای منابع معین و مشخص است. بنابراین، کارایی زیست محیطی بر استفاده کارا از منابع و ایجاد آلودگی کمتر تمرکز دارد.

در میان طیف وسیعی از تکنیک‌های مدل‌سازی E&E، تکنیک تابع فاصله^۱ بسیار مورد توجه است (ژانگ و چوی^۲، ۲۰۱۴). یک دلیل آن است که این تکنیک می‌تواند همزمان خروجی مطلوب و نامطلوب را مدل‌سازی کند. در این مطالعه با استفاده از روش "شاخص بهره‌وری زیست محیطی مالم کوئیست غیر شعاعی فرامرزی (MNMCIPI)^۳" تغییرات بهره‌وری زیست محیطی صنایع کارخانه‌ای ایران و اجزای این تغییرات (تغییر کارایی فنی^۴، تغییر بهترین شکاف عملی^۵ و تغییر شکاف تکنولوژی^۶) برآورد می‌شود. همچنین با تجزیه و تحلیل رگرسیونی به بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات بهره‌وری زیست محیطی صنایع پرداخته می‌شود.

ساختار مقاله حاضر در پنج بخش تنظیم شده است. در ادامه و در بخش دوم ادبیات موضوع مطرح می‌گردد. روش‌شناسی تحقیق و یافته‌های تحقیق به ترتیب موضوع بخش سوم و چهارم است. در پایان نتیجه‌گیری تحقیق بیان می‌شود.

۲. ادبیات موضوع

کارایی یک مفهوم نسبی است که با مقایسه عملکرد واقعی و عملکرد ایده آل بدست می‌آید. می‌توان بیان کرد که کارایی به نحوه بهره‌گیری از منابع توجه دارد و میزان استفاده مفید از منابع را نشان می‌دهد (یوسفی حاجی‌آباد، ۱۳۹۵). برای ارزیابی یک بنگاه، ابتدا باید مرز کارایی بنگاه شناسایی شود و بر مبنای فاصله بنگاه از وضعیت ایده‌آل، میزان عدم کارایی و به تبع آن کارایی مشخص شود. برای حل این مسئله، دو رویکرد عمده وجود دارد؛ رهیافت پارامتریک و رهیافت ناپارامتریک. در رهیافت پارامتریک می‌توان به روش

-
1. Distance Function
 2. Zhang and Choi
 3. Meta-Frontier Non-Radial Malmquist CO2 Emission Performance Index
 4. Technical Efficiency Change
 5. Best-Practice Gap Change
 6. Technology Gap Change

تابع مرزی تصادفی (SFA)^۱ و در رهیافت ناپارامتریک به تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^۲ اشاره کرد.

در سال‌های اخیر، با توجه به اهمیت مقوله "توسعه پایدار" جنبه دیگری از کارایی با عنوان "کارایی زیست محیطی" مطرح شد. کارایی زیست محیطی به مفهوم تولید کالا و خدمات بیشتر به ازای نهاده‌های معین همراه با CO₂ کمتر است؛ در واقع کارایی زیست محیطی بر استفاده کارا از منابع و ایجاد آلودگی کمتر تمرکز دارد.

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان ستانده نامطلوب را الگوسازی کرد؟ در میان طیف وسیعی از تکنیک‌های مدل‌سازی E&E، تابع فاصله مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. دو نوع تابع فاصله به‌طور وسیعی در مطالعات E&E به کار رفته است؛ تابع فاصله‌ای شفارد^۳ و تابع فاصله‌ای جهت‌دار (DDF)^۴. تابع فاصله‌ای شفارد خروجی مطلوب (تولید کالا) و نامطلوب (آلودگی) را به‌طور متناسبی افزایش می‌دهد و بنابراین امکان کاهش خروجی نامطلوب (همراه با افزایش خروجی مطلوب) در این روش وجود ندارد. مزیت عمده تابع فاصله جهت‌دار (DDF) به عنوان یک رهیافت نسبتاً جدید و جذاب در مدل‌سازی E&E آن است که می‌تواند خروجی مطلوب را افزایش و به‌طور همزمان نهاده انرژی و خروجی نامطلوب را کاهش دهد. تابع فاصله جهت‌دار را می‌توان به دو روش تخمین زد: روش ناپارامتریک DEA و روش پارامتریک. روش DEA بر برنامه‌ریزی ریاضی و ساخت ترکیب خطی دقیق از همه نهاده‌ها و ستانده‌های مشاهده شده استوار است. مزیت عمده روش DEA آن است که نیازی به مشخص نمودن شکل تبعی تکنولوژی نیست و بنابراین، در این روش می‌توان به سادگی کارایی و بهره‌وری را تخمین زد.

-
1. Stochastic Frontier Approach
 2. Data Envelopment Analysis
 3. Shephard Distance Function
 4. Directional Distance Function

سؤال دیگر آن است شاخص بهره‌وری چگونه سنجش می‌شود؟ شاخص بهره‌وری مالم کوئیست (MPI)^۱ در سال ۱۹۵۳ توسط استن مالم کوئیست با عنوان شاخص استاندارد زندگی معرفی و سپس در سال ۱۹۸۲ توسط کیوز و همکاران^۲ برای اولین بار در نظریه تولید به کار گرفته شد. فار و همکاران^۳ (۱۹۸۹) برای محاسبه شاخص بهره‌وری مالم کوئیست از روش DEA استفاده کردند و در سال ۱۹۹۴ این شاخص را به دو عامل تغییر در کارایی و تکنولوژی تجزیه کردند. شاخص MPI خروجی نامطلوب را در نظر نمی‌گیرد و از این روی چانگ و همکاران^۴ (۱۹۹۷) شاخص بهره‌وری مالم کوئیست - لیونبرگر (MLPI)^۵ را پیشنهاد دادند که در آن تولیدات نامطلوب در نظر گرفته می‌شود. آنها برای اولین بار روش DDF را که توسط چمبرز و همکاران^۶ (۱۹۹۶) معرفی شده بود برای بررسی کارایی زیست محیطی به کار بردند. برخلاف چانگ و همکاران (۱۹۹۷)، ژو و همکاران^۷ (۲۰۱۰) بر اساس تابع فاصله‌ای شفارد کربن، شاخص MCPI^۸ و مفهوم عملکرد زیست محیطی کل عوامل تولید (TFCP) را معرفی کردند. دو اشکال جدی به شاخص MCPI وارد است: یکی برآورد بیش از حد کارایی و دیگری یکسان فرض کردن تکنولوژی تولید همه واحدهای تصمیم‌گیری^۹ (DMU). به منظور غلبه بر این دو اشکال، ژانگ و چوی (الف ۲۰۱۳) تابع فاصله جهت‌دار غیرشعاعی^{۱۰} (NDDF) را جایگزین تابع فاصله‌ای شفارد کردند و شاخص MNMCPI را ساختند که شرایط را برای در نظر گرفتن ناهمگنی‌های گروهی فراهم می‌کند. ژانگ و چوی (الف ۲۰۱۳) برای بررسی بهره‌وری زیست محیطی در نیروگاه‌های سوخت فسیلی در چین از شاخص مالم کوئیست غیرشعاعی

1. Malmquist Productivity Index
2. Caves et al.
3. Fare et al.
4. Chung et al.
5. Malmquist Luenberger Productivity Index
6. Chambers et al.
7. Zhou et al.
8. Malmquist CO2 Emission Performance Index
9. Decision Maker Unit
10. Non-Radial Directional Distance Function

فرامرزی (MNMCPPI) در فاصله زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۵ استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد بهبود بهره‌وری زیست محیطی در فاصله زمانی ۲۰۰۶-۲۰۰۵ در اثر افزایش کارایی و در فاصله ۲۰۱۰-۲۰۰۸ به علت پیشرفت تکنولوژی بوده است. ژانگ و چوی (ب ۲۰۱۳) با استفاده از شاخص MNMCPPI تغییرات بهره‌وری زیست محیطی نیروگاه‌های سوخت فسیلی دولتی چین و کره را طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار دادند. نیروگاه‌های کره بهبود در نوآوری را نشان می‌دهند درحالی‌که نیروگاه‌های چین توانایی بالایی در برتری و رهبری تکنولوژیکی دارند.

پیکازو-تادئو و همکاران^۱ (۲۰۱۴) با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و توابع فاصله‌ای جهت‌دار به ارزیابی عملکرد زیست محیطی کشورهای اتحادیه اروپا در انتشار گازهای گلخانه‌ای در فاصله زمانی ۲۰۱۱-۱۹۹۰ پرداخته‌اند. نتیجه عمده این مطالعه حاکی از آن است که تغییرات فنی زیست محیطی در مقایسه با کارایی اقتصادی تأثیر بیشتری بر بهره‌وری زیست محیطی در این کشورها دارد.

فن و همکاران^۲ (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص مال‌کوئیست لیونبرگر عمومی (GML) نشان می‌دهند بهره‌وری زیست محیطی در ۳۲ صنعت شانگهای چین طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۴ بهبود داشته است و پیشرفت فنی در مقایسه با افزایش کارایی عامل مهمتری در افزایش بهره‌وری زیست محیطی بوده است. مطابق با تحلیل رگرسیون، افزایش شدت تحقیق و توسعه (R&D)، بهینه‌سازی ساختار مصرف انرژی، بهبود در بهره‌وری انرژی و نیروی کار بر افزایش بهره‌وری زیست محیطی مؤثر بوده است.

لین و دو^۳ (۲۰۱۵) با هدف بررسی پویایی‌های بهره‌وری زیست محیطی در ۳۰ استان چین و با استفاده از شاخص مال‌کوئیست در دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۰ نشان دادند بین بهره‌وری زیست محیطی مناطق مختلف تفاوت وجود دارد؛ منطقه شرق چین به دلیل تغییرات

1. Picazo-Tadeo et al
2. Fan et al
3. Lin & Du

تکنولوژی و منطقه مرکزی به دلیل تغییرات کارایی به ترتیب بیشترین بهره‌وری زیست محیطی را داشته‌اند. بهره‌وری زیست محیطی در منطقه غرب رو به کاهش بوده است.

ژانگ و وی^۱ (۲۰۱۵) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص زیست محیطی لیونبرگر غیرشعاعی به بررسی پویایی‌های بهره‌وری زیست محیطی در بخش حمل و نقل چین در فاصله ۲۰۱۲-۲۰۰۰ می‌پردازند. ژانگ و وی (۲۰۱۵) عنوان می‌کنند رشد بهره‌وری زیست محیطی در بخش حمل و نقل چین اساساً توسط پیشرفت تکنولوژی بوده است. نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) نشان می‌دهد بهره‌وری زیست محیطی در تمام هشت دوره دو ساله (۲۰۰۳-۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰-۲۰۰۹) کاهش یافته است و اگرچه سیاست‌ها در جهت پیشرفت در صنعت حمل و نقل قرار گرفته است اما به دلیل عدم توجه به استفاده از سوخت‌های کم کربن بهره‌وری زیست محیطی کاهش یافته است.

ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از شاخص بهره‌وری زیست محیطی کلی غیرشعاعی (NGMCPI)^۲ نشان می‌دهند بهره‌وری زیست محیطی در ۳۸ بخش صنعتی چین طی دهه ۱۹۹۰ اساساً توسط تغییرات کارایی و در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۰ به وسیله بهبود نوآوری تحت تأثیر قرار گرفته است.

لین و تان^۳ (۲۰۱۶) با استفاده از شاخص بهره‌وری زیست محیطی مالم کوئیست فرامرزی (MMCP)^۴ نشان می‌دهند بهره‌وری زیست محیطی صنایع انرژی بر در چین طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۰ تحت تأثیر سه عامل تغییرات کارایی فنی، تغییرات تکنولوژی و تلاش برای جبران عقب‌افتادگی افزایش یافته است. سطح تکنولوژی در هر سه بخش (شرق، غرب و مرکز) بهبود داشته است و صنایع انرژی بر در منطقه شرق پایین‌ترین پتانسیل کاهش انتشار CO₂ را دارند.

1. Zhang & Wei

2. Non-radial Global Malmquist Carbon Emissions Performance Index

3. Lin & Tan

4. Metafrontier Malmquist CO₂ Emissions Performance Index

یو و همکاران^۱ (۲۰۱۷) با استفاده از شاخص مال‌کوئیس‌لیونبرگر فرامرزی همزمان (CMML)^۲ به مطالعه این موضوع پرداختند که آیا با وجود مقررات در دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۰، صنعت حمل و نقل منطقه‌ای چین از بهره‌وری زیست محیطی بالاتری برخوردار شده است؟ یافته‌ها نشان می‌دهد به‌طور کلی بهره‌وری زیست محیطی افزایش یافته است. منطقه شرقی چین بالاترین نرخ رشد بهره‌وری زیست محیطی را داشته را دارد که از تغییر کارایی به دست آمده است. در منطقه مرکزی چین بهبود بهره‌وری زیست محیطی در اثر نوآوری در تکنولوژی کم‌کربن بوده است. منطقه غرب چین در هیچ‌کدام از شاخص‌های تجزیه شده شاخص بهره‌وری زیست محیطی کل عوامل، بهبود قابل توجهی نداشته است و کاملاً ضعیف عمل کرده است پس نیاز به مداخله دولت برای افزایش رشد سبز است.

در ایران نیز مطالعاتی در زمینه بهره‌وری زیست محیطی انجام شده است که در ادامه مطرح می‌گردد. رضایی و همکاران (۱۳۹۱) در کشورهای منتخب وارد کننده و صادر کننده منابع انرژی فسیلی با استفاده از تابع فاصله جهت‌دار و استفاده از شاخص کارایی و بهره‌وری زیست محیطی، بهره‌وری زیست محیطی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد در فاصله زمانی ۲۰۰۷-۱۹۹۷ بهره‌وری زیست محیطی در کشورهای وارد کننده رشد بیشتری داشته است.

امامی میبدی و جایدری (۱۳۹۳) زیست کارایی پالایشگاه‌های نفت ایران را در دوره ۱۳۸۲-۱۳۸۸ مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این تحقیق با استفاده از روش DEA خروجی محور و با در نظر گرفتن خروجی نامطلوب، زیست کارایی محاسبه شده است. نتایج نشان داده است که پالایشگاه بندرعباس به دلیل مجهز بودن به تجهیزات نفت خام سنگین از نظر زیست کارایی، کاراترین پالایشگاه و پالایشگاه تهران جزء ناکاراترین پالایشگاه‌های کشور است.

1. Yu et al.

2. Contemporaneous Metafrontier Malmquist-Luenberger Carbon Emission Performance Index

شهیکی تاش و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت‌دار در دوره زمانی ۱۳۸۹-۱۳۸۲ به بررسی کارایی زیست محیطی و فنی در صنایع انرژی بر (تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶ طبقه‌بندی ISIC) و تولیدات فلزات اساسی (کد ۲۷ طبقه‌بندی ISIC)) پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که محصولات کانی غیر فلزی اگرچه از نظر فنی کاراتر هستند اما از کارایی زیست محیطی کمتری برخوردارند و با تغییر شیوه تولید بدون کاهش در محصول می‌توانند میزان آلاینده‌گی خود را کم کنند.

پارسا و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از تابع فاصله در استان‌های ایران طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۵ نشان می‌دهند بهره‌وری زیست محیطی عوامل تولید به علت کاهش در کارایی فنی زیست محیطی کاهش یافته است. کارایی فنی زیست محیطی (ETEC) در مقایسه با تغییرات در فناوری زیست محیطی (ETC) بیشترین تأثیر را در تغییرات زیست محیطی عوامل تولید (ETFPC) دارد.

مولائی و ثانی (۱۳۹۴) نشان می‌دهند مقدار متوسط کارایی در بخش کشاورزی ایران در دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۷۱ بدون در نظر گرفتن آلاینده‌ها ($CO_2, CO, CH_4, NO_x, SO_2$) ۰/۹۸ است و با لحاظ آلاینده‌های زیست محیطی این مقدار به ۰/۷۲ می‌رسد که نسبت به حالت قبل کمتر است؛ یعنی بدون لحاظ آلاینده‌های زیست محیطی مقدار کارایی زیست محیطی بیشتر از مقدار واقعی آن نشان داده شده است.

فتحی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل ناپارامتریک ایستا و پویا طی دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۱ و استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در کشورهای در حال توسعه منتخب، کارایی زیست محیطی را بررسی کردند و به این نتایج دست یافتند که بهبود کارایی انرژی در کشورهای منتخب عمدتاً از طریق بهبود تکنولوژی اتفاق می‌افتد.

اسماعیلی و محسن پور (۱۳۹۴) بهره‌وری زیست محیطی نیروگاه‌های ایران را در دوره ۱۳۸۴-۱۳۶۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد سطح کارایی تکنیکی بدون در نظر گرفتن آلاینده‌ها در سال ۱۳۷۹ و با در نظر گرفتن آلاینده‌ها در سال ۱۳۶۶ کمترین مقدار را داشته است. همین‌طور از آنجا که رشد کارایی تکنیکی بالا بوده

است، شاخص مالم کوئیست تنها اثرات تغییرات تکنولوژیکی را منعکس می‌کند و بیشترین رشد بهره‌وری در دهه ۱۳۷۰ اتفاق افتاده است.

ممی پور و نجف‌زاده (۱۳۹۵) برای ارزیابی کارایی زیست محیطی ۱۶ شرکت برق منطقه‌ای ایران در دوره ۱۳۸۹-۱۳۹۳ از مدل‌های تحلیل پوششی شعاعی و غیر شعاعی استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داده است که شرکت‌های برق منطقه‌ای کرمان و خوزستان بهترین عملکرد و شرکت‌های برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان و فارس بدترین عملکرد را در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای دارند. نجف‌زاده و ممی پور (۱۳۹۵) به سنجش عملکرد زیست محیطی ۱۵ شرکت برق منطقه‌ای با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در فاصله زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۳ با تأکید بر تغییرات تکنولوژی پرداخته‌اند. نتایج حاکی از آن است که شرکت‌های برق منطقه‌ای اصفهان، کرمان، گیلان بالاترین کارایی و شرکت‌های برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان و کیش کمترین کارایی را در بین شرکت‌ها داشته‌اند. همچنین شرکت‌های اصفهان، آذربایجان، خوزستان و مازندران بیشترین پسرفت تکنولوژی را در این مدت داشته‌اند.

در این مطالعه به منظور سنجش بهره‌وری زیست محیطی در صنایع کارخانه‌ای ایران با کد دو رقمی برای اولین بار از شاخص MNMCPI استفاده شده است. این شاخص ناهمگنی میان صنایع را از نظر سطح فناوری در نظر می‌گیرد. شاخص MNMCPI به سه جزء EC، BPC و TGC تجزیه می‌شود، این در حالی است که تکنیک‌های بکار رفته در مطالعات داخلی از شاخص‌های بهره‌وری زیست محیطی که به دو جزء تفکیک می‌شود استفاده کرده است.

۳. روش تحقیق

۳-۱. تکنولوژی تولید زیست محیطی

فرض کنید هر واحد تولیدی سرمایه (K)، نیروی کار (L) و انرژی (E) را به عنوان نهاده برای تولید ستانده مطلوب (Y) و ستانده نامطلوب (C) به کار می‌گیرد. تکنولوژی تولید در حالت کلی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$T = \{(K, L, E, Y, C); K, L, E \text{ می‌تواند } Y \text{ و } C \text{ را تولید کند}\} \quad (1)$$

فرض می‌شود تکنولوژی تولید اصول موضوعه استاندارد نظریه تولید را بر آورده می‌کند (فار و گراسکوپ، ۲۰۰۵). T یک مجموعه بسته است و با ورودی‌های محدود تنها می‌توان خروجی‌های محدود را تولید کرد. علاوه بر این، بکارگیری نهاده‌ها (ورودی)، تولیدات (خروجی) مطلوب را همراه با تولیدات نامطلوب فراهم می‌آورد. برای آنکه مدل‌سازی مجموعه امکانات تولیدی منطقی باشد لازم است فرض‌های زیر رعایت شود:

(۲)

- (i) If $(K, L, E, Y, C) \in T$ and $0 \leq \theta \leq 1$, then $(K, L, E, \theta Y, \theta C) \in T$,
- (ii) If $(K, L, E, Y, C) \in T$ and $C = 0$, then $E = 0$

فرض i بیان می‌کند هزینه فرصت کاهش خروجی نامطلوب معادل کاهش خروجی مطلوب است. مطابق با فرض ii خروجی نامطلوب همراه با خروجی مطلوب تولید می‌شود. بنابراین، اگر تولید نامطلوب به صفر کاهش یابد تولید مطلوب نیز به صفر کاهش می‌یابد. در ادامه با استفاده از تکنیک DEA به تصریح مرز تولید پرداخته می‌شود. تکنولوژی تولید زیست محیطی را برای N واحد تصمیم‌گیری با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد (ژو و همکاران، ۲۰۱۲):

(۳)

$$T = \left\{ (K, L, E, Y, C) : \sum_{n=1}^N z_n K_n \leq K, \sum_{n=1}^N z_n L_n \leq L, \right. \\ \left. \sum_{n=1}^N z_n E_n \leq E, \sum_{n=1}^N z_n Y_n \geq Y, \sum_{n=1}^N z_n C_n = C, z_n \geq 0, n = 1, 2, \dots, N \right\}$$

Z_n شدت تأثیر گذاری DMU n ام در تعیین تصویر کارا برای DMU تحت ارزیابی

است.

۲-۳. تابع فاصله جهت‌دار غیر شعاعی (NDDF)

برای ارزیابی یک DMU باید فاصله آن تا مرز مجموعه T در رابطه (۳) محاسبه شود. اگر این DMU روی مرز مجموعه کارا باشد، کارا است و در غیر این صورت ناکارا است. برای محاسبه DMU تحت ارزیابی تا مرز کارا از NDDF استفاده می‌شود. برخلاف روش شعاعی که در آن همه ورودی‌ها یا افزایش همه خروجی‌ها به نسبت یکسان صورت می‌گیرد، در روش غیر شعاعی مبتنی بر NDDF هر ورودی و یا خروجی به نسبت خاصی کاهش و یا افزایش می‌یابد. با این فرض که DMU تحت ارزیابی به صورت (K, L, E, Y, C) است، مدل مربوطه به شکل زیر است:

$$\begin{aligned} \bar{D}(K, L, E, Y, C : g) = \max w_K \beta_K + w_L \beta_L + w_E \beta_E + w_Y \beta_Y + w_C \beta_C \\ \text{s.t. } \sum_{n=1}^N z_n K_n \leq K_{n'} - \beta_K g_K \\ \sum_{n=1}^N z_n L_n \leq L_{n'} - \beta_L g_L \\ \sum_{n=1}^N z_n E_n \leq E_{n'} - \beta_E g_E \\ \sum_{n=1}^N z_n Y_n \geq Y_{n'} - \beta_Y g_Y \\ \sum_{n=1}^N z_n C_n = C_{n'} - \beta_C g_C \\ z_n \geq 0, n = 1, 2, \dots, N \\ \beta_K, \beta_L, \beta_E, \beta_Y, \beta_C \geq 0 \end{aligned} \quad (۴)$$

که در آن $W = (w_K, w_L, w_E, w_Y, w_C)^T$ یک بردار وزنی نرمال شده است که در

مقادیر ورودی و خروجی ضرب می‌شود. این وزن‌ها میزان اهمیت ورودی و خروجی را در رسیدن به مرز کارا نشان می‌دهد. $g = (-g_K, -g_L, -g_E, g_Y, -g_C)$ بردار جهت است و جهت رسیدن به مرز کارا را نشان می‌دهد. علامت منفی در این بردار به کاهش در نهاده‌ها یا محصولات نامطلوب اشاره دارد. $\beta = (-\beta_K, -\beta_L, -\beta_E, \beta_Y, -\beta_C)^T \geq 0$ بردار مقیاسی است و بیانگر آن است که در جهت مؤلفه به چه میزان حرکت می‌کنیم (ژانگ و چوی، الف ۲۰۱۳).

اگر $\bar{D}(K, L, E, Y, C : g) = 0$ باشد بدان مفهوم است که واحد تحت ارزیابی کارا است. بر اساس معادله (۵) می‌توان شاخص بهره‌وری را تعریف نمود. نسبت شدت انتشار بالقوه کربن به شدت انتشار واقعی کربن به عنوان شاخص عملکرد زیست محیطی کل عوامل (TCPI)^۱ تعریف و به صورت زیر فرموله می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۱۲).

$$TCPI = \frac{(C - \beta_C^* C) / (Y + \beta_Y^* Y)}{C / Y} = \frac{1 - \beta_C^*}{1 + \beta_Y^*} \quad (5)$$

که در آن β_C^* و β_Y^* از جواب بهینه مدل (۴) بدست می‌آیند. TCPI در معادله (۵) بیشترین شدت کاهش ممکن کربن را اندازه‌گیری می‌کند و می‌تواند کارایی واحد تصمیم‌گیری را در طول یک دوره زمانی اندازه‌گیری کند.

۳-۳. شاخص عملکرد زیست محیطی غیرشعاعی فرامرزی (MNMCI)

ژانگ و چوی (الف ۲۰۱۳) و ژانگ و چوی (ب ۲۰۱۳) یک شاخص عملکرد زیست محیطی مالم کوئیست غیرشعاعی فرامرزی را برای اندازه‌گیری پویای عملکرد زیست محیطی کل عوامل پیشنهاد دادند. تجزیه MNMCI اطلاعات مفیدی در مورد فاکتورهایی که تغییرات TCPI را فراهم می‌کنند، در اختیار سیاست‌گذار قرار می‌دهد. سه تعریف از تکنولوژی تولید زیست محیطی برای تعریف و تجزیه شاخص عملکرد زیست

1. Total Factor CO2 Emission Performance Index

محیطی غیرشعاعی فرامرزی مورد نیاز است؛ تکنولوژی تولید همزمانی^۱، تکنولوژی تولید بین دوره‌ای^۲ و تکنولوژی تولید کلی^۳. تکنولوژی تولید همزمانی گروه R_h به صورت $\{K^t, L^t, E^t, Y^t, C^t\}$ می‌تواند Y^t و C^t تولید کند؛ $T_{R_h}^c = \{(K^t, L^t, E^t, Y^t, C^t)\}$ تعریف می‌شود، که $t = 1, \dots, T$. این همان تکنولوژی تولیدی توصیف شده در رابطه (۳) برای گروه ویژه R_h و برای یک زمان ویژه t است. تکنولوژی تولید زیست محیطی بین دوره‌ای گروه R_h به صورت $T_{R_h}^I = T_{R_h}^1 \cup T_{R_h}^2 \cup \dots \cup T_{R_h}^T$ تعریف می‌شود. مجموعه تکنولوژی بین دوره‌ای پوشی از همه مجموعه‌های تکنولوژی یک گروه ویژه است. مجموعه تکنولوژی کلی پوشی از همه تکنولوژی‌های بین دوره‌ای است ($T^G = T_{R_1}^I \cup T_{R_2}^I \cup \dots \cup T_{R_H}^I$). MNMCPI تغییر TCPI را بین دو دوره t و $t+1$ بر روی مرز کلی اندازه‌گیری می‌کند. می‌توان NDDF تعریف شده را بر پایه این سه تکنولوژی تعریف کرد. به منظور محاسبه و تجزیه MNMCPI باید شش NDDF را حل کرد (با توجه به تعریف سه مرز و نیز در نظر گرفتن دو دوره زمانی t و $t+1$ برای هر مرز، شش مرز در مجموع قابل تعریف است و شش NDDF را باید حل کرد):

-
1. Contemporaneous Production Technology
 2. Intertemporal Production Technology
 3. Global Production Technology

$$\begin{aligned} \bar{D}^d(K^s, L^s, E^s, Y^s, C^s; g) = & \max w_K \beta_K^d + w_L \beta_L^d + w_E \beta_E^d + w_Y \beta_Y^d + w_C \beta_C^d \\ \text{s.t. } \sum_{con} z_n^s K_n^s \leq & K_{n'} - \beta_K^d g_K \\ \sum_{con} z_n^s L_n^s \leq & L_{n'} - \beta_L^d g_L \\ \sum_{con} z_n^s E_n^s \leq & E_{n'} - \beta_E^d g_E \\ \sum_{con} z_n^s Y_n^s \geq & Y_{n'} - \beta_Y^d g_Y \\ \sum_{con} z_n^s C_n^s = & C_{n'} - \beta_C^d g_C \\ z_n^s \geq 0, \beta^d \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

که $d \equiv (C, I, G)$ ، $s = t, t+1$ و $\{ \theta_h \}_t$ با حل NDDF ها می‌توان شش TCPI را مطابق با رابطه (۵) استخراج کرد:

(۷)

$$TCPI^d(K^s, L^s, E^s, Y^s, C^s) = \left[\frac{(C - \beta_C^{d*} C) / (Y + \beta_Y^{d*} Y)}{C / Y} \right]^s = \left(\frac{1 - \beta_C^{d*}}{1 + \beta_Y^{d*}} \right)^s$$

شاخص بهره‌وری مالم کوئیست غیرشعاعی فرامرزی (MNMCI) بر اساس تکنولوژی زیست محیطی کلی تعریف می‌شود. MNMCI تغییرات TCPI بین دو دوره t و $t+1$ است:

(۸)

$$MNMCI(K^s, L^s, E^s, Y^s, C^s) = \frac{TCPI^G(K^{t+1}, L^{t+1}, E^{t+1}, Y^{t+1}, C^{t+1})}{TCPI^G(K^t, L^t, E^t, Y^t, C^t)}$$

مطابق با رابطه (۹) MNMCI به سه قسمت تجزیه می‌شود: شاخص تغییر کارایی فنی (EC) انتشار CO_2 ، شاخص تغییر بهترین شکاف عملی (BPC) تکنولوژی کاهش انتشار CO_2 و شاخص تغییر شکاف تکنولوژی (TGC) کاهش انتشار CO_2 .

1. Technical Efficiency Change (EC) Index of CO2 Emissions
2. Best-Practice Gap Change (BPC) Index of CO2 Emission Reduction Technologies
3. Technology Gap Change (TGC) Index of CO2 Emission Reductions

$$\begin{aligned}
 MNMCPI(K^s, L^s, E^s, Y^s, C^s) &= \frac{TCPI^G(.^{t+1})}{TCPI^G(.^t)} \\
 &= \left[\frac{TCPI^C(.^{t+1})}{TCPI^C(.^t)} \right] * \left[\frac{TCPI^I(.^{t+1})}{TCPI^I(.^t)} \right] * \left[\frac{TCPI^G(.^{t+1})}{TCPI^G(.^t)} \right] \\
 &= \left\{ \frac{\left(\frac{1-\beta_C^{C^*}}{1+\beta_Y^{C^*}} \right)^{t+1}}{\left(\frac{1-\beta_C^{C^*}}{1+\beta_Y^{C^*}} \right)^t} \right\} * \left\{ \frac{\left(\frac{1-\beta_C^{I^*}}{1+\beta_Y^{I^*}} \right)^{t+1}}{\left(\frac{1-\beta_C^{I^*}}{1+\beta_Y^{I^*}} \right)^t} \right\} * \left\{ \frac{\left(\frac{1-\beta_C^{G^*}}{1+\beta_Y^{G^*}} \right)^{t+1}}{\left(\frac{1-\beta_C^{G^*}}{1+\beta_Y^{G^*}} \right)^t} \right\} \\
 &= \left[\frac{TE^{t+1}}{TE^t} \right] * \left[\frac{BPR^{t+1}}{BPR^t} \right] * \left[\frac{TGR^{t+1}}{TGR^t} \right] \\
 &= EC * BPC * TGC \tag{9}
 \end{aligned}$$

عبارت EC در رابطه (۹) تغییر کارایی تکنیکی در انتشار CO₂ برای یک گروه ویژه (در فاصله دو دوره زمانی) است. EC توضیح می‌دهد که چقدر یک DMU به تکنولوژی تولید همزمانی نزدیک است. $EC > 1$ (یا < 1) به مفهوم منافع (هزینه‌های) کارایی است. عبارت BPC شاخص تغییر در بهترین شکاف عملی است و تغییر در نسبت بهترین شکاف عملی میان تکنولوژی زیست محیطی هم زمانی و بین دوره‌ای میان دو دوره را اندازه‌گیری می‌کند. $BPC > 1$ (یا < 1) به مفهوم آن است که مرز تکنولوژی همزمانی به تکنولوژی بین دوره‌ای نزدیک می‌شود (و یا دور می‌شود). چون BPC جابجایی مرز را در یک تکنولوژی همزمانی اندازه‌گیری می‌کند، می‌تواند به عنوان اثر "ابداعات" در نظر گرفته شود. TGC معیار تغییرات در نسبت شکاف تکنولوژی برای کاهش انتشار CO₂ میان تکنولوژی تولید زیست محیطی بین دوره‌ای و کلی است. $TGC > 1$ (یا < 1) به کاهش

(افزایش) شکاف تکنولوژی میان تکنولوژی بین دوره‌ای برای یک گروه ویژه و تکنولوژی کلی اشاره دارد و بنابراین TGC بیانگر "رهبری تکنولوژی" برای یک گروه ویژه است. در ادامه به منظور بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست محیطی صنایع از تحلیل رگرسیون استفاده می‌شود. از جمله عوامل مؤثر می‌توان به شدت انرژی و تحقیق و توسعه (ابداعات) اشاره نمود. ژو و همکاران (۲۰۱۰)، شائو و همکاران^۱ (۲۰۱۱) و فن و همکاران (۲۰۱۵) شدت انرژی را عاملی مؤثر بر بهره‌وری زیست محیطی در نظر می‌گیرند. مطالعه فطرس و براتی (۱۳۸۹) نشان می‌دهد شدت سوخت عامل مؤثر بر انتشار CO₂ در نیروگاه‌های ایران است. موسوی حقیقی و رجبی (۱۳۹۲) عنوان می‌کنند شدت انرژی در بخش صنعت عامل مؤثر بر شاخص‌های اقتصادی و زیست محیطی است. شائو و همکاران (۲۰۱۱) و فن و همکاران (۲۰۱۵) مخارج تحقیق و توسعه را دیگر عامل مؤثر بر بهره‌وری زیست محیطی عنوان می‌کنند. تحقیق و توسعه به عنوان پراکسی ابداعات از متغیرهای مهم صنعت است که بر بهره‌وری زیست محیطی صنعت مؤثر است (یکی از اجزای تغییرات بهره‌وری زیست محیطی BPC است که به عنوان اثر ابداعات تعبیر می‌شود). تأثیر تحقیق و توسعه بر عملکرد صنایع از موضوعات اقتصاد صنعتی است، در چارچوب پارادایم ساختار-رفتار- عملکرد متغیرهای رفتاری همچون مخارج تحقیق و توسعه بر عملکرد تأثیر دارند (گربوسکی و مولر^۲، ۱۹۷۸؛ اریکسون و یکابسون^۳، ۱۹۹۲).

(۱۰)

$$\log MNMCPI_{it} = \beta_0 + \beta_1 \log MNMCPI_{it-1} + \beta_2 \log R \& D_{it} + \beta_3 \log \log EI_{it} + u_{it}$$

که در آن EI شدت انرژی و R & D مخارج تحقیق و توسعه است. با توجه به پویا بودن MNMCPI (مطابق با تعریف این شاخص) مقدار با وقفه این شاخص در کنار دیگر متغیرهای توضیحی مدل؛ شدت انرژی و تحقیق و توسعه قرار می‌گیرد.

-
1. Shao et al.
 2. Grabowski & Mueller
 3. Erickson & Jacobson

۳-۴. داده‌های تحقیق

در این مطالعه از داده‌های صنایع کارخانه‌ای با کد دو رقمی در فاصله زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ استفاده می‌شود. صنایع مورد بررسی عبارتند از ۲۳ صنعت با کد دو رقمی که اسامی آنها در جدول (۴) ذکر شده است. متغیرهای مورد نیاز که باید داده‌های آنها در این پژوهش جمع‌آوری گردند عبارتند از؛ تولید (ستاده مطلوب)، انتشار دی اکسید کربن (ستاده نامطلوب)، سرمایه، نیروی کار، انرژی و مخارج تحقیق و توسعه. اطلاعات مربوط به متغیرهای تولید، نیروی کار از مرکز آمار، طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بالاتر و انرژی از طرح آمارگیری مقدار مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بالاتر جمع‌آوری شده است. داده مربوط به CO₂ در صنایع مختلف توسط محققین این مطالعه محاسبه شده است. برای محاسبه مقادیر انتشار دی اکسید کربن، مقادیر انواع سوخت‌های مصرفی در هر کدام از صنایع در ضریب آلاینده‌گی مربوط به آن سوخت ضرب و به مقادیر آلاینده‌گی تبدیل می‌شود و سپس این مقادیر برای سوخت‌های مختلف جمع زده می‌شوند. ضرایب انتشار متناظر با دستورالعمل IPCC 1996^۱ در محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده از بخش انرژی است. سوخت‌ها شامل بنزین، نفت سفید، نفت گاز، نفت کوره، گاز مایع، گاز طبیعی نفت سیاه و زغال سنگ است که از طرح آمارگیری کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بالاتر جمع‌آوری شده است. واحد نفت سفید، بنزین، نفت گاز، نفت سیاه و نفت کوره هزار لیتر، گاز طبیعی هزار متر مکعب، گاز مایع هزار کیلوگرم، زغال سنگ و زغال چوب هزار کیلوگرم می‌باشد. به منظور لحاظ ناهمگنی میان صنایع، مطابق با گزارش توسعه صنعتی ۲۰۱۶^۲ که توسط UNIDO^۳ منتشر شده است صنایع به سه گروه صنایع با فناوری بالا، صنایع با فناوری متوسط و صنایع با فناوری پایین تقسیم می‌شود. گروه اول صنایع با فناوری بالا شامل کدهای ۲۴، ۲۹، ۳۰،

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

2 Industrial Development Report 2016

3 United Nations Industrial Development Organization

۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، گروه دوم صنایع با فناوری متوسط شامل کدهای ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸ و گروه سوم صنایع با فناوری پایین شامل کدهای ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۳۶، ۳۷ است. در ادامه جدول توصیف آماری متغیرهای مدل گزارش می‌شود.

جدول ۳. جدول توصیف آماری داده‌ها

تعداد صنایع	سرمايه (میلیارد ریال)	نیروی کار (هزار نفر)	انرژی (میلیون بشکه معادل نفت خام)	محصول (میلیارد ریال)	CO ₂ (هزار تن)
گروه اول	میانگین	۵۰/۷۲۸	۵۰/۱۵	۸۲۷۷۶/۲	۱۶۸۹/۲۴
	حداکثر	۲۸۹۵۶/۷۲	۱۴۹/۱۱۱	۹۲۸۲۱۸/۵	۲۲۳۲۴/۱۱
	حداقل	۱۶/۰۹۴	۰/۰۱	۴۳۲/۵۳	۲/۸۲۸
	انحراف معیار	۵۵۰۹/۶۱۳	۴۶/۳۸	۱۲/۳۴	۴۲۹۵/۷۴۵
گروه دوم	میانگین	۸۳/۶۳	۲۷/۱۰	۲۰۰۳۲۶/۴	۸۷۹۵/۳۴۷
	حداکثر	۱۷۹/۹۹	۷۴/۴۷	۲۰۲۲۸۹۴	۳۷۷۴۴/۶۳
	حداقل	۱۵/۰۱	۱/۳۹۵	۱۰۲۳۶/۵۶	۳۴۶/۹۴۶۲
	انحراف معیار	۶۸۰۷/۰۴۸	۵۰/۱۳۲	۲۳/۹۶	۸۴۳۲/۳۸۶
گروه سوم	میانگین	۳۵/۹۲۱۸۳	۲/۰۸۰۱	۲۶۰۳۶/۳۲	۶۷۱/۲۲۳۸
	حداکثر	۲۱۶/۱۵۶	۱۶/۷۲۷	۵۰۴۰۳۰/۵	۵۷۸/۱۸۶
	حداقل	۰/۱۸۷	۰/۰۰۳	۱۸/۵۷۱	۰/۷۴۶۰۵۴
	انحراف معیار	۲۵۵۳/۳۶۷	۵۶/۲۳	۴/۱۵۸	۱۴۲۲/۴۱۵
کلی	میانگین	۵۱/۴۴	۸/۵۴	۸۳۶۶۱/۰۹	۲۷۹۱/۴۳۲
	حداکثر	۲۱۶/۱۵۶	۷۴/۴۷	۲۰۲۲۸۹۴	۳۷۷۴۴/۶۳
	حداقل	۰/۱۸۷	۰/۰۰۳	۱۸/۵۷۱	۰/۷۴۶
	انحراف معیار	۵۰۹۶/۲۱	۵۴/۵۷	۱۶/۷۶	۵۷۲۳/۲۹۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴. یافته‌های تجربی

به منظور استخراج TCPI، MNMCPI، EC، BPC و TGC در صنایع با کد دو رقمی از نرم افزار متلب (Matlab 15) استفاده می شود و برنامه نویسی در این نرم افزار انجام شده است. نتایج متوسط MNMCPI و اجزای آن برای کدهای دو رقمی در جدول (۴) گزارش شده است.

جدول ۴. متوسط MNMCPI و اجزای آن در بخش صنایع کارخانه‌ای ایران

کد دو رقمی	توصیف	MNMCPI	EC	BPC	TGC
۱۵	صنایع مواد غذایی و آشامیدنی	۲/۱۲۱۶۶۴	۱/۰۹۰۰۲۷	۲/۱۱۴۱۷۷	۱/۴۰۴۷۰۱
۱۶	تولید محصولات از توتون و تنباکو	۱/۷۷۴۱۰۱	۱/۰۰۲۴۶۱	۲/۲۳۸۵۰۶	۱/۰۵۶۷۴۸
۱۷	تولید منسوجات	۲/۸۱۸۵۱۱	۰/۹۹۹۰۷۹	۱/۴۹۴۶۸۷	۲/۰۸۶۷۱۱
۱۸	تولید پوشاک عمل آوردن و رنگ کردن پوست خزندار	۲/۱۹۳۹۰۷	۱/۸۳۱۱۲۶	۱/۳۹۹۳۰۱	۱/۱۳۷۴۰۴
۱۹	دباغی و عمل آوردن چرم و ساخت کیف و چمدان و زین و یراق و تولید کفش	۱/۱۵۵۶۰۱	۰/۹۸۹۵۷۱	۱/۲۲۰۵۷۲	۱/۰۰۲۲۳۱
۲۰	تولید چوب و محصولات چوبی و چوب پنبه - غیر از مبلمان - ساخت کالا از نی و مواد حصیری	۱/۲۶۴۶۷۸	۱/۶۱۰۳۵۷	۱/۵۶۵۶۲۴	۱/۰۷۰۳۶۸
۲۱	تولید کاغذ و محصولات کاغذی	۱/۱۱۳۹۷۵	۱/۱۳۱۲۰۵	۲/۳۰۱۸۲۴	۱/۳۰۹۵۶۵
۲۲	انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌های چاپ شده	۱/۱۷۹۷۶	۱/۶۳۹۶۴۶	۱/۲۰۳۸۵۸	۱/۰۳۹۸۲۲
۲۳	صنایع تولید زغال کک، پالایشگاه‌های نفت و سوخت هسته‌ای	۳/۳۶۴۲۱۲	۱/۰۴۵۶۴۳	۲/۵۱۹۸۴۳	۲/۴۹۹۹۰۳
۲۴	صنایع تولید مواد شیمیایی اساسی	۱/۶۵۲۵۵۴	۲/۸۲۷۰۳۳	۱/۹۹۵۶۱۳	۲/۰۶۲۳۲۶
۲۵	تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی	۱/۷۵۶۲۶۶	۱/۰۱۹۹۲۵	۱/۶۶۳۰۱۲	۲/۴۳۹۵۶۸
۲۶	تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی	۲/۱۱۱۸۷۴	۱/۰۲۹۲۷	۱/۶۷۳۴۹۵	۱/۶۸۹۳۴۱
۲۷	تولید فلزات اساسی	۲/۱۸۶۹۸	۱/۳۰۳۲۸۷	۲/۶۴۹۶۶۲	۱/۷۰۴۱۹۲
۲۸	تولید محصولات فلزی فابریکی بجز	۲/۶۵۲۲۲۱	۱/۰۰۱۹۷۳	۱/۳۶۲۶۷۷	۲/۵۷۶۱۱۵

کد دو رقمی	توصیف	MNMCPI	EC	BPC	TGC
	ماشین آلات و تجهیزات				
۲۹	تولید ماشین آلات اداری و محاسباتی	۱/۷۹۱۲۸۴	۱/۱۹۷۵۷۸	۳/۴۰۹۸۶۲	۲/۱۹۵۸۸۴
۳۰	تولید ماشین آلات اداری و محاسباتی	۱/۳۴۰۵۰۶	۱/۱۴۳۲۸۲	۱/۲۰۹۷۷۵	۱
۳۱	تولید ماشین آلات و دستگاههای برقی طبقه بندی نشده جای دیگر	۱/۱۹۱۸۰۵	۱/۱۵۵۱۶۵	۱/۱۵۷۴۵	۰/۹۴۵۹۷۷
۳۲	تولید رادیو و تلویزیون و دستگاهها و وسایل ارتباطی	۱/۲۱۴۴۴۴	۱/۰۶۲۲۰۱	۱/۱۷۴۷۲	۱
۳۳	تولید ابزار پزشکی و ابزار اپتیکی و ابزار دقیق و ساعت های مچی و انواع دیگر ساعت	۱/۲۱۸۶۵۹	۱/۱۰۰۸۹۷	۱/۱۶۳۰۰۴	۰/۹۶۴۹۲۶
۳۴	تولید وسایل نقلیه موتوری و تریلر و نیم تریلر	۱/۷۸۷۵۸۲	۱/۰۰۲۸۵۱	۱/۳۴۲۴۵۱	۱/۸۶۳۱۲۵
۳۵	تولید سایر تجهیزات حمل و نقل	۱/۱۶۳۱۶۲	۱/۱۰۰۰۱۶	۱/۲۶۶۲۱۹	۰/۹۹۱۲۴۲
۳۶	تولید مبلمان و مصنوعات طبقه بندی نشده در جای دیگر	۱/۱۵۹۱۴	۱/۵۴۱۱۵۶	۱/۶۱۹۱۳	۱/۰۱۲۱۴۸
۳۷	بازیافت	۱/۷۵۳۶۴۶	۲/۴۴۷۵۴۲	۱/۱۴۳۹۹۳	۱/۰۶۸۴۰۲

مأخذ: یافته های تحقیق

مقادیر متوسط MNMCPI و اجزای آن به صورت گروهی و کل در جدول (۵) گزارش شده است.

جدول ۵. مقایسه گروهی MNMCPI و تجزیه آن

گروه	MNMCPI	EC	BPC	TGC
۱	۱/۴۱۹۹۹۹۵۹۷	۱/۳۲۳۶۲۸۰۴	۱/۶۷۲۱۷۳۷	۱/۳۷۷۹۳۴۹۵
۲	۲/۴۱۴۳۱۰۳۷۸	۱/۰۷۹۹۸۳۵۴	۱/۹۷۳۷۳۷۷	۲/۱۸۱۸۲۳۶۵
۳	۱/۶۵۳۴۹۸۲۴۷	۱/۴۲۸۲۱۷۰۹	۱/۶۳۰۱۶۷۱	۱/۲۱۸۸۰۹۹۹
کل	۱/۷۳۷۶۷۵۲۶۷	۱/۳۱۶۱۳۵۳۵	۱/۷۱۹۴۶۷۳	۱/۴۸۳۵۰۸۶

مأخذ: یافته های تحقیق

مطابق با جدول (۵) مقدار متوسط شاخص MNMCPI در کل صنایع کارخانه‌ای ایران در طی سالهای مطالعه ۱/۷۳ است که با توجه به بزرگتر از یک بودن آن، این شاخص به‌طور متوسط در این سالها رشد داشته است. بیشترین تأثیرپذیری این رشد از شاخص BPC به مقدار ۱/۷۱ است (اثر ابداعات). دومین شاخص تأثیرگذار بر شاخص MNMCPI، شاخص تغییر شکاف تکنولوژی (TGC) به میزان ۱/۴۸ است که به‌طور متوسط رشد در این شاخص را نشان می‌دهد. آخرین عامل تأثیرگذار بر شاخص MNMCPI در سطح کلی، شاخص تغییر کارایی (EC) به مقدار ۱/۳۱ است که با توجه به بزرگتر از یک بودن آن، این شاخص به‌طور متوسط در این سالها رشد داشته است اما نسبت به دو شاخص دیگر کمترین رشد را داشته است.

بیشترین میزان MNMCPI متعلق به گروه صنایع با فناوری متوسط با مقدار ۲/۴۱ است. شاخص MNMCPI در این گروه از صنایع عمدتاً تحت تأثیر شاخص TGC با مقدار ۲/۱۸ است که نسبت به دو شاخص BPC و EC به‌طور متوسط رشد بیشتری داشته است. با توجه به اینکه در بین هر سه گروه، گروه صنایع با فناوری متوسط بیشترین میزان شاخص TGC را دارا است، این گروه رهبری تکنولوژی را در بین سه گروه به خود اختصاص داده است. این بدان مفهوم است که در بین هر سه گروه کمترین میزان شکاف بین مرز بین دوره‌ای و کلی مربوط به این گروه است. متوسط شاخص تغییر در بهترین شکاف عملی (BPC) در این گروه از صنایع ۱/۹۷ است و با توجه به بزرگتر از یک بودن آن نشان دهنده رشد این شاخص در این گروه از صنایع است و منجر به کاهش فاصله بین مرز همزمان و مرز بین دوره‌ای می‌شود. هرچه این شاخص مقدار بیشتری را به خود اختصاص دهد، شکاف میان مرز همزمان و مرز بین دوره‌ای برای هر گروه کاهش می‌یابد. در بین اجزای شاخص MNMCPI در صنایع با فناوری متوسط، شاخص EC کمترین تأثیر را در رشد بهره‌وری زیست محیطی طی دوره مورد مطالعه داشته است.

گروه صنایع با فناوری پایین بعد از گروه صنایع با فناوری متوسط، به‌طور متوسط دارای بیشترین مقدار MNMCPI است. در این صنایع، شاخص تغییر بهترین شکاف عملی

(BPC) بیشتر از سایر اجزای شاخص MNMCPI بهره‌وری زیست محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (به میزان ۱/۶۳). دومین شاخص اثرگذار در این گروه از صنایع، شاخص تغییر کارایی (EC) به مقدار ۱/۴۲ است که همچنین در بین سه گروه، بیشترین مقدار را در گروه صنایع با فناوری پایین دارا است. رشد متوسط این شاخص در این گروه از صنایع بیانگر حرکت به سمت مرز همزمان به‌طور متوسط در هر دوره از زمان برای هر گروه صنعتی است. سرانجام، بهره‌وری زیست محیطی صنایع با فناوری پایین کمترین تأثیرپذیری را از شاخص TGC دارد و با وجود رشد این شاخص، نسبت به دیگر گروه‌ها رشد کمتری دارد. بنابراین این گروه با وجود داشتن تغییرات بهره‌وری زیست محیطی در رتبه دوم، حرکت کمتری نسبت به دو گروه دیگر به سمت مرز کلی داشته است.

کمترین میزان تغییرات بهره‌وری زیست محیطی در بین سه گروه مربوط به گروه صنایع با فناوری بالا است که میزان شاخص MNMCPI برای این گروه از صنایع به‌طور متوسط ۱/۴۱ است که نشان دهنده رشد این شاخص ولی به میزانی کمتر از دو گروه دیگر است. تغییرات بهره‌وری زیست محیطی در این گروه عمدتاً از شاخص BPC (به مقدار ۱/۶۷) تأثیر می‌پذیرد؛ رشد این شاخص حرکت از مرز همزمان به مرز بین دوره‌ای را نشان می‌دهد. دومین شاخص تأثیرگذار بر بهره‌وری زیست محیطی صنایع با فناوری بالا شاخص TGC به مقدار ۱/۳۷ است که با توجه به بزرگتر بودن آن از یک، نشان دهنده رشد متوسط در این شاخص و کاهش شکاف بین مرز بین دوره‌ای و مرز کلی است. در نهایت، این گروه نیز مانند گروه صنایع با سطح فناوری متوسط کمترین میزان تأثیرپذیری خود را از شاخص تغییر کارایی (EC) دارد که حرکت به سمت مرز همزمان را در این گروه از صنایع نشان می‌دهد.

به منظور بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست محیطی صنایع کارخانه‌ای ایران با کد دو رقمی الگوی رگرسیونی رابطه (۱۰) برآورد می‌شود. با توجه به استفاده از داده‌های پانل (داده‌های ۲۳ صنعت کارخانه‌ای با کد دو رقمی در فاصله زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲) و وجود متغیر وابسته با وقفه در سمت راست مدل (به دلیل پویا بودن شاخص MNMCPI)، از مدل

پانل دیتای پویا (DPD) و روش گشتاور تعمیم یافته (GMM) استفاده می‌شود. مدلی که در آن متغیر وابسته با وقفه به عنوان یک متغیر توضیحی در میان دیگر متغیرهای توضیحی ظاهر می‌گردد یک مدل پویاست.

مسئله‌ای که در مدل‌های پویا وجود دارد این است که تخمین زنده‌های OLS تورش دار و ناسازگارند و بنابراین ضروری است که روش‌هایی برای تخمین ضرایب معرفی گردد. روش GMM از متداول‌ترین تکنیک‌های برآورد مدل‌های DPD است. در این گروه می‌توان به تخمین زنده‌های آرلانو-باند (۱۹۹۱) [difference-GMM] و بلاندل-باند (۱۹۹۸) [system-GMM] اشاره نمود. سازگاری تخمین‌زنده GMM بر اساس فرضی که بر پایه درستی آنها بنا شده است بستگی دارد؛ معتبر بودن ابزارها و عدم همبستگی سریالی جملات خطا. آزمون سارگان برای تعیین مشخص بودن معادله مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمون اگر فرض صفر پذیرفته شود، بیانگر این است که معادله بیش از حد مشخص بوده و متغیرهای ابزارهای تعریف شده در مدل معتبر است. آزمون خود همبستگی سریالی آرلانو-باند وجود همبستگی سریالی مرتبه دوم در جملات تفاضل مرتبه اول جملات اخلاص را آزمون می‌کند. در این آزمون، تخمین زن GMM زمانی دارای سازگاری است که همبستگی سریالی مرتبه دوم در جملات خطا از معادله تفاضلی مرتبه اول وجود نداشته باشد. نتایج حاصل از برآورد الگوی رگرسیونی رابطه (۱۰) و نتایج آزمون سارگان و آزمون خود همبستگی آرلانو-باند در جدول (۶) گزارش شده است.

جدول ۶. برآورد عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست محیطی به روش SGMM و آزمون‌های تشخیصی

مقدار احتمال	انحراف معیار	ضریب	متغیر
۰/۰۰۰	۰/۰۰۹۷۷۴۷	-۰/۳۵	$\log MNMCPI_{it-1}$
۰/۰۰۲	۰/۰۱۹۱۲۷۸	۰/۰۵۹	$\log R \& D_{it}$
۰/۰۰۰	۰/۰۲۳۳۹۸۸	-۰/۳۴	$\log \log EI_{it}$
۰/۰۰۰	۰/۳۰۶۶۹۴۲	-۳/۶۸	Cons
مقدار احتمال		آماره	آزمون‌های تشخیصی
۰/۹۹۹۹		۲۲/۰۹۱۲۴	آزمون سارجان (sargan test)
۰/۰۱۲۶		-۲/۴۹۵۴	AR(1) آزمون همبستگی سریالی
۰/۸۷۳۹		-۰/۱۵۸۷۲	AR(2) آرانو-باند (Arellano-Bond test)
۰/۰۰۰		۲۶۷۰/۵۵	آزمون والد (wald test)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مطابق با نتایج برآورد مدل ضریب متغیر $MNMCPI_{it-1}$ منفی و معنی دار است، این بدان علت است که نمی‌توان به‌طور مداوم و با وجود تنگناهای پیشرفت فنی، حجم عظیمی از گازهای آلاینده خصوصاً آلاینده CO_2 را در هر دوره کاهش داد چرا که کاهش مداوم و سریع آلاینده‌ها می‌تواند مانعی بر سر راه رشد اقتصادی شمرده شود. این امر باید روندی آرام و مداوم در بلند مدت داشته باشد تا صنایع کارخانه‌ای به علت فشار هزینه‌های تکنولوژی جدید و نیاز به بیشتر بودن تولیدات دچار مشکل نشوند و در گذر زمان همراه با افزایش تولیدات، انتشار آلاینده را کاهش دهند. همان‌طور که انتظار می‌رود متغیر R&D تأثیر مثبت و معنی دار و متغیر شدت انرژی تأثیر منفی و معنی دار بر شاخص MNMCPI دارد. نتیجه آزمون سارجان حاکی از معتبر بودن متغیرهای ابزارهای مدل است. مطابق با آزمون همبستگی آرانو-باند، فرضیه صفر مبنی بر عدم خودهمبستگی سریالی درجه دوم تفاضل جملات اخلال را نمی‌توان رد کرد بنابراین، تخمین‌زنده‌های مدل سازگار است.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از شاخص بهره‌وری زیست محیطی مال‌کوئیست غیرشعاعی فرامرزی (MNMCPPI) تغییرات بهره‌وری زیست محیطی صنایع کارخانه‌ای ایران و اجزای این تغییرات (تغییر کارایی فنی، تغییر بهترین شکاف عملی و تغییر شکاف تکنولوژی) در فاصله زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ برآورد می‌شود. این شاخص این امکان را فراهم می‌آورد که ناهمگنی‌های میان صنایع در نظر گرفته شود. به این منظور صنایع به سه گروه صنایع با فناوری بالا، صنایع با فناوری متوسط و صنایع با فناوری پایین تقسیم می‌شود. نتایج نشان می‌دهد بهره‌وری زیست محیطی کل صنایع کارخانه‌ای ایران طی دوره مطالعه به‌طور متوسط بهبود یافته است و بیشترین رشد در گروه صنایع با فناوری متوسط مشاهده می‌شود. همچنین هر سه شاخص تغییر کارایی فنی (EC)، تغییر بهترین شکاف عملی (BPC) و تغییر شکاف تکنولوژی (TGC) به عنوان اجزای شاخص تغییرات بهره‌وری زیست محیطی به‌طور متوسط رشد داشته‌اند. به عبارتی دیگر، کارایی فنی، ابداعات و پیشروی تکنولوژی در بهبود بهره‌وری زیست محیطی صنایع مؤثر بوده است. شاخص اصلی و اثرگذار بر بهره‌وری زیست محیطی در سطح کل صنایع، گروه صنایع با فناوری بالا و گروه صنایع با فناوری پایین شاخص BPC (اثر ابداعات) و در گروه صنایع با فناوری متوسط TGC (کاهش شکاف تکنولوژی) است. نتایج حاکی از آن است شاخص تغییر در کارایی فنی (EC) کمترین تأثیر را در تغییرات بهره‌وری زیست محیطی در کل صنایع، صنایع با فناوری بالا و متوسط دارد. می‌توان عنوان کرد منابع و نهاده‌ها به‌طور بهینه استفاده نشده است و این نشان دهنده ضعف مدیریتی و وجود ظرفیت برای مدیریت بهتر در تخصیص منابع و روش تولید است. به عبارتی دیگر می‌توان با همان نهاده‌ها و آلاینده کمتر، کالاها و خدمات بیشتری تولید کرد و این ظرفیت برای کاهش آلاینده‌ها با استفاده از روش‌های دیگر تولید و مدیریت بهتر وجود دارد تا هر گروهی از صنایع بتواند به مرز تکنولوژی همزمان زیست محیطی نزدیک شود.

مطابق با تحلیل رگرسیون، شدت انرژی و مخارج تحقیق و توسعه از عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست محیطی صنایع کارخانه‌ای ایران هستند. از این روی می‌توان عنوان نمود اولاً، هرچه سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه بیشتر باشد، از طریق افزایش ظرفیت پیشرفت فنی و نوآوری می‌توان بر رشد تولیدات و رشد اقتصادی همگام با کاهش دی‌اکسید کربن افزود. ثانیاً، می‌توان با کاهش مصرف انرژی بهره‌وری زیست محیطی را در صنایع افزایش داد. از جمله راهکارهایی که می‌توان برای کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی در این صنایع پیشنهاد نمود عبارتند از؛ اتخاذ سیاست‌های کارایی انرژی، جایگزینی سوخت‌های سبک به جای سوخت‌های سنگین، استفاده از سوخت‌های ضایعاتی و زیست توده‌ها (بیومس) و استفاده از تکنولوژی فیلترهای هیبریدی (یک روش جدید در کاهش خروجی دودکش‌های صنعتی) و فناوری سبز جهت کاهش آلاینده‌ها (به خصوص انتشار گرد و غبار).

منابع و مأخذ

- Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. (1982). The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. *Econometrica*, 50(6), 1393–1414.
- Chambers, R. G., Chung, Y., & Färe, R. (1996). Benefit and Distance Functions. *Journal of Economics Theory*, 70(2), 407–419
- Chung, Y. H., Färe, R., & Grosskopf, S. (1997). Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach. *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229–240.
- Emami Meibodi, A., & Jaidari, F. (2015). Eco-efficiency Evaluation of Iran's Oil Refineries: Using Data Envelopment Analysis (DEA). *Quarterly Journal of The Economic Research (Sustainable Growth and Development)*, 14(4), 79–96. (In Farsi)
- Erickson, G. & Jacobson, R. (1992). Gaining comparative advantage through discretionary expenditures: The returns to R&D and Advertising. *Management science*, 38, 1264-1279.
- Fan, M., Shao, S., & Yang, L. (2015). Combining global Malmquist-Luenberger index and generalized method of moments to investigate industrial total factor CO₂ emission performance: A case of Shanghai (China). *Energy Policy*, 79, 189–201.
- Esmaeili, A., & Mohsenpoor, R. (2016). Productivity Analyses of Iranian Power Plant with Environmental Criterion. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), 95–107. (In Farsi)
- Färe, R., & Grosskopf, S. (2005). *New Direction: Efficiency and Productivity*. Springer, New York.
- Fathi, B., Mahdavi Adeli, M. H., & Fotros, M. H (2015). Measuring industrial energy efficiency with CO₂ emissions in developing countries using static and dynamic nonparametric models. *Quarterly Energy Economics Review*, 11(46), 61–87. (In Farsi)
- Fotros, M. H., & Barati, J. (2010). Analysis of Effective Factors Affecting Changes in CO₂ Emissions of Power Plants Sector of Iran, 1997-2008. *Quarterly Journal of Economic Modeling Research*, 1(1), 135–153. (In Farsi)
- Grabowski, H.G., & Mueller, D.C. (1978). Industrial research and development, intangible capital stock, and firm profit rates. *Bell J. Econ*, vol. 9, pp. 328-343.
- IPCC 1996 Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Emission Factor from Fuel Combustion .
- Kumar, S. (2006). Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger index. *Ecological*

- Economics*, 56(2), 280–293.
- Lin, B., & Du, K. (2015). Modeling the dynamics of carbon emission performance in China: A parametric Malmquist index approach. *Energy Economics*, 49, 550–557.
 - Lin, B., & Tan, R. (2016). China's CO₂ emissions of a critical sector: Evidence from energy intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4270–4281.
 - Malmquist, S. (1953). Index Number and Indifference Surfaces. *Trabajos de Estadística*, 4, 209–242.
 - Mamipour, S., & Najafzadeh, B. (2016). Environmental Efficiency Assessment of Iranian Electric Power Companies: Comparison between Radial and Non-Radial Models. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 3(3), 153–178. (In Farsi)
 - Ministry of Energy (Office of Planning and Macroeconomics of Electricity and Energy). (2014). *Energy Balance sheet*. (In Farsi)
 - Molaei, M., & Sani, F. (2015). Estimating Environmental Efficiency of the Agricultural Sector. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(2), 91–101. (In Farsi)
 - Moosavi Haghighi, M. H., & Rajabi, A. (2013). Modeling the Effect of Energy Intensity Changes in Industrial Sector on the Economic and Environmental Indices: A System Dynamics Approach. *Quarterly Journal of Economic Modeling Research*, 3(12), 103–134. (In Farsi)
 - Oh, D. hyun, & Lee, J. dong. (2010). A metafrontier approach for measuring Malmquist productivity index. *Empirical Economics*, 38(1), 47–64
 - Najafzadeh, B., & Mamipour, S. (2016). Measurement of Environmental Performance of Iranian Electric Power Companies (In the context of Contemporaneous and Sequential Frontiers of Slack-Based Measures and Directional Distance Functions). *Quarterly Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 5(19), 211–240. (In Farsi)
 - Parsa, P., Sadeghi, Z., & Jalae, A. (2016). Decomposition of Environmental Total Factor Productivity Growth Using Distance Function in the Provinces of Iran. *Quarterly Journal of Applied Economic Studies in Iran*, 4(16), 1–24. (In Farsi)
 - Picazo-Tadeo, A. J., Castillo-Giménez, J., & Beltrán-Esteve, M. (2014). An intertemporal approach to measuring environmental performance with directional distance functions: Greenhouse gas emissions in the European Union. *Ecological Economics*, 100, 173–182.
 - Rezaei, A., Amadeh, H., & Mohammadi, T. (2012). Analysis of Environmental Productivity and Efficiency in Selected Countries of the Importer and Exporter of Fossil Energy Resources: Directional Distance

- Function Approach. *Quarterly Journal of Iranian Energy Economics (Quarterly Environment and Energy Economics)*, 1(2), 93–126. (In Farsi)
- Shahiki Tash, M., Khajeh Hasani, M., & Jafari, S. (2015). Assessment of the Environmental Performance in Energy Intensive Industries of Iran by Using Directional Distance Function Approach. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 2(1), 99–120. (In Farsi)
 - Shao, S., Yang, L. L., Yu, M. B., Yu, M.L. (2011). Estimation, characteristics, and determinants of energy-related industrial CO₂ emissions in Shanghai (China), 1994–2009. *Energy Policy* 39(10), 6476–6494.
 - UNIDO. (2016). Industrial Development Report 2016: The Role of Technology and Innovation in Inclusive and Sustainable Industrial Development.
 - Youssefi Hajiabad, R. (2016). The Evaluation of the Total Factor Productivity in Iran's Manufacturing Sector. *The Journal of Economic Policy*, 8(15), 153–175. (In Farsi)
 - Yu, Y., Choi, Y., Wei, X., & Chen, Z. (2017). Did China's regional transport industry enjoy better carbon productivity under regulations? *Journal of Cleaner Production*, 165, 777–787.
 - Zhang, N., & Choi, Y. (2013a). Total-factor carbon emission performance of fossil fuel power plants in China: A metafrontier non-radial Malmquist index analysis. *Energy Economics*, 40, 549–559.
 - Zhang, N., & Choi, Y. (2013b). A comparative study of dynamic changes in CO₂ emission performance of fossil fuel power plants in China and Korea. *Energy Policy*, 62, 324–332.
 - Zhang, N., Zhou, P., & Choi, Y. (2013). Energy Efficiency CO₂ emission performance and technology gaps in fossil fuel electricity generation in Korea: a Meta frontier non-radial directional distance function analysis. *Energy Policy*, 56, 653–662.
 - Zhang, N., & Choi, Y. (2014). A note on the evolution of directional distance function and its development in energy and environmental studies 1997–2013. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 33, 50–59.
 - Zhang, N., & Wei, X. (2015). Dynamic total factor carbon emissions performance changes in the Chinese transportation industry. *Applied Energy*, 146, 409–420.
 - Zhang, N., Zhou, P., & Kung, C. C. (2015). Total-factor carbon emission performance of the Chinese transportation industry: A bootstrapped non-radial Malmquist index analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 584–593.
 - Zhang, N., Wang, B., & Liu, Z. (2016). Carbon emissions dynamics, efficiency gains, and technological innovation in China's industrial

sectors. *Energy*, 99, 10–19.

- Zhou, P., Ang, B. W., & Han, J. Y. (2010). Total factor carbon emission performance: A Malmquist index analysis. *Energy Economics*, 32(1), 194–201.
- Zhou P, Ang BW, Wang H.(2012). Energy and CO₂ emission performance in electricity generation: a non-radial directional distance function approach. *Eur J Oper Res*,221,625–35.

Total Factor CO₂ Emission Performance in Iranian Manufacturing Industries: Meta-Frontier Non-Radial Malmquist Index Approach

Somayeh Azami¹, Latif Pour_Karimi², Sahar Sadri³

Received: 2018/01/28

Accepted: 2018/04/04

Abstract

The purpose of this study is to evaluate environmental productivity changes in Iranian manufacturing industries, with two-digit ISIC codes, during 2003-2014. For this purpose, Meta-frontier Non-radial Malmquist CO₂ emission Performance Index (MNM CPI) is used. This index considers technological heterogeneities of industries. Empirical results indicate that, during 2003-2014, MNM CPI has grown, on average; the highest growth rate belongs to industries with medium technology. Also, all three indices of EC, BPC and TGC, as MNM CPI components, experienced growth, on average. TGC has the greatest impact in industries with medium technology while BPC has the greatest impact in industries with high and low technology. In general, BPC had the greatest effect on MNM CPI growth. The highest growth rate in EC index is observed in industries with low technology and the highest growth rates in BPC index, which shows the effect of innovation, and in TGC index are observed in industries with medium technology. Therefore, based on TGC index, industries with medium technology level are leading technological industries. Regression analysis shows that energy intensity has a negative and significant effect and R&D has a positive significant effect on MNM CPI.

Keywords: Non-radial Directional Distance Function, Group Heterogeneity, Meta-Frontier Non-Radial Malmquist CO₂ Emission Performance Index (MNM CPI), Iranian Manufacturing Industries

JEL Classification: C₆₁, D₂₄, Q₄₃, Q₅₄.

1 . Assistant Professor of Economics, Faculty of Social Sciences and Psychology, Razi University, (Corresponding Author), Email: sazami_econ@yahoo.com

2 . Assistant Professor of Mathematical Department, Email: lp_karimi@yahoo.com

3. Master of Economics, Razi University, Email: sadri.s2022@yahoo.com