مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

برآورد بهره‌وری محیط‌زیستی و پیشران‌های آن با تأکید بر تولیدات نامطلوب (تحلیلی از صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران)

مهدی فتح آبادی [۱*]

۱- گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران*

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷

کلمات کلیدی:
بهره‌وری محیط‌زیستی
شاخص جهانی مالم‌کوئیست-لیونبرگر
فاضلاب و پسماند صنعتی
صنایع ایران

چکیده

مقدمه: همگام با توسعه صنعت کارخانه‌ای، توسعه پایدار این بخش بایستی بر رشد بهره‌وری مستمر بنگاه‌ها از نقطه‌نظر پیشرفت تکنولوژیک و بهبود کارایی استوار باشد. در بخش کارخانه‌ای، تولید محصول می‌تواند همراه با محصولات نامطلوب یا بد، مانند گازهای آلاینده، فاضلاب، پسماندهای جامد و مایع باشد و نادیده گرفتن آن‌ها ممکن است به بهره‌وری و تغییرات فنی تورش‌دار منجر شود. هدف این مقاله ارزیابی تغییر بهره‌وری و کارایی محیط‌زیستی صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای دست‌یابی به هدف مقاله از یک رویکرد دو مرحله‌ای بهره گرفته می‌شود. در مرحله نخست، شاخص بهره‌وری جهانی مالم‌کوئیست- لیونبرگر با لحاظ محصولات نامطلوب فاضلاب و پسماند صنعتی، اندازه‌گیری و سپس به دو جزء تغییر کارایی فنی و پیشرفت تکنولوژیک تجزیه می‌شود. در بخش دوم اثر پیشران‌های رشد بهره‌وری محیط‌زیستی با بهره‌گیری از مدل‌های Tobit، Logit و Probit برآورد می‌گردد. داده‌های این مقاله از گزارشات طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر در دوره ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ استخراج شده است.

نتایج: یافته‌های بخش نخست بیان می‌دارد پیشرفت تکنولوژیک عامل اصلی تغییرات بهره‌وری محیط‌زیستی صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران است. هم‌چنین متوسط تغییر بهره‌وری محیط‌زیستی با کاهش همراه بوده که نشان می‌دهد بنگاه‌های کارخانه‌ای استان‌های ایران در دوره مورد مطالعه از مرز فناوری موجود جهانی عقب‌تر هستند. معیار سازگاری با محیط‌زیست نشان داد در دوره مورد بررسی، ده استان سبز (افزایش تولیدات مطلوب در کنار کاهش تولیدات نامطلوب) و ۱۶ استان زرد (افزایش همزمان تولیدات مطلوب و نامطلوب) بوده‌اند که استان‌های بزرگ هم در زمره استان‌های زرد هستند. نتایج بخش دوم حاکی از آن است رابطه بین درآمد سرانه و رشد بهره‌وری محیط‌زیستی به‌شکل U معکوس می‌باشد. هم‌چنین افزایش نسبت سرمایه به اشتغال منجر به افزایش رشد بهره‌وری محیط‌زیستی شده، اما رشد شدت انرژی‌بری صنایع کارخانه‌ای سبب کاهش بهره‌وری محیط‌زیستی خواهد شد.

بحث: در راستای بهبود بهره‌وری محیط‌زیستی، صنایع کارخانه‌ای می‌توانند از طریق ارزیابی عملکرد بنگاه‌های اقتصادی، فرآیندهای قیمت‌گذاری پسماندها و ضایعات منابع اقتصادی در فرآیند تولید و همچنین تلاش برای کاهش آلودگی و اثرات مخرب محیط‌زیستی، به ارتقای بهره‌وری، سود، رقابت‌پذیری و بهبود کیفیت زندگی بشر کمک نمایند. لذا با کاهش مصرف نهاده‌های تولید به‌ازای سطح مشخصی از تولید و یا ارائه خدمات، کاهش هزینه‌های تولید، کیفیت و رقابت‌پذیری محصولات در سطح ملی و جهانی ارتقا می‌یابد که نتیجه آن بهبود رشد اقتصادی سبز خواهد بود. نظر به نتایج مقاله، می‌توان برخی از

* پست الکترونیکی نویسنده مسؤول: fathabadi.mehdi@iau.ac.ir

توصیه‌های سیاستی را پیشنهاد کرد. نخست، به‌کارگیری و توسعه فناوری‌های پاک‌تر و فناوری‌هایی که در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کنند، عوامل اصلی رشد بهره‌وری محیط‌زیستی و توسعه پایدار استان‌های ایران در آینده هستند. دوم، با توجه به رابطه درآمد سرانه و رشد بهره‌وری محیط‌زیستی و از آن‌جا که تقریباً تمامی استان‌های بزرگ مانند تهران و اصفهان با مشکلات محیط‌زیستی دست و پنجه نرم می‌کنند، لذا توسعه سیاست‌هایی برای افزایش تمرکز صنعتی در سایر استان‌ها ضروری است. در استان‌های با فعالیت‌های اقتصادی بیش از حد مانند تهران، اصفهان و خوزستان، لازم است کنترل مناسبی بر تراکم صنایع و جمعیت در این استان‌ها انجام شود تا از انتشار آلودگی و سایر بیماری‌های شهرهای بزرگ که توسعه پایدار را تهدید می‌کنند، جلوگیری شود.

مقدمه

توسعه محیط‌زیستی- صنعتی (EID) چارچوبی است که تحت آن صنعت می‌تواند ضمن حداقل کردن تأثیر خود بر محیط‌زیست، توسعه یابد. از مهم‌ترین اهداف توسعه صنعتی سازگار با محیط‌زیست، بهبود چشمگیر و مداوم در کارایی اقتصادی و محیط‌زیستی است (Cohen-Rosenthal & Musnikow, 2003). با گسترش صنعت کارخانه‌ای ایران، توسعه پایدارتر و سالم‌تر این صنعت باید مبتنی بر تداوم رشد بهره‌وری در سطح بنگاه هم از نظر پیشرفت تکنولوژیک و هم بهبود کارایی باشد. در اکثر فرآیندهای تولید صنعتی، تولید محصولات مطلوب می‌تواند همیشه با تولید و انتشار محصولات نامطلوب یا محصولات بد، مانند گازهای آلاینده، فاضلاب و پسماندهای جامد و مایع همراه باشد و نادیده گرفتن آن‌ها منجر به بهره‌وری و تغییرات فنی تورش‌دار[1] می‌شود. بنابراین، برای اندازه‌گیری بهره‌وری جامع‌تر و مناسب‌تر، محصولات نامطلوب یا محصولات بد باید در چارچوب ارزیابی و محاسبه رشد بهره‌وری لحاظ شود (Zhu & He, 2022).

شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست (MPI) و شاخص بهره‌وری لیونبرگر (LPI) که از آن به‌عنوان شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست و لیونبرگر (MLPI) نیز یاد می‌شود، از جمله شاخص‌های بهره‌وری متداول برای اندازه‌گیری رشد بهره‌وری کل (TFP) می‌باشند. از آن‌جا که انرژی و محیط زیست محدودیت‌هایی "سخت" را برای رشد اقتصادی فراهم می‌آورند، تا زمانی که اثرات منفی محصولات جانبی مضر برای محیط‌زیست به‌طور کامل در شاخص‌های بهره‌وری متداول وارد نگردد، نمی‌توان کیفیت رشد اقتصادی را به‌شکل دقیق ارزیابی نمود (Wang *et al.*, 2019). بر اساس توابع فاصله جهت‌دار (DDF) که توسط Chambers و همکاران (۱۹۹۶) و Chung و همکاران (۱۹۹۷) پیشنهاد شده، تغییراتی در شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست و لیونبرگر (MLPI) اعمال نمودند که برای محاسبه رشد بهره‌وری محیط‌زیستی یا رشد بهره‌وری سبز با لحاظ محصولات نامطلوب مناسب می‌باشد (Chen & Golley, 2014).

با این حال، شاخص MLPI مستخرج از مجموعه امکانات تولید ممکن است با مشکلات رگرسیون فنی کاذب همراه بوده و همچنین هنگام اندازه‌گیری DDFهای مقطع-زمان، با مشکل غیردایره‌ای بودن و عدم امکان برنامه‌ریزی خطی مواجه شود (Oh, 2010). برای غلبه بر این ضعف شاخص MLPI، Oh (۲۰۱۰) شاخص بهره‌وری جهانی (GMLPI) را به‌عنوان جایگزینی برای شاخص MLPI با ادغام DDFها و مفهوم مجموعه فناوری جهانی پیشنهاد کرد. در سال‌های اخیر، GMLPI به‌طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری رشد بهره‌وری تحت محدودیت‌های انرژی و محیط‌زیست استفاده شده‌است. Hampf و Ananda (۲۰۱۵) شاخص GMLPI شامل انتشار گازهای گلخانه‌ای را برای ارزیابی بهره‌وری در بخش آب شهری استرالیا به کار بردند و دریافتند که شاخص متداول به‌طور قابل توجهی رشد بهره‌وری را بیش از حد برآورد کرده است. Wang و Feng (۲۰۱۵) و Yang و Zhang (۲۰۱۶) از شاخص GMLPI برای تجزیه و تحلیل رشد بهره‌وری ۳۰ استان چین طی دوره‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ و ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ استفاده کردند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد بهره‌وری کل محیط‌زیستی در چین مسیر صعودی را دنبال می‌کند. Fan و همکاران (۲۰۱۵) شاخص GMLPI

[1]. Biased Technical Changes

را برای اندازه‌گیری و تجزیه عملکرد انتشار دی‌اکسید کربن در ۳۲ زیربخش صنعتی در شانگهای طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۱ به کار بردند. Wang و Shen (۲۰۱۶) از شاخص GMLPI برای محاسبه بهره‌وری صنعتی چین با در نظر گرفتن عوامل محیطی و بررسی رابطه غیرخطی بین مقررات محیط‌زیستی و بهره‌وری محیط‌زیستی استفاده کردند.

در ایران نیز مقالات مختلفی به‌دنبال اندازه‌گیری بهره‌وری محیط‌زیست بوده‌اند. Haqiqatpishe و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی پرداخته و در نهایت نشان دادند بهتر است هنگام برآورد بهره‌وری، تولیدات نامطلوب در محاسبه بهره‌وری در نظر گرفته شوند تا روند بهره‌وری بهتر اندازه‌گیری شود. Abedi و همکاران (۲۰۱۹) از شاخص مالم‌کوئیست- لیونبرگر برای محاسبه بهره‌وری سبز در ایران استفاده کرده و دریافتند روند بهره‌وری سبز در ایران صعودی بوده است. Parsa و همکاران (۲۰۱۹) با بهره‌گیری از توابع فاصله‌ای هذلولی، بهره‌وری محیط‌زیستی ایران را برآورد و نشان دادند که این شاخص در ایران کاهش‌یافته است. Masheyekhi و همکاران (۲۰۲۱) به این نتیجه رسیدند فناوری اثر مثبت و سرمایه‌گذاری خارجی اثر منفی بر بهره‌وری سبز در ایران دارند. Homaian و Aqapoursabaqi (۲۰۱۸) با استفاده از شاخص مالم‌کوئیست و توابع فاصله دریافتند در بخش کشاورزی رشد بهره‌وری سبز بیشتر از رشد بهره‌وری معمولی است. علاوه بر این تعدادی دیگر از مقالات به برآورد بهره‌وری صنعتی مبادرت ورزیده‌اند. Sofimajidpour و Isazadeh (۲۰۱۷) دریافتند پیشرفت تکنولوژیکی و اثرات مقیاس اثر مثبت و کارایی تخصیصی و کارایی فنی اثر منفی بر بهره وری کل عوامل صنعتی دارند. Mahmodzade و Fathabadi (۲۰۱۶) نشان دادند پیشرفت تکنولوژیک تنها عامل پیشران بهره‌وری کل صنعتی بوده است. Sofimajidpour و Fathabadi (۲۰۱۸) نشان دادند پیشرفت تکنولوژیک عامل اصلی رشد بهره‌وری کل صنعتی است. Dashti و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند تغییرات تکنولوژی عامل اصلی تغییرات بهره‌وری کل می‌باشد. Fathabadi (۲۰۱۷) با استفاده از شاخص مالم‌کوئیست به این نتیجه رسید رشد بهره‌وری کل صنعت بیمه منفی بوده که علت آن پسرفت کارایی فنی بوده است. با مرور مقالات مرتبط به این نکته مهم می‌رسیم که مطالعاتی به ارزیابی بهره‌وری در بخش صنعت پرداخته‌اند، هیچ‌یک از جنبه محیط‌زیستی نبوده است. لذا نوآوری این مقاله ارزیابی بهره‌وری کل صنعت کارخانه‌ای با در نظر گرفتن مسائل محیط‌زیستی و تولیدات نامطلوب است. Oh (۲۰۱۰) اشاره می‌کند میانگین هندسی شاخص مالم‌کوئیست دارای نقاط ضعف است که مهم‌ترین آن این است دایره‌ای نبوده و این موضوع در اندازه‌گیری توابع فاصله جهت‌دار مقطع زمان سبب امکان‌ناپذیری در برنامه‌ریزی خطی می‌شود. برای غلبه بر این محدودیت، یک فناوری جهانی را تعریف می شود. براساس مجموعه فناوری جهانی، Pastor و Lovell (۲۰۰۵) شاخص رشد بهره‌وری جهانی مالم‌کوئیست (GMI) را معرفی کردند. اما در شاخص GMI محصولات نامطلوب، مانند انتشار آلودگی در نظر گرفته نمی‌شود. Fukuyama و Weber (۲۰۰۹)، Färe و Grosskopf (۲۰۱۰) و Arabi و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند باید یک تابع فاصله جهت‌دار جهانی از یک SBM بر مجموعه فناوری جهانی PG تعریف شود تا امکان برآورد بهره‌وری کل محیط‌زیستی با توجه به محصولات نامطلوب وجود داشته‌باشد. بنابراین استفاده از شاخص جهانی مالم‌کوئیست- لیونبرگر (GMLPI) به‌جای شاخص متداول مالم‌کوئیست (MPI) می‌تواند در برآورد بهره‌وری محیط زیستی مفید باشد.

مسأله مهم عدم توجه به موضوع بهره‌وری محیط‌زیستی در صنعت کارخانه‌ای ایران چه در سطح بنگاه و چه در سطح استان است. بهره‌وری محیط‌زیستی از آن جهت اهمیت دارد که بنگاه‌ها، مناطق و کشورها در طول فرآیند صنعتی شدن سهم زیادی در مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، فاضلاب و پسماندهای جامد و مایع دارند. در ایران روند انتشار دی‌اکسید کربن بخش صنعت در دوره ۹۸-۱۳۹۰ کاملاً صعودی بوده است به‌گونه‌ای که از ۹۳/۱ میلیون تن دی‌اکسید کربن در سال ۱۳۹۴ به ۱۱۴ میلیون تن در سال ۱۳۹۸ رسیده است (ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۹۹). در مقابل فاضلاب صنعتی ایران از ۱۲۶ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴ به ۱۱۳ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۸ کاهش‌یافته که علت اصلی آن

کاهش فاضلاب صنعتی سه استان مهم خوزستان، تهران و اصفهان بوده است. به‌عنوان مثال، فاضلاب صنعتی استان خوزستان از ۸۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴ (سهم ۶۴ درصدی از کل فاضلاب صنعتی) به ۵۸ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۸ (سهم ۵۲ درصدی از کل فاضلاب صنعتی) کاهش‌یافته است. از سوی دیگر، وضعیت پسماندهای جامد و مایع متفاوت بوده است. مقدار پسماند مایع در دوره ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ ثابت مانده و سالانه حدود نه میلیون مترمکعب پسماند مایع صنعتی تولید شده است. اما پسماند جامد صنعتی از ۱۳ میلیون تن در سال ۱۳۹۴ به ۱۸ میلیون تن در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته است. در تولید پسماند جامد صنعتی نقش استان‌های خراسان‌شمالی، زنجان، سمنان و یزد قابل توجه است (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). نادیده گرفتن اثرات منفی تولیدات مضر برای محیط‌زیست ممکن است منجر به محاسبه و برآورد "بهره‌وری تورش‌دار"[۲] شده و در نتیجه منتج به سیاست‌های غیر بهینه شود. هدف این مقاله، استفاده از شاخص GMLPI برای محاسبه و تجزیه رشد بهره‌وری محیط‌زیستی بخش کارخانه‌ای با در نظر گرفتن محصولات نامطلوب فاضلاب و پسماند جامد و مایع در ۳۱ استان ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی

در اینجا، نحوه اندازه‌گیری ناپارامتریک کارایی و بهره‌وری با در نظر گرفتن محصولات نامطلوب تشریح می‌گردد. بدین منظور ابتدا نحوه برآورد کارایی فنی و تغییر TFP با استفاده از توابع فاصله جهت‌دار توضیح داده می‌شود. سپس به معرفی داده‌ها پرداخته می‌شود.

شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست-لیونبرگر جهانی (GML)

برای شروع، تعداد K استان را در دوره T در نظر بگیرید. برای استان k در دوره زمانی t، مجموعه نهاده‌های تولید و محصولات به‌صورت $(x^{k,t}, y^{k,t}, b^{k,t})$ مفروض است که فناوری تولید می‌تواند M محصول مطلوب $y \in \mathcal{R}_+^M$ ، H محصول نامطلوب $b \in \mathcal{R}_+^H$ به‌وسیله N نهاده $x \in \mathcal{R}_+^N$، تولید نماید. این مجموعه فناوری را می‌توان به‌شکل زیر نشان داد:

$$P^t(x^t) = \{(y^t, b^t): x^t \text{ میتواند } (y^t, b^t) \text{ تولید کند}\} \quad (۱)$$

برای ترکیب محصولات نامطلوب، Chung و همکاران (۱۹۹۷) تابع فاصله جهت‌دار (DDF) رادیال را به‌شکل زیر تعریف نمودند.

$$\overrightarrow{D_r}(x, y, b; g) = max\{\beta: ((y, b) + \beta. g) \in P(x)\} \quad (۲)$$

که $g = (y, b)$ یک بردار غیر صفر است که جهت اندازه‌گیری فاصله بین نقطه داده‌ها (x, y, b) و مرز تولید را مشخص می‌کند. β نیز مقدار DDFهای رادیال را نشان می‌دهد. با تنظیم gهای مختلف به‌عنوان وزن، می‌توان فاصله بین بنگاه تولیدی و مرز تولید را در جهت خاصی تعریف کرد. به‌عبارت دیگر DDFها به‌دنبال محصولات مطلوب بیشتر و محصولات نامطلوب کمتر خواهند بود (Fare *et al.*, 2007). بنابراین شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست لیونبرگر (ML) رادیال معرفی شده توسط Chung و همکاران (۱۹۹۷) به‌صورت زیر خواهد بود.

$$ML^x(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) = \frac{1 + D_r^s(x^t, y^t, b^t)}{1 + D_r^s(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \quad (۳)$$

که در آن شاخص ML بهره‌وری محیط‌زیستی مقاطع یا بنگاه‌ها را بین دوره‌های زمانی t و t + 1 اندازه‌گیری می‌کند. اگر مقدار ML بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده بهبود بهره‌وری محیط‌زیستی مقطع یا بنگاه مورد نظر بوده و بیانگر آن است فعالیت تولیدی به‌سمت محصولات مطلوب بیشتر و انتشار آلودگی کمتر حرکت کرده است. در مقابل اگر مقدار ML کوچک‌تر از یک باشد، به معنی کاهش بهره‌وری محیط‌زیستی است و این یعنی فعالیت تولیدی مقطع یا بنگاه در جهت محصولات مطلوب کمتر و انتشار آلودگی بیشتر بوده است. همان‌طور که در مقدمه بیان شد Oh (۲۰۱۰) بیان می‌کند میانگین هندسی شاخص ML دارای ضعف است که به‌دلیل دایره‌ای نبودن و امکان اندازه‌گیری DDFهای مقطع زمان در برنامه‌ریزی خطی وجود ندارد. برای رفع این مشکل، فناوری جهانی به صورت $P^G = P^1 \cup P^2 \cup P^3 \cup \ldots \cup P^T$ تعریف می‌شود. براساس این مجموعه فناوری جهانی، Pastor و Lovell

[۲]. Biased Productivity

(۲۰۰۵) شاخص رشد بهره‌وری جهانی مالم‌کوئیست (GM) را به‌شکل زیر معرفی نمودند.

$$GM^{t,t+1}(x^t,y^t,x^{t+1},y^{t+1}) = \frac{D^G(x^{t+1},y^{t+1})}{D^G(x^t,y^t)} \quad (۴)$$

مشکل شاخص GM این است که تولیدات نامطلوب، مانند انتشار آلودگی را در نظر نمی‌گیرد. با توجه به رویکرد Fukuyama و Weber (۲۰۰۹)، Färe و Grosskopf (۲۰۱۰) و Arabi و همکاران (۲۰۱۵)، تابع فاصله جهت‌دار جهانی از یک SBM بر مجموعه فناوری جهانی PG تعریف شود تا محصولات نامطلوب را به‌صورت زیر در بر گیرد؛

(۵)

$$D^G(x,y,b) = max\{\beta: (y+\beta y, b-\beta b) \in P^G(x)\}$$

براساس پیشنهاد Oh (۲۰۱۰)، شاخص GML به‌صورت زیر بیان می‌شود.

(۶)

$$GML^{t,t+1}(x^t,y^t,b^t,x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1}) = \frac{1+D^G(x^t,y^t,b^t)}{1+D^G(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})}$$

از شاخص GML برای اندازه‌گیری بهره‌وری محیط‌زیستی بر اساس مجموعه امکانات تولید جهانی بین دوره‌های t و t + 1 استفاده می‌شود. اگر مقدار شاخص بزرگ‌تر از یک باشد، افزایش بهره‌وری محیط‌زیستی رخ داده است و بنگاه یا مقطع مورد نظر به‌سمت مرز فناوری جهانی حرکت کرده است. در مقابل اگر مقدار شاخص کمتر از یک باشد، کاهش در بهره‌وری محیط‌زیستی وجود دارد. با توجه به مطالعات Pastor و Lovell (۲۰۰۵) و Oh (۲۰۱۰) شاخص GML به دو جزء تجزیه می‌گردد.

(۷)

$$GML^{t,t+1}(x^t,y^t,b^t,x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1}) = \frac{1+D^t(x^t,y^t,b^t)}{1+D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})} \times$$

$$\left[\frac{1+D^G(x^t,y^t,b^t)/1+D^t(x^t,y^t,b^t)}{1+D^G(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})/1+D^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},b^{t+1})}\right]$$

$$= \frac{TE^{t+1}}{TE^t} \times \left[\frac{BPG_{t+1}^{t,t+1}}{BPG_t^{t,t+1}}\right] = EC^{t,t+1} \times BPG^{t,t+1}$$

که TE^s کارایی فنی محیط‌زیستی در دوره زمانی s و $EC^{t,t+1}$ تغییر کارایی محیط‌زیستی بین دو دوره زمانی بوده و اثر فراگیر را نشان‌می‌دهد که به‌موجب آن بنگاه یا مقطع مورد نظر به مرزهای بهره‌وری نزدیک‌تر شده‌اند؛ به طوری که وقتی مقدار آن بزرگ‌تر از یک است، بهبود کارایی محیط‌زیستی وجود دارد و در مقابل وقتی مقدار آن کوچک‌تر از یک است، تخریب کارایی محیط‌زیستی رخ داده است. شاخص $BPG^{t,t+1}$ نشان‌دهنده شکاف بهترین عملکرد بین مرز فناوری موجود و مرز فناوری جهانی در امتداد شعاع مشاهده دوره s در جهت (y^s, b^s) است. از این رو، در محاسبه تغییر فنی محیط‌زیستی در دو دوره، $BPG^{t,t+1}$ نشان‌دهنده تغییر شکاف بهترین عملکرد در طول همین دو دوره است، که بیان می‌دارد چگونه مرز فناوری موجود به‌سمت مرز فناوری جهانی در جهت محصولات مطلوب‌تر و انتشار آلودگی کمتر حرکت می‌کند. بنابراین اگر مقدار $BPG^{t,t+1}$ بزرگ‌تر از یک باشد نشان‌دهنده پیشرفت فنی محیط‌زیستی بوده و اگر مقدار آن کوچک‌تر یک باشد نشان از کاهش پیشرفت فنی محیط‌زیستی دارد.

مدل‌های با متغیر وابسته محدود

با توجه به اینکه متغیر وابسته یعنی بهره‌وری محیط‌زیستی از نوع "متغیر وابسته محدود" است، بنابراین برای تخمین اثرات پیشران‌های بهره‌وری محیط‌زیستی، از روش‌های تخمین دوتایی (لاجیت و پرابیت) و روش "تابیت" استفاده شده‌است. در این مدل‌ها، متغیر وابسته ممکن است تنها دو مقدار داشته باشد (یک متغیر مجازی که وقوع یک رویداد را نشان می‌دهد یا انتخابی بین دو گزینه باشد). در این حالت تصریح مدل به‌گونه‌ای خواهد بود که الزامات تصریح مدل برای متغیرهای وابسته دوتایی در آن لحاظ شود. فرض کنید احتمال مشاهده مقدار یک به‌صورت زیر مدل‌سازی می‌شود (Wooldrige, 2015)؛

(۸)

$$\Pr(y_i = 1|x_i,\beta) = 1 - F(-x_i'\beta)\ ;\ \ \Pr(y_i = 0|x_i,\beta) = F(-x_i'\beta)$$

که F یک تابع پیوسته و اکیداً صعودی بوده است که یک مقدار واقعی از صفر تا یک را در بر می‌گیرد. این مدل را می‌توان به‌صورت خطی و یا غیرخطی برآورد نمود. دو نوع تفسیر در این تصریح مدل وجود دارد. نخست، مدل دوتایی اغلب با هدف تصریح متغیرهای پنهان مطرح می‌شود. فرض کنید یک متغیر پنهان مشاهده‌نشده وجود دارد (y_i^*) که به‌صورت خطی با x در ارتباط است.

$$y_i = \begin{cases} 1 & if\ y_i^* > 0 \\ 0 & if\ y_i^* < 0 \end{cases} \quad (۹)$$

در این وضعیت، مقدار آستانه عدد صفر خواهد بود. البته تا زمانی که عرض از مبداء در مدل وجود داشته باشد، انتخاب مقدار آستانه چندان لزومی ندارد. در این صورت مدل به‌صورت زیر خواهد بود.

(۱۰)

$$\Pr(y_i = 1|x_i,\beta) = \Pr(y_i^* > 0) = \Pr(-x_i'\beta + u_i > 0) = 1 - F_u(-x_i'\beta)$$

که در آن F_u تابع توزیع تجمعی است. برای این تابع، مدل‌های متداول شامل تصریح پرابیت (نرمال استاندارد)، لاجیت (لجستیک) و گامبیت (مقدار حدی) می‌باشند (Wooldrige, 2015).

داده‌ها

با توجه به در دسترس بودن داده‌ها، داده‌های کارگاه‌های کارخانه‌ای ۳۱ استان ایران در دوره ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ جمع‌آوری شد. جدول ۱ به جزئیات متغیرهای ورودی و خروجی مورد استفاده برای اندازه گیری بهره‌وری محیط‌زیستی با استفاده از شاخص GML می‌پردازد. داده‌های محیط‌زیستی از نتایج آمارگیری از ویژگی‌های محیط‌زیستی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر و سایر داده‌ها از نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر استخراج شده‌است. در جدول ۲ آمار توصیفی متغیرهای تحقیق را ارائه شده است. متوسط سطح انتشار فاضلاب و پسماند مایع در کارگاه‌های صنعتی استان‌های ایران ۴۰۲۶/۲ هزار مترمکعب است که استان خوزستان با ۸۱۱۶۵ هزار مترمکعب در سال ۱۳۹۴ (سهم ۶۵ درصدی) با اختلاف بسیار زیاد در صدر تولید فاضلاب و پسماند مایع صنعتی قرار دارد. سهم استان خوزستان در سال ۱۳۹۴ از ارزش افزوده صنعتی کل ۹/۴ درصد بوده است. در مقابل کمترین تولید فاضلاب و پسماند مایع با ۶۱ هزار مترمکعب در سال ۱۳۹۸ به استان ایلام تعلق دارد. سهم استان تهران از ارزش افزوده صنعتی در سال ۱۳۹۸ حدود ۱۲/۴ درصد بوده و در مقابل سهم آن از فاضلاب و پسماند مایع در این سال ۴/۶ درصد می‌باشد. ارزش انرژی مصرفی صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران در دوره ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ متوسط سالانه ۲۶۲۱ میلیارد ریال بوده است. هم‌چنین متوسط ارزش برق و آب مصرفی توسط صنایع کارخانه‌ای نیز به‌ترتیب ۲۲۳۱ و ۳۸۲ میلیارد ریال می‌باشد.

جدول ۳ وضعیت تولیدات نامطلوب صنایع کارخانه‌ای به تفکیک استان‌های ایران در دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ را نشان‌می‌دهد. فاضلاب تولیدی صنایع در سال ۱۳۹۸ حدود ۱۲۶۰۲۸ هزار متر مکعب بوده است. استان خوزستان با تولید ۸۰۱۳۷ هزار مترمکعب و سهم ۶۳/۶ درصدی نقش عمده در تولید فاضلاب سال ۱۳۹۴ داشته است. بعد از استان خوزستان، دو استان تهران و مرکزی بیشترین فاضلاب تولیدی را در سال ۱۳۹۴ داشته‌اند که به‌ترتیب ۸۲۴۰ و ۵۷۰۴ هزار مترمکعب فاضلاب تولید نموده‌اند. در سال ۱۳۹۸ به لطف کاهش ۲۱۹۸۶ هزار مترمکعبی فاضلاب استان خوزستان، فاضلاب صنعتی کل کشور نیز به ۱۱۲۵۸۱ هزار متر مکعب کاهش یافته است.

سطح انتشار پسماند جامد صنایع کارخانه‌ای ایران در سال ۱۳۹۴ حدود ۱۳۰۱۵ هزار تن بوده است که عمده آن به ترتیب توسط استان‌های اصفهان (۲۰/۱ درصد)، کرمان (۱۸/۴ درصد) و خوزستان (۱۲/۰ درصد) تولید شده است. پسماند جامد در سال ۱۳۹۸ به ۱۷۵۴۸ هزار تن افزایش یافته‌است. در این میان هرچند سهم استان اصفهان، کرمان و خوزستان به‌ترتیب به ۱۰/۸، ۱۲/۶ و ۷/۷ درصد کاهش‌یافته، اما سهم استان‌هایی مانند خراسان‌شمالی، زنجان، سمنان، کردستان و یزد به‌شدت افزایش یافته است.

مقدار انتشار پسماند مایع صنایع کارخانه‌ای ایران از ۸۶۹۴ هزار مترمکعب در سال ۱۳۹۴ به ۸۸۷۲ هزار مترمکعب در سال ۱۳۹۸ افزایش یافته‌است. در سال ۱۳۹۴ استان‌های اصفهان (سهم ۱۴/۲ درصدی)، فارس (سهم ۱۲ درصدی)، خوزستان (سهم ۱۱/۹ درصدی) و اردبیل (سهم ۹/۹ درصدی) بیشترین نقش را در تولید پسماند مایع صنعتی کل کشور ایفا کرده‌اند. در سال ۱۳۹۸ سهم استان‌های اردبیل (سهم ۲/۲ درصدی) و فارس (سهم ۲/۸ درصدی) کاهش قابل توجهی داشته است. در مقابل استان‌های مانند آذربایجان غربی (سهم ۱۱/۶ درصدی)، خراسان‌شمالی (سهم ۱۸/۶ درصدی)، زنجان (سهم ۲۸/۵ درصدی)، کرمان (سهم ۲۵ درصدی) و یزد (سهم ۱۶/۵ درصدی) بیشترین سهم در افزایش تولید پسماند مایع در سال ۱۳۹۸ بوده‌اند.

جدول ۱- متغیرهای نهاده و محصول و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها

نهاده‌ها و محصول	شاخص	نحوه اندازه‌گیری
محصول مطلوب	ارزش افزوده صنعتی استان (y)	تعدیل شده با شاخص قیمت تولیدکننده بخش صنعت (ثابت ۱۳۹۰)، میلیون ریال
محصولات نامطلوب	فاضلاب و پسماند صنعتی استان (ww)	مقدار پساب و پسماند صنعتی مایع صنعتی برحسب مترمکعب
	پسماند صنعتی جامد استان (sw)	مقدار پسماند صنعتی جامد تولید شده در کارگاه‌ها را برحسب تن
نهاده‌ها	موجودی سرمایه صنعتی استان (k)	محاسبه با روش موجودی دائمی (ثابت ۱۳۹۰)، میلیون ریال
	اشتغال صنعتی استان (L)	تعداد افراد شاغل در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر، نفر
	مصرف انرژی صنعتی استان (Energy)	ارزش سوخت مصرفی در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر، میلیون ریال
	مصرف برق صنعتی استان (Electricity)	ارزش برق مصرفی در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر، میلیون ریال
	مصرف آب صنعتی استان (Water)	ارزش آب مصرفی در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر، میلیون ریال
عوامل پیشران بهره‌وری محیط‌زیستی	درآمد سرانه استان	نسبت تولید ناخالص داخلی استان به جمعیت استان، میلیون ریال
	ساختار فراوانی عوامل تولید	نسبت موجودی سرمایه به اشتغال کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر، میلیون ریال
	شدت انرژی‌بری	نسبت ارزش سوخت مصرفی به ارزش افزوده کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر، میلیون ریال

منبع: طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر، مرکز آمار ایران و سالنامه آماری کشور

جدول ۲- آمار توصیفی نهاده‌ها و محصولات

متغیرها	میانگین	انحراف استاندارد	بیشترین	کمترین	مشاهدات
ارزش افزوده صنعتی استان (میلیون ریال)	۲۶۶۴۸۹	۳۲۶۰۰۵	۱۷۴۱۴۱۹	۵۲۸۶	۱۵۵
فاضلاب و پسماند مایع صنعتی استان (مترمکعب)	۴۰۲۶۲۱۸	۱۲۰۲۶۶۰۸	۸۱۱۶۵۰۹۱	۶۲۱۲۶	۱۵۵
پسماند صنعتی جامد استان (تن)	۴۶۱۰۶۹	۶۵۳۹۴۵	۲۶۱۱۰۵۹	۶۱۶۰	۱۵۵
موجودی سرمایه صنعتی استان (میلیون ریال)	۸۳۶۳۹۴	۱۰۱۲۸۹۵	۵۲۷۶۴۹۸	۱۸۱۸۷	۱۵۵
اشتغال صنعتی استان (نفر)	۵۷۳۹۹	۷۸۸۳۹	۴۳۲۱۱۶	۲۸۲۳	۱۵۵
مصرف انرژی صنعتی استان (میلیون ریال)	۲۶۲۱۴۰۸	۴۱۶۸۸۹۳	۲۴۵۲۷۵۷۳	۶۰۱۹۶	۱۵۵
مصرف برق صنعتی استان (میلیون ریال)	۲۲۳۱۷۶۰	۳۰۸۲۲۲۸	۲۰۰۰۵۹۳۶	۵۱۹۹۵	۱۵۵
مصرف آب صنعتی استان (میلیون ریال)	۳۸۲۳۷۵	۹۴۶۴۳۱	۵۸۲۱۲۵۴	۲۷	۱۵۵

منبع: مرکز آمار ایران و محاسبات نویسنده

جدول ۳- وضعیت تولیدات نامطلوب صنایع کارخانه‌ای به تفکیک استان‌های ایران

استان	فاضلاب (هزار مترمکعب)				پسماند جامد (هزار تن)				پسماند مایع (هزار مترمکعب)			
	۱۳۹۴		۱۳۹۸		۱۳۹۴		۱۳۹۸		۱۳۹۴		۱۳۹۸	
	مقدار	سهم	مقدار	سهم	مقدار	سهم	مقدار	سهم	مقدار	سهم	مقدار	سهم
کل کشور	۱۲۶۰۲۸	-	۱۱۲۵۸۱	-	۱۳۰۱۵	-	۱۷۵۴۸	-	۸۶۴۷	-	۸۸۷۲	-
آذربایجان شرقی	۲۹۹۸	۲/۴	۳۴۸۷	۳/۱	۳۴۲	۲/۶	۳۶۵	۲/۱	۲۴۶	۲/۸	۳۶۵	۴/۱
آذربایجان غربی	۲۱۸۸	۱/۷	۹۱۹	۰/۸	۷۰۶	۵/۴	۱۰۲۵	۵/۸	۴۹	۰/۶	۱۰۲۵	۱۱/۶
اردبیل	۲۴۲	۰/۲	۲۲۳	۰/۲	۲۲۰	۱/۷	۱۹۸	۱/۱	۸۵۶	۹/۹	۱۹۸	۲/۲
اصفهان	۴۳۷۵	۳/۵	۶۱۹۱	۵/۵	۲۶۱۱	۲۰/۱	۱۸۸۷	۱۰/۸	۱۲۲۹	۱۴/۲	۱۸۸۷	۲۱/۳
البرز	۶۵۵	۰/۵	۶۷۰	۰/۶	۱۴۶	۱/۱	۱۵۱	۰/۹	۲۳۱	۲/۷	۱۵۱	۱/۷
ایلام	۸۲	۰/۱	۶۱	۰/۱	۶۰	۰/۵	۱۹	۰/۱	۳	۰/۰۳	۱۹	۰/۲
بوشهر	۱۲۴۲	۱/۰	۱۹۴۲	۱/۷	۸۵	۰/۷	۱۱۶	۰/۷	۳۶۹	۴/۳	۱۱۶	۱/۳
تهران	۸۲۴۰	۶/۵	۴۴۰۷	۳/۹	۵۹۱	۴/۵	۲۱۵	۱/۲	۴۸۶	۵/۶	۲۱۵	۲/۴
چهار محال و بختیاری	۱۸۰	۰/۱	۲۰۵	۰/۲	۲۰	۰/۲	۱۶	۰/۱	۲۸۴	۳/۳	۱۶	۰/۲
خراسان‌جنوبی	۳۹۴	۰/۳	۱۹۵	۰/۲	۴۳	۰/۳	۵۳	۰/۳	۱۰۵	۱/۲	۵۳	۰/۶
خراسان‌رضوی	۲۵۳۷	۲/۰	۶۹۹۹	۶/۲	۲۰۵	۱/۶	۲۵۱	۱/۴	۲۳۸	۲/۸	۲۵۱	۲/۸
خراسان‌شمالی	۱۹۵۴	۱/۶	۱۲۸۳	۱/۱	۴۴	۰/۳	۱۶۵۱	۹/۴	۲۶	۰/۳	۱۶۵۱	۱۸/۶
خوزستان	۸۰۱۳۷	۶۳/۶	۵۸۱۵۱	۵۱/۷	۱۵۶۷	۱۲/۰	۱۳۴۳	۷/۷	۱۰۲۸	۱۱/۹	۱۳۴۳	۱۵/۱
زنجان	۲۵۱	۰/۲	۱۴۵۸	۱/۳	۸۱۸	۶/۳	۲۵۳۱	۱۴/۴	۸۸	۱/۰	۲۵۳۱	۲۸/۵
سمنان	۳۵۱	۰/۳	۵۵۷	۰/۵	۱۰۲	۰/۸	۶۶۰	۳/۸	۵۲	۰/۶	۶۶۰	۷/۴
سیستان و بلوچستان	۶۲۹	۰/۵	۳۲۲	۰/۳	۲۱	۰/۲	۲۰۰	۱/۱	۱۵	۰/۲	۲۰۰	۲/۳
فارس	۱۶۳۶	۱/۳	۲۱۴۶	۱/۹	۶۱۳	۴/۷	۲۵۰	۱/۴	۱۰۳۴	۱۲/۰	۲۵۰	۲/۸
قزوین	۱۸۰۶	۱/۴	۱۲۱۱	۱/۱	۳۲۰	۲/۵	۲۹۴	۱/۷	۳۱۶	۳/۷	۲۹۴	۳/۳
قم	۴۲۵	۰/۳	۷۱۷	۰/۶	۱۴۴	۱/۱	۹۱	۰/۵	۴۲	۰/۵	۹۱	۱/۰
کردستان	۶۹	۰/۱	۱۲۸	۰/۱	۷۰	۰/۵	۶۶۳	۳/۸	۸۳	۱/۰	۶۶۳	۷/۵
کرمان	۲۹۷۴	۲/۴	۳۵۹۳	۳/۲	۲۳۹۲	۱۸/۴	۲۲۲۰	۱۲/۶	۳۷۲	۴/۳	۲۲۲۰	۲۵/۰
کرمانشاه	۱۱۸۲	۰/۹	۱۶۷۷	۱/۵	۷۴	۰/۶	۷۲	۰/۴	۵۱	۰/۶	۷۲	۰/۸
کهگیلویه و بویراحمد	۸۶	۰/۱	۴۰	۰/۰۴	۸	۰/۱	۷	۰/۰۴	۱۹	۰/۲	۷	۰/۰۷
گلستان	۳۷۷	۰/۳	۵۳۷	۰/۵	۴۵۶	۳/۵	۳۷۱	۲/۱	۹۲	۱/۱	۳۷۱	۴/۲
گیلان	۶۴۴	۰/۵	۵۳۵	۰/۵	۱۱۵	۰/۹	۱۴۳	۰/۸	۲۳۲	۲/۷	۱۴۳	۱/۶
لرستان	۱۷۷	۰/۱	۲۸۶	۰/۳	۲۶۳	۲/۰	۱۱۷	۰/۷	۱۰۲	۱/۲	۱۱۷	۱/۳
مازندران	۱۵۴۱	۱/۲	۴۴۱۰	۳/۹	۱۹۳	۱/۵	۳۸۸	۲/۲	۱۶۴	۱/۹	۳۸۸	۴/۴
مرکزی	۵۷۰۴	۴/۵	۷۲۸۰	۶/۵	۳۴۶	۲/۷	۴۶۱	۲/۶	۵۱۷	۶/۰	۴۶۱	۵/۲
هرمزگان	۱۸۵۵	۱/۵	۱۹۷۲	۱/۸	۱۳۱	۱/۰	۱۶۳	۰/۹	۳۹	۰/۵	۱۶۳	۱/۸
همدان	۸۹۷	۰/۷	۴۰۸	۰/۴	۱۳۱	۱/۰	۱۶۲	۰/۹	۹۶	۱/۱	۱۶۲	۱/۸
یزد	۲۰۰	۰/۲	۵۷۱	۰/۵	۱۷۸	۱/۴	۱۴۶۵	۸/۳	۱۸۴	۲/۱	۱۴۶۵	۱۶/۵

منبع: مرکز آمار ایران و محاسبات نویسنده

نتایج

اندازه‌گیری رشد بهره‌وری محیط‌زیستی: در جدول ۴ متوسط رشد بهره‌وری محیط‌زیستی کارگاه‌های صنعتی ۳۱ استان ایران ارائه شده است. رشد بهره‌وری محیط‌زیستی در این ۳۱ استان متفاوت است؛ به‌گونه‌ای که ۱۷ استان دارای نرخ رشد منفی بهره‌وری محیط‌زیستی هستند، در حالی که ۱۴ استان دیگر دارای نرخ رشد مثبت بهره‌وری محیط زیستی هستند، که استان‌های کردستان، اردبیل، البرز، سمنان، کرمانشاه و یزد ۶ استان برتر در این زمینه بوده‌اند. برای مقایسه بهتر بهره‌وری محیط‌زیستی و بهره‌وری متداول، شاخص GM محاسبه گردید (جدول ۴). لازم به ذکر است سه محصول جانبی مضر برای محیط‌زیست (فاضلاب، پسماند مایع و جامد) در اندازه‌گیری شاخص GM لحاظ نمی‌شوند. همان طور که در سطر آخر جدول ۴ نشان داده شده، رشد کلی بهره‌وری محیط‌زیستی محاسبه شده توسط شاخص GML کمتر از رشد بهره‌وری متداول محاسبه شده توسط شاخص GM است که Oh (۲۰۱۰) این به‌معنای بیش از حد برآورد کردن نرخ رشد بهره‌وری متداول به‌دلیل حذف مصرف انرژی و محصولات جانبی مضر برای محیط‌زیست است. از این نظر، رشد بهره‌وری محیط‌زیستی اندازه‌گیری شده توسط شاخص GML برای محاسبه بهره‌وری در مطالعات توسعه پایدار منطقه‌ای مناسب‌تر است (Oh, 2010). نتایج شاخص‌های GML و GM در استان‌های مختلف بسیار متفاوت است. به‌عنوان مثال، براساس نتایج شاخص GM استان‌های چهار محال و بختیاری، زنجان، کهگیلویه و بویراحمد و گلستان حکایت از بهبود بهره‌وری دارند؛ در حالی نتایج شاخص GML نشان از کاهش بهره‌وری در این استان‌ها دارد. در برخی استان‌ها، مانند البرز، خراسان‌رضوی و شمالی، کرمانشاه، گیلان، لرستان، هرمزگان، همدان و یزد، شکاف بین شاخص‌های رشد بهره‌وری محیط‌زیستی و متداول ناچیز است. یافته‌های تجزیه رشد بهره‌وری کل به تغییر کارایی و تغییر تکنولوژیکی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد نرخ تغییر کارایی و تغییر تکنولوژیک بین شاخص‌های GML و GM به‌طور قابل توجهی متفاوت است. به‌طور کلی، شاخص تغییر تکنولوژیک محیط‌زیستی (BPC) در ۱۸ استان از شاخص تغییر تکنولوژیکی متداول (TC) بیشتر و در ۱۳ استان کمتر است. هم‌چنین شاخص تغییر کارایی محیط‌زیستی در ۲۰ استان کمتر از شاخص تغییر کارایی متداول و در ۱۱ استان بیشتر است. Oh (۲۰۱۰) بیان داشت این تفاوت‌ها از اضافه شدن محصولات جانبی مضر برای محیط‌زیست (محصولات نامطلوب) در شاخص GML ناشی می‌شود. رشد بهره‌وری محیط‌زیستی ناشی از تغییرات تکنولوژیک بوده در حالی که رشد بهره‌وری معمولی متأثر از تغییر کارایی است. در دوره مورد بررسی، در مجموع مرز فناوری موجود می‌تواند به‌سمت مرز فناوری جهانی در جهت محصولات مطلوب‌تر و انتشار آلودگی کمتر حرکت کند؛ زیرا متوسط تغییر کارایی محیط زیستی ۰/۹۹۹ است که بیانگر کاهش کارایی محیط‌زیستی است. به‌عبارت دیگر، بنگاه‌های کارخانه‌ای استان‌های ایران در دوره مورد مطالعه از مرز فناوری موجود عقب‌تر هستند. شکل ۱ تراکم کرنل بهره‌وری محیط‌زیستی و اجزای آن را در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ نشان‌می‌دهد. رآمدگی بهره‌وری در سال ۱۳۹۸ در مقایسه با ۱۳۹۵ پایین‌تر آمده و این‌که "نمای داده‌ها"[۱] با یک تراکم احتمال بالا حوالی صفر واقع شده‌است (شکل الف). این مسطح شدن توزیع نشان‌می‌دهد بهره‌وری محیط‌زیستی در صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران در طول زمان افزایش یافته‌است. رفتار تغییر کارایی (شکل ب) نمایش داده شده، مشابه رشد بهره‌وری است که حکایت از افزایش کارایی محیط زیستی کارگاه‌های صنعتی در استان‌های ایران دارد. در شکل (ج) تغییرات تکنولوژیک محیط‌زیستی نشان داده‌شده است. ملاحظه می‌شود "نمای داده‌های" تغییرات تکنولوژیک در سال ۱۳۹۸ به‌سمت چپ حرکت کرده است. این تغییر در توزیع حاکی از آن است که بسیاری از صنایع تولیدی استان‌های ایران در طول دوره مطالعه پسرفت تغییرات تکنولوژیک را تجربه کرده‌اند. لازم به ذکر است این نتایج تنها مقایسه دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸ است.

۱. Mode

جدول ۴- رشد بهره‌وری کل، تغییر کارایی و تغییر تکنولوژیک محیط‌زیستی کارگاه‌های صنعتی استان‌های ایران؛ ۹۸-۱۳۹۴

کد	استان	شاخص GML و اجزا آن			شاخص GM و اجزا آن			GML/GM
		GML	EC	BPC	GM	EC	TC	
۱	آذربایجان شرقی	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
۲	آذربایجان غربی	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۱/۰۰۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
۳	اردبیل	۱/۰۰۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۸	۱/۰۱	۱/۰۰۶	۱/۰۰۴	۰/۹۹۸
۴	اصفهان	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
۵	البرز	۱/۰۰۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۲	۱/۰۰۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱
۶	ایلام	۰/۹۹۲	۰/۹۹۱	۱/۰۰۱	۰/۹۹۷	۰/۹۹۲	۱/۰۰۶	۰/۹۹۵
۷	بوشهر	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱
۸	تهران	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
۹	چهار محال و بختیاری	۰/۹۹۷	۱/۰۰۰	۰/۹۹۷	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۱/۰۰۰	۰/۹۹۶
۱۰	خراسان‌جنوبی	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰
۱۱	خراسان‌رضوی	۱/۰۰۱	۱/۰۰۲	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱
۱۲	خراسان‌شمالی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۹۶	۱/۰۰۵	۱/۰۰۰
۱۳	خوزستان	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
۱۴	زنجان	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸
۱۵	سمنان	۱/۰۰۲	۱/۰۰۲	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱
۱۶	سیستان و بلوچستان	۰/۹۸۹	۰/۹۹۴	۰/۹۹۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۱
۱۷	فارس	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
۱۸	قزوین	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱
۱۹	قم	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
۲۰	کردستان	۱/۰۱۱	۱/۰۰۸	۱/۰۰۴	۱/۰۰۳	۱/۰۰۳	۰/۹۹۹	۱/۰۰۸
۲۱	کرمان	۰/۹۹۷	۱/۰۰۰	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۱/۰۰۰	۰/۹۹۶	۱/۰۰۱
۲۲	کرمانشاه	۱/۰۰۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۲	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱
۲۳	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۷	۱/۰۰۵	۱/۰۰۳	۰/۹۹۲
۲۴	گلستان	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۱/۰۰۲	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷
۲۵	گیلان	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۱/۰۰۳	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱	۱/۰۰۰
۲۶	لرستان	۱/۰۰۱	۱/۰۰۲	۰/۹۹۹	۱/۰۰۱	۱/۰۰۲	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰
۲۷	مازندران	۱/۰۰۱	۱/۰۰۲	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۲
۲۸	مرکزی	۰/۹۹۸	۱/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹
۲۹	هرمزگان	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰۲	۰/۹۹۹
۳۰	همدان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰
۳۱	یزد	۱/۰۰۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۲
	متوسط	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱	۱/۰۰۱	۱/۰۰۰	۰/۹۹۹

تمامی مقادیر به‌صورت میانگین هندسی هستند

منبع: خروجی نرم‌افزار

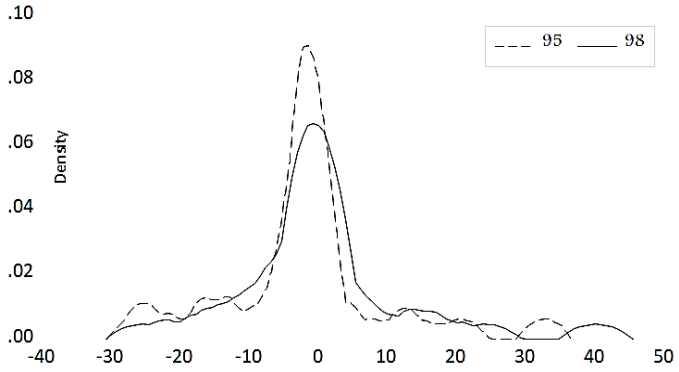
Oh (۲۰۱۰) معتقد بود اگر استانی دارای شاخص بهره‌وری محیط‌زیستی بیشتر از شاخص بهره‌وری متداول باشد، در این‌صورت آن استان در کنار کاهش انتشار آلاینده‌های خود، رشد اقتصادی تجربه کرده است. در مقابل اگر شاخص بهره‌وری محیط‌زیستی استان کمتر از شاخص بهره‌وری متداول آن باشد، استان مورد نظر تأکید کمتری بر کاهش آلودگی و بیشتر بر افزایش تولید توجه داشته است. بر این اساس، می‌توان استان‌ها را با "معیار سازگار با محیط‌زیست" (GML/GM) به دو گروه سبز و زرد دسته‌بندی کرد که نتایج آن در جدول ۵ آمده است. استان‌های سبز آن‌هایی هستند که با اتخاذ سیاست‌های مناسب، بهبود فرآیندهای تولید صنعتی و استفاده کارآمدتر از نظر منابع، در جهت دستیابی به رشد اقتصادی پایدار و بهبود کیفیت محیط زیست حرکت می‌نمایند. در مقابل، در استان‌های زرد فعالیت‌های صنعتی به‌شکلی است که به همگام با افزایش تولیدات صنعتی، آلودگی‌های صنعتی نیز در حال افزایش بوده است.

در میان ۳۱ استان، ۱۰ استان سبز، ۱۶ استان زرد و ۵ استان نه سبز نه زرد شناسایی شدند. استان‌هایی مانند البرز، سمنان، کردستان و کرمانشاه به‌خوبی توانسته‌اند رشد اقتصادی را با کاهش انتشار آلودگی هماهنگ کند. همچنین شایان‌ذکر است که استان‌های بزرگ مانند تهران، اصفهان، خوزستان، فارس از جمله استان‌هایی هستند که بیشتر از آنکه به‌دنبال رشد اقتصادی بوده‌اند و توجه چندانی به کاهش آلاینده‌های صنعتی نداشته‌اند.

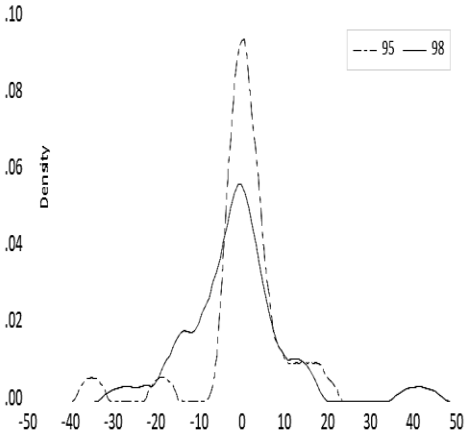
برآورد اثرات پیشران‌های بهره‌وری محیط‌زیستی

با توجه به پیشینه تحقیق به‌خصوص موضوعات مربوط به بهره‌وری و کارایی محیط‌زیستی، پیشران‌های بهره‌وری محیط‌زیستی صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران به‌قرار زیر هستند. عامل نخست، سطح توسعه اقتصادی استان است که از شاخص درآمد سرانه برای اندازه‌گیری آن استفاده شده است. هم‌چنین مجذور درآمد سرانه نیز وارد مدل شده‌است تا رابطه U معکوس بین رشد بهره‌وری محیط‌زیستی و درآمد سرانه اندازه‌گیری شود. با این کار به‌نوعی فرضیه محیط زیستی کوزنتس در صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران آزمون می‌گردد. در صورت تأیید این فرضیه، می‌توان بیان داشت در ابتدای مراحل توسعه، با افزایش درآمد سرانه (رشد اقتصادی)، انتظار می‌رود آلودگی محیط‌زیست افزایش یافته و در نتیجه بهره‌وری محیط‌زیستی کاهش یابد. در ادامه با رسیدن به مراحل بالاتر توسعه، با توجه بیشتر کشور به موضوعاتی نظیر کیفیت محیط‌زیست، انتظار می‌رود با افزایش درآمد سرانه، کیفیت محیط‌زیست هم بهبود یافته و در نتیجه بهره‌وری محیط‌زیستی نیز افزایش یابد. عامل دوم، ساختار فراوانی عوامل تولید است که از نسبت موجودی سرمایه به اشتغال به‌عنوان جایگزین آن در مدل استفاده شده‌است. عامل سوم، شدت انرژی‌بری است. برای اندازه‌گیری این متغیر از نسبت مجموع ارزش انواع سوخت مصرفی به ارزش افزوده بهره گرفته شده‌است. داده‌ها از گزارش طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر در استان‌های ایران و سالنامه آماری کشور در سال‌های مختلف که توسط مرکز آمار ایران منتشر شده، جمع‌آوری شده‌است. نتایج برآورد مدل‌ها در ۶ ستون در جدول ۶ ارائه شده‌است.

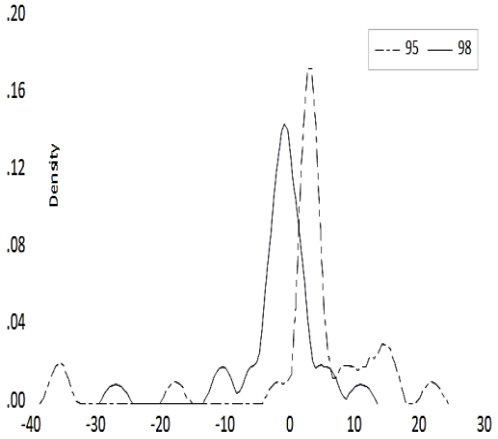
در ستون ۱ نتایج برآورد با روش حداقل مربعات تعمیم‌یافته پانل (Panel EGLS) با توجه به نتیجه آماره F لیمر و در ستون ۲ یافته‌های مدل تابیت (Tobit) برای کل استان‌ها نشان داده‌شده‌است. در ستون‌های ۳ و ۴ نتایج برآورد مدل Tobit برای استان‌های سبز آمده است. جهت محاسبه اثرات جزئی در مدل‌های Tobit از دو روش "تعدیل غیرشرطی" و "تعدیل شرطی" بهره گرفته شده‌است. محاسبه اثرات جزئی با روش تعدیل غیرشرطی در مدل Tobit همانند روش "اثرات جزئی متوسط" یا APE درمدل‌های لاجیت و پرابیت است. در مقابل در تعدیل شرطی از "نسبت معکوس میلز" برای محاسبه اثرات جزئی متغیرها استفاده شده است (Wooldridge, 2015). در ستون‌های ۵ و ۶ نیز به‌ترتیب یافته‌های مدل‌های Probit و Logit آورده شده‌است. همان طور که بیان شد برای محاسبه اثرات جزئی این مدل‌ها از روش APE استفاده شده‌است.



الف: رشد بهره‌وری کل



ج: تغییرات تکنولوژیکی



ب: تغییر کارایی

شکل ۱- تراکم کرنل رشد بهره‌وری کل، تغییر کارایی و تغییرات تکنولوژیکی محیط‌زیستی در ۳۱ استان ایران

جدول ۵- دسته‌بندی استان‌های سبز و زرد براساس شاخص GML/GM

ناهمگنی استان	شاخص GML/GM	استان‌ها
استان‌های سبز	$1 <$	البرز، بوشهر، خراسان‌رضوی، سمنان، قزوین، کردستان، کرمان، کرمانشاه، مازندران، یزد
استان‌های زرد	$1 >$	آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، اصفهان، ایلام، تهران، چهار محال و بختیاری، خوزستان، زنجان، سیستان و بلوچستان، فارس، قم، کهگیلویه و بویراحمد، گلستان، مرکزی، هرمزگان
استان‌های نه سبز نه زرد	$1 =$	خراسان‌جنوبی، خراسان‌شمالی، گیلان، لرستان، همدان

منبع: خروجی نرم‌افزار و محاسبات نویسنده

جدول ۶- برآورد اثرات پیشران‌های رشد بهره‌وری محیط‌زیستی

متغیرها	کل استان‌ها		استان‌های سبز			
	(۱) Panel EGLS	(۲) Tobit تعدیل شرطی و غیرشرطی	Tobit (۳) تعدیل شرطی	Tobit (۴) تعدیل غیرشرطی	(۵) Probit	(۶) Logit
عرض از مبداء	۱/۱۳***	۱/۱۶***	۸/۱۴***	۱۱/۶***	۱۲/۸۹**	۱۳/۸۴**
	(۰/۰۳)	(۰/۰۷)	(۲/۸)	(۲/۸)	(۵/۴)	(۶/۰۹)
درآمد سرانه استان	-۰/۰۵***	-۰/۰۵**	-۲/۸۱***	-۴/۰۱***	-۴/۶۲**	-۴/۹۶**
	(۰/۰۱)	(۰/۰۲۷)	(۱/۰۱)	(۱/۰۱)	(۲/۰۶)	(۲/۳۴)
مجذور درآمد سرانه استان	۰/۰۰۴***	۰/۰۰۴**	۰/۲۳**	۰/۳۳**	۰/۳۹**	۰/۴۳**
	(۰/۰۰۹)	(۰/۰۰۲۵)	(۰/۰۹)	(۰/۰۹)	(۰/۲۱)	(۰/۲۲)
ساختار فراوانی عوامل تولید	۰/۰۰۴***	۰/۰۰۴**	۰/۲۷***	۰/۳۸***	۰/۳۸***	۰/۳۹***
	(۰/۰۰۱)	(۰/۰۰۱)	(۰/۰۸)	(۰/۰۸)	(۰/۱۲)	(۰/۱۳)
شدت انرژی‌بری	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۶***	-۰/۲۱***	-۰/۳۱***	-۰/۳۱***	-۰/۳۱***
	(۰/۰۰۱)	(۰/۰۰۱)	(۰/۰۵)	(۰/۰۵)	(۰/۰۹)	(۰/۰۹)
ضریب تعیین	۰/۱۶					
آماره F لیمر	۱/۸۵					
ضریب تعیین مک‌فادن					۰/۱۷	۰/۱۷
نیکویی برازش AHL					۱۲۲/۷	۱۲۳/۷
نیکویی برازش اندروز					۱۲۴	۱۲۴
تعداد مشاهدات	۱۲۴	۱۲۴	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰

اعداد داخل پرانتز انحراف‌معیار هستند؛ *، ** و *** به‌ترتیب معنادار در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد

منبع: خروجی نرم‌افزار

ضرایب ساختار فراوانی عوامل تولید یا همان نسبت موجودی سرمایه به اشتغال در تمامی مدل‌ها مثبت و معنادار است، که نشان‌می‌دهد افزایش شدت سرمایه سبب رشد بهره‌وری محیط‌زیستی در صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران می‌شود. در واقع وقتی نسبت موجودی سرمایه به اشتغال افزایش می‌یابد، به‌نوعی سرمایه‌گذاری جدید و یا جبران استهلاک در سرمایه موجود رخ داده و چون در تمامی مدل‌ها، ضرایب درآمد سرانه منفی و معنی‌دار هستند، در حالی که مجذور درآمد سرانه علامت مثبت و معنادار می‌باشد. این نشان می‌دهد رابطه بین درآمد سرانه و رشد بهره‌وری محیط زیستی یک منحنی U معکوس است. به‌عبارت دیگر، با افزایش سطح توسعه اقتصادی استان‌ها تا مقدار آستانه، رشد بهره‌وری محیط‌زیستی با کاهش همراه خواهد بود که این به معنای انتشار آلودگی بیشتر است. اما با عبور سطح توسعه اقتصادی (درآمد سرانه) از این مقدار آستانه، افزایش درآمد سرانه سبب افزایش رشد بهره‌وری محیط‌زیستی یا همان کاهش انتشار آلودگی می‌شود. در مدل‌های برآوردی استان‌های سبز یعنی ستون‌های ۳ تا ۶ این اثرات به‌مراتب قویتر می‌باشد. بنابراین، ما شواهد تجربی بر حمایت از فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس تأکید دارند. عمده انتشار آلودگی به‌دلیل فرسودگی سرمایه می‌باشد، بنابراین می‌توان انتظار داشت انتشار آلودگی کاهش داشته و سبب رشد

بهره‌وری کل محیط‌زیستی گردد. در نهایت، ضرایب برآوردی شدت انرژی‌بری یا نسبت مصرف انرژی به ارزش افزوده در همه مدل‌ها به‌جز مدل نخست منفی و معنادار هستند. بهبود تکنولوژی و نگرانی‌های مربوط به محیط‌زیست، منجر به کاهش شدت انرژی‌بری شده و سبب افزایش بهره‌وری محیط‌زیستی خواهد شد. ضرایب منفی شدت انرژی‌بری بیان می‌دارد با افزایش شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران، انتشار آلودگی افزایش یافته و در نتیجه بهره‌وری محیط‌زیستی کاهش خواهد یافت.

بحث

هدف اصلی این مقاله اندازه‌گیری رشد بهره‌وری کل محیط‌زیستی در صنایع کارخانه‌ای استان‌های ایران با محصولات نامطلوب است. در بخش نخست با استفاده از داده‌های کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر در دوره ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ و با استفاده از شاخص‌های GML و GM؛ رشد بهره‌وری، تغییر کارایی و تغییرات تکنولوژیک محیط‌زیستی برای ۳۱ استان ایران برآورد شد. نتایج شاخص GML نشان‌می‌دهد استان‌های بزرگ مانند تهران، اصفهان، خوزستان و فارس در دوره مورد بررسی افت در بهره‌وری محیط‌زیستی را تجربه کرده‌اند و در مقابل استان‌هایی مانند البرز، سمنان و کرمانشاه در کنار توجه به رشد تولیدات صنعتی، بر کاهش انتشار آلودگی صنعتی ناشی از تولید نیز متمرکز بوده‌اند. در میان ۳۱ استان، تنها ۱۰ استان در زمره استان‌های سبز بوده‌اند که اغلب آنها از جمله استان‌های کوچک با سهم اندک در تولیدات صنعتی بوده‌اند و این چندان نمی‌تواند مناسب باشد. تجزیه بهره‌وری محیط‌زیستی نشان داد متوسط رشد بهره‌وری در استان‌های ایران ناشی از تغییرات تکنولوژیکی بوده است. بخش دوم به برآورد اثرات پیشران‌های رشد بهره‌وری محیط‌زیستی در استان‌های ایران اختصاص داشت. نتایج مدل‌های Tobit، Logit و Probit برای هر دو نمونه کل‌استان‌ها و استان‌های سبز بیان می‌دارند رابطه بین درآمد سرانه و رشد بهره‌وری محیط‌زیستی به‌شکل U معکوس می‌باشد. افزایش نسبت سرمایه به اشتغال می‌تواند به افزایش رشد بهره‌وری منجر شود؛ اما هرچه شدت انرژی‌بری صنایع کارخانه‌ای افزایش یابد، بهره‌وری محیط‌زیستی با کاهش همراه خواهد شد.

با توجه به نتایج مقاله، می‌توان برخی از توصیه‌های سیاستی را پیشنهاد کرد. نخست، به‌کارگیری و توسعه فناوری‌های پاک‌تر و فناوری‌هایی که در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کنند، عوامل اصلی رشد بهره‌وری محیط‌زیستی و توسعه پایدار استان‌های ایران در آینده هستند. بنابراین سیاست‌گذار باید برنامه‌هایی را برای ترغیب بنگاه‌ها به استفاده یا توسعه فناوری‌های پاک‌تر و فناوری‌های صرفه‌جو در انرژی تدوین کنند. دوم، رابطه U معکوس بین درآمد سرانه و رشد بهره‌وری محیط‌زیستی و از آنجا که تقریباً تمامی استان‌های بزرگ مانند تهران و اصفهان با مشکلات محیط‌زیستی دست و پنجه نرم می‌کنند، لذا توسعه سیاست‌هایی برای افزایش تمرکز صنعتی در سایر استان‌ها ضروری است. در استان‌های با فعالیت‌های اقتصادی بیش از حد مانند تهران، اصفهان و خوزستان، لازم است کنترل مناسبی بر تراکم صنایع و جمعیت در این استان‌ها انجام شود تا از انتشار آلودگی و سایر بیماری‌های شهرهای بزرگ که توسعه پایدار را تهدید می‌کنند، جلوگیری شود.

لازم به ذکر است در رویکرد بهبود بهره‌وری محیط‌زیستی، با به‌کارگیری از ابزارها و روش‌های مرتبط از طریق ارزیابی عملکرد بنگاه‌های اقتصادی (از جمله صنایع کارخانه‌ای)، فرآیند قیمت‌گذاری پسماندها و ضایعات منابع اقتصادی در فرآیند تولید اصلاح شده و همچنین تلاش برای کاهش آلودگی و اثرات مخرب محیط‌زیستی بنگاه‌ها، موجب ارتقاء بهره‌وری، سود، رقابت‌پذیری و بهبود کیفیت زندگی بشر می‌گردد. بهره‌وری محیط‌زیستی در صنعت، تنها به تغییر فناوری اشاره ندارد بلکه با تمرکز بر استفاده کارا و بهینه از مواد اولیه، انرژی و آب و برق در جهت کاهش تولید پسماندها و توجه به محیط‌زیست در تمام مراحل تولید و یا دوره حیات محصول، موجب تغییر نگرش در تمام سطوح بخش مدیریت می‌شود. در نتیجه کاهش مصرف نهاده‌های تولید به‌ازای سطح مشخصی از تولید و یا ارائه خدمات،

کاهش هزینه‌های تولید، کیفیت و رقابت‌پذیری محصولات در سطح ملی و جهانی ارتقا می‌یابد که نتیجه آن بهبود رشد اقتصادی خواهد بود. بنابراین از پیامدهای کلیدی بهره‌وری محیط‌زیستی، رشد اقتصاد سبز می‌باشد. در مجموع به‌کارگیری بهره‌وری محیط‌زیستی در همه صنایع و بنگاه‌های تولیدی کوچک و بزرگ، افزایش سودآوری و رشد اقتصادی را با توجه به مسائل محیط‌زیستی به‌همراه دارد که می‌توان آن را نگرشی دوست‌دار محیط‌زیست دانست.

منابع

1. **Abedi, S., Daneshmand, A. and Noria, S., 2019**. Investigating factors affecting on the green productivity growth in Iran's economy. Economic research, 54(3), 633-658. (In Persian with English abstract)
2. **Ananda, J. and Hampf, B., 2015.** Measuring environmentally sensitive productivity growth: An application to the urban water sector. Ecological Economics, 116, 211-219.
3. **Arabi, B., Munisamy, S., and Emrouznejad, A. 2015.** A new slacks-based measure of Malmquist–Luenberger index in the presence of undesirable outputs. Omega, 51, 29-37.
4. **Chambers, R.G., Chung, Y. and Färe, R., 1996.** Benefit and distance functions. Journal of economic theory, 70(2), 407-419.
5. **Chen, S. and Golley, J., 2014.** Green productivity growth in China's industrial economy. Energy Economics, 44, 89-98.
6. **Chung, Y.H., Färe, R. and Grosskopf, S., 1997.** Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. Journal of Environmental Management, 51(3), 229-240.
7. **Cohen-Rosenthal, E. and Musnikow, J., 2017.** What is eco-industrial development? In Eco-Industrial Strategies (pp. 14-29). Routledge.
8. **Dashti, Q., Sani, F., Qahremanzade, M. and Sani, R., 2019.** Total factor productivity growth decomposition and measuring in the dairy industry of Iran. Animal science research (agricultural knowledge), 29(1), 61-76. (In Persian with English abstract)
9. **Fan, M., Shao, S. and 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.
10. **Färe, R. and Grosskopf, S., 2010.** Directional distance functions and slacks-based measures of efficiency. European journal of operational research, 200(1), 320-322.
11. **Färe, R., Grosskopf, S. and Pasurka Jr, C.A., 2007.** Environmental production functions and environmental directional distance functions. Energy, 32(7), 1055-1066.
12. **Fathabadi, M. and Sofimajidpour, M., 2018.** Higher education, technical efficiency and total productivity changes: Evidences of Iran's manufacturing industries. Research and planning in higher education, 24(2), 27-51. (In Persian with English abstract)
13. **Fathabadi, M., 2017.** Intellectual capital, total productivity and technical efficiency changes: Evidence of Iran's insurance industry. Economic growth and development research, 8(29), 145-156. (In Persian with English abstract)
14. **Fukuyama, H. and Weber, W.L., 2009.** A directional slacks-based measure of technical inefficiency. Socio-Economic Planning Sciences, 43(4), 274-287.
15. **Haqiqatpishe, H., Kordrostami, S. and Amirteymori, A., 2021.** The highest scale of production efficiency with the presence of environmental factors in data envelopment analysis. New researches in mathematics, 7(31), 185-204. (In Persian with English abstract)
16. **Homaian, M. and Aqapoursabaqi, M., 2018.** Calculating environmentally compatible productivity in the agricultural sector. Natural environment (Iran's natural resources), 71(2), 255-268. (In Persian with English abstract)
17. **Iran Statistics Center (various years).** Statistical data and information, industry and mining sector, statistical tables, statistics plan from industrial firms of 10 workers and more. https://www.amar.org.ir/
18. **Mahmodzade, M. and Fathabadi, M., 2016.** Driving factors of total factor productivity in Iran's manufacturing

industries. Economic modeling research, 26(4), 141-165. (In Persian with English abstract)
19. **Mashayekhi, B., Hojabrkiani, K., Khalili, F. and Asgari, F., 2021.** Investigating the effect of information and communication technology and foreign direct investment on green productivity in Iran. Environmental science and technology, 23(1), 253-266. (In Persian with English abstract)
20. **Oh, D.H., 2010.** A global Malmquist-Luenberger productivity index. Journal of productivity analysis, 34(3), 183-197.
21. **Parsa, P., Sadeqi, Z. and Jalaei esfandabadi, S., 2015.** Environmental productivity growth Decomposition using the distance function in the provinces of Iran. Iranian applied economic studies, 4(16), 1-24. (In Persian with English abstract)
22. **Pastor, J.T. and Lovell, C.K., 2005.** A global Malmquist productivity index. Economics Letters, 88(2), 266-271.
23. **Sofimajidpour, M. and Isazadeh, S., 2017.** Total factor productivity growth, technological progress and efficiency changes: empirical evidence from Iran's manufacturing industries. Economic modeling, 11, 4(40), 29-48. (In Persian with English abstract)
24. **Wang, X., Ding, H. and Liu, L., 2019.** Eco-efficiency measurement of industrial sectors in China: A hybrid super-efficiency DEA analysis. Journal of Cleaner Production, 229, 53-64.
25. **Wang, Y. and Shen, N., 2016.** Environmental regulation and environmental productivity: The case of China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 758-766.
26. **Wang, Z. and Feng, C., 2015.** Sources of production inefficiency and productivity growth in China: a global data envelopment analysis. Energy Economics, 49, 380-389.
27. **Wooldridge, J.M., 2015.** Introductory econometrics: A modern approach. Cengage learning.
28. Yang, L., & Zhang, X. (2018). Assessing regional eco-efficiency from the perspective of resource, environmental and economic performance in China: A bootstrapping approach in global data envelopment analysis. Journal of cleaner production, 173, 100-111.
29. **Zhu, L. and He, F., 2022.** A multi-stage Malmquist-Luenberger index to measure environmental productivity in China's iron and steel industry. Applied Mathematical Modelling, 103, 162-175.

2023, The Author(s). Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Environment & Interdisciplinary Development
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

Estimating Environmental Productivity and Its Drivers With an Emphasis on Undesirable Products: an Analysis of Iran's Province Manufacturing Industries

Mehdi Fathabadi*[1]

1*- Department of Economics, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran

Original Article

Received:
2022.09.01

Accepted:
2023.05.28

Keywords:
Environmental Productivity, Global Malmquist-Luenberger Index, Industrial Sewage and Waste, Iran's Manufacturing Industries.

Abstract

Introduction: Along with the manufacturing industries development, the sustainable development of this sector should be based on the continuous productivity growth of firms from the point of view of technological progress and efficiency improvement. In the manufacturing sector, product production can be accompanied by undesirable or unfavorable products, such as polluting gases, sewage, solid and liquid wastes, which ignoring them may lead to unbiased productivity and technical changes. The purpose of this article is to evaluate the changes of productivity and environmental efficiency of manufacturing industries in Iran's provinces.

Materials and Method: To achieve the goal of the article, a two-step approach is used. In the first stage, the global Malmquist-Luenberger productivity index was measured the consideration of sewage and waste undesirable outputs and was divided into two components, technical efficiency changes and technological progress. In the second stage, the effect of environmental productivity growth drivers was estimated using Tobit, Logit and Probit models. The data of this article were extracted from the reports of the survey plan from industrial firms with 10 or more workers in the period of 2015-2019.

Results: The findings of the first stage state that technological progress is the main contributor to environmental productivity growth in Iran's manufacturing industries. The average change of environmental productivity has been Also decreased, which shows that the Iran's provinces manufacturing firms are behind the existing global technology frontier. In our period, the criterion of eco-friendliness showed that 10 provinces were green and 16 were yellow, and the big provinces are also among yellow provinces. The results of the second stage indicate that there is an inverted U-shaped relationship between per capita income and environmental productivity

* Corresponding Author's email: fathabadi.mehdi@iau.ac.ir

growth. Also, the increase in the ratio of capital to employment has led to an increase in the environmental productivity growth; But the increase of energy intensity of manufacturing industries will reduce the environmental productivity.

Discussion: In order to improve environmental productivity, industrial firms can help improve productivity, profit, competitiveness and enhance the quality of human life through evaluating the performance of economic firms, pricing processes of waste and waste of economic resources in the production process, as well as efforts to reduce pollution and harmful effects of the environment. Therefore, by reducing the production inputs consumption for a certain level of production or providing services, the reduction of production costs, the quality and products competitiveness at the national and global level will be improved, and the result will be the improvement of green economic growth. According to the results of the article, some policy recommendations can be suggested. First, the application and development of cleaner technologies and technologies that save energy consumption are the main drivers for the environmental productivity growth and sustainable development of Iran's provinces in the future. Second, considering the relationship between per capita income and the environmental productivity growth and since almost all large provinces such as Tehran and Isfahan are struggling with environmental problems, it is necessary to develop policies to increase industrial concentration in other provinces. In provinces with excessive economic activities such as Tehran, Isfahan and Khuzestan, it is necessary to control the industries density and population in these provinces in order to prevent the spread of pollution and other diseases of big cities that threaten sustainable development.