

Evaluation of the energy supply chain in the petrochemical industry using the Malmquist cost efficiency index and interactive qualitative analysis (IQA)

Ali Karampour1- Shahrzad Tayaran2*- Mirfeiz Fallahshams3

Abstract

As an important part of the competitive functions of industries, especially parent industries such as petrochemicals, the energy supply chain plays an important role in maintaining the competitiveness and continuous improvement of companies active in this industry, therefore, the evaluation of the pattern of the energy supply chain in the petrochemical industry, using the Malmquist productivity index, Reducing production costs and better evaluating the industry and formulating future policies of companies active in this field can help. First, the input and output of the energy supply chain are identified using the interactive qualitative analysis method, and according to the type of input, a mathematical model is written to estimate the input costs to supply the output and the efficiency of the supply chain in two consecutive years. The Malmquist cost index is estimated according to the outputs of the model, and the petrochemical company that has the highest Malmquist cost index and the lowest output costs is selected as the optimal solution of the model.

Keywords

energy supply chain, interactive qualitative analysis, supply chain input and output, Energy supply chain efficiency, Mathematical model of efficiency, Cost Malmquist index.

1. PhD student, Department of Industrial Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Karampour82@yahoo.com

2. Assistant Professor, Department of Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. **Corresponding Author**, stayaran@yahoo.com

3. Associate Professor, Department of Finance, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, fallahshams@gmail.com



ارزیابی زنجیره تأمین انرژی در صنعت پتروشیمی با استفاده از شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیست هزینه‌ای و تحلیل کیفی تعاملی (IQA)

علی کرم‌پور^۱، شهرزاد طیاران^{۲*}، میرفیض فلاح‌شمس^۳

چکیده

زنجیره تأمین انرژی به‌عنوان بخش مهمی از کارکردهای رقابتی صنایع به‌ویژه صنایع مادر همچون پتروشیمی، نقش مهمی برای حفظ رقابت و بهبود مستمر شرکت‌های فعال در این صنعت ایفا می‌کند لذا ارزیابی الگوی زنجیره تأمین انرژی در صنعت پتروشیمی، با استفاده از شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیست منجر به کاهش هزینه‌های تولید و ارزیابی بهتر صنعت و تدوین سیاست‌های آتی شرکت‌های فعال در این عرصه می‌شود. ابتدا ورودی و خروجی‌های زنجیره تأمین انرژی با استفاده از روش تحلیل کیفی تعاملی شناسایی شده و با توجه به جنس ورودی مدل ریاضی جهت برآورد هزینه‌های ورودی جهت تأمین خروجی و کارایی زنجیره تأمین در دو سال متوالی نوشته شده سپس شاخص مالک‌کوئیست هزینه‌ای با توجه به خروجی‌های مدل برآورد می‌شود و پتروشیمی که بیشترین مقدار شاخص هزینه‌ای مالک‌کوئیست و کمترین مقدار هزینه‌های خروجی را داراست به‌عنوان جواب بهینه موردنظر مدل انتخاب می‌شود.

واژگان کلیدی: زنجیره تأمین انرژی، تحلیل کیفی تعاملی، ورودی و خروجی زنجیره تأمین، کارایی زنجیره تأمین انرژی، مدل ریاضی کارایی، شاخص مالک‌کوئیست هزینه‌ای.

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، Karampour82@yahoo.com
۲. استادیار، گروه مدیریت، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، نویسنده مسئول، stayaran@yahoo.com
۳. دانشیار، گروه مالی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، fallahshams@gmail.com

مقدمه

امروزه زنجیره تأمین به‌عنوان یکی از قسمت‌های مهم هر فعالیت اقتصادی، نقش تعیین‌کننده‌ای در توسعه و پایداری صنایع دارد (Altay & Pal, 2023). ایجاد هماهنگی بین این بخش‌ها امری حیاتی است که بدون برنامه‌ریزی این امر امکان‌پذیر نیست (Eftekhari Toroghi et al, 2024). یک سیستم تصمیم‌گیری متمرکز سنتی نمی‌تواند به‌راحتی تمام جریان اطلاعات و اقدامات را مدیریت کند (Prabhu, M. and Srivastava, 2022)؛ بنابراین، زنجیره تأمین در کنار کسب مزیت‌های رقابتی می‌تواند مبنایی برای بهره‌وری هزینه‌ای صنایع تلقی شود (Falah Lajimi et al, 2021). شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیست (MPI) به‌عنوان یک شاخص عملکرد نسبی تفسیر می‌شود که بهره‌وری را بین چند دوره اندازه‌گیری می‌کند و کاملاً ناپارامتریک است و فاصله خروجی‌ها و ورودی‌ها را تحت شرایط تکنولوژی ثابت در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد (Walheer, 2019). شاخص CMPI دارای همان ویژگی‌های شاخص MPI اولیه است یعنی ماهیت ناپارامتریک، تجزیه بهره‌وری هزینه به منابع مختلف را داراست و مزیت اضافی در نظر گرفتن حداقل‌سازی هزینه DMUها را دارد (Yang & Huang, 2016). این شاخص با استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های زنجیره تأمین براساس تغییرات محیطی، نقطه بهینه بهره‌وری را برآورد می‌کند و با ترکیب همزمان تغییرات تکنولوژی و کارایی در صنایع مختلف، تأثیر کنترل هزینه‌ها بر افزایش اثربخشی زنجیره تأمین را مشخص می‌کند (Ilyas & Rajasekaran, 2019). این شاخص پیوندهای بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را تشخیص می‌دهد و نتایج هزینه بهره‌وری را در هر خروجی ارائه می‌دهد (Walheer, 2017). مزیت اصلی استفاده از شاخص مالک‌کوئیست هزینه تعیین تغییر کارایی تخصیصی و اثر قیمت است که به پویایی بهره‌وری در تعیین منابع تجزیه‌پذیر هزینه کمک می‌کند (Balezentis et al, 2013). لذا در این پژوهش برای ارزیابی الگوی زنجیره تأمین انرژی در صنعت پتروشیمی، از شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیست به‌عنوان مبنایی برای کاهش هزینه‌های تولید استفاده می‌شود (Dehghan et al, 2023). این پژوهش از طریق تحلیل‌های ترکیبی به واکاوی مفهوم زنجیره تأمین انرژی در صنعت پتروشیمی می‌پردازد. ابتدا با استفاده از روش‌های کیفی نهاده‌ها و ستاده‌های زنجیره تأمین انرژی شناسایی می‌شوند و سپس جهت ارزیابی نقطه بهینه بهره‌وری هزینه از روش کمی استفاده می‌شود (Imani et al, 2023).

مفهوم زنجیره تأمین انرژی: زنجیره تأمین انرژی معمولاً شامل شبکه‌ای از عرضه، تولید، حمل و نقل، ذخیره‌سازی و مصرف‌کننده است که توسط زیرساخت‌های فیزیکی، مالی، جریان اطلاعات و انتقال به هم مرتبط هستند (Khoshroo et al, 2020). زنجیره تأمین انرژی شامل انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر است (Alfaqiri et al, 2019).

مفهوم شاخص بهره‌وری: در میان شاخص‌های مقایسه‌ای موجود، شاخص بهره‌وری از عوامل کلیدی در سنجش به‌کارگیری مطلوب داده‌ها در تولید محسوب می‌شود. زیرا با ارزیابی و مقایسه داده‌ها می‌توان برنامه‌ریزی مناسبی با هدف اصلاح و بهبود سازمان یا صنعت ارائه نمود (Saljughni & Abasi, 2022). بهره‌وری نقش مهمی در اقتصاد و بهبود استانداردهای زندگی دارد و در توسعه و رشد اقتصادی کشور تأثیر بسزایی دارد (اعتضادی و همکاران، ۱۴۰۰).

مفهوم کارایی: از نظر فارل (۱۹۵۷) کارایی به مفهوم به‌دست آوردن محصول از مجموعه مشخص و به میزان کافی اتلاق می‌شود. او کارایی را در سه گروه کارایی فنی، اقتصادی و تخصیصی تقسیم نمود. واگنر و همکاران (۲۰۰۲) مفهوم کارایی زیست‌محیطی را برای اولین بار ارائه دادند و آن را به‌عنوان نسبت حداقل استفاده بالقوه به بالفعل نهاده‌های زیانبار تعریف نمودند. مهرابی و پاکروان (۲۰۰۹) کارایی را به‌عنوان توانایی سازمان در به‌دست آوردن حداکثر ستاده از حداقل نهاده‌های در دسترس تعریف نمودند.

مفهوم شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیست هزینه‌ای: این شاخص مبتنی بر شاخص‌های عددی هست، تغییرات در بهره‌وری کل شامل تغییرات در کارایی و تغییرات تکنولوژی است. این شاخص ابتدا در سال ۱۹۵۳ توسط مالک‌کوئیست در زمینه تئوری مصرف بیان شد (Xu et al, 2021). این شاخص تغییرات در بهره‌وری کل را به تفکیک تغییرات در کارایی فنی و تغییرات تکنولوژی محاسبه می‌کند. در شاخص مالک‌کوئیست فرض حداقل‌سازی هزینه یا حداکثرسازی درآمد وجود ندارد و تنها نیازمند مشاهده مقداری داده‌ها و ستانده‌ها هستیم (Dorudi et al, 2022). این شاخص از مهم‌ترین شاخص‌های محاسبه رشد بهره‌وری است. هنگامی که قیمت ورودی‌ها معلوم است و تصمیم‌گیران قصد دارند هزینه را به حداقل برسانند می‌توان از این شاخص استفاده نمود. بنابراین تغییرات کارایی هزینه از عوامل مؤثر در پیشرفت و پسرفت واحد تصمیم‌گیرنده در طی زمان است (Mirzaeian & Falahinezhad, 2022).

روش‌شناسی

این پژوهش به دنبال ارائه‌ی الگویی اثربخش از ابعاد شاخص مالمکوئیست هزینه‌ای در صنعت پتروشیمی از طریق تحلیل مضمون است. ابتدا از تحلیل تعاملی کیفی جهت ارزیابی داده‌های پژوهش استفاده می‌شود: در گام نخست گروه‌های کانونی توسط مدیران و متخصصان صنعت پتروشیمی و اساتید دانشگاهی در زنجیره تأمین تشکیل می‌شوند و در گام بعدی به تحلیل مضمون پرداخته می‌شود بدین شکل که در مرحله فراترکیب ابتدا تعداد ۲۲ مقاله در حوزه زنجیره تأمین انرژی و ستاده‌ها و نهاده‌های آن شناسایی شد حال از نظر محتوا، عنوان و تحلیل غربال می‌شوند. حال از خبرگان خواسته می‌شود به معیارها امتیازهای ۱ تا ۵ داده شود و ارزیابی خود را درباره وضعیت هر مقاله علامت بزنند که ۱۰ هدف را تا چه حد برآورده می‌کنند و در نهایت امتیازهای مرتبط با هر پژوهش با هم جمع می‌شوند. در این قسمت چک‌لیستی در اختیار خبرگان قرار داده می‌شود و از آن‌ها خواسته می‌شود درباره هر معیار حد کفایت نظری ارائه دهند و نهایتاً با هم جمع می‌شوند و میانگین آن‌ها به‌عنوان حد کفایت نظری این گام تعیین می‌شود که حد کفایت نظری ۳۰ تعیین شد که پژوهش‌هایی که امتیاز آن‌ها کمتر از ۳۰ باشد حذف می‌شوند. جدول ۱ براساس شاخص مد تکمیل شده است.

دو پژوهش نمره کمتر از ۳۰ دریافت کردند و حذف شدند. حال از روش امتیازدهی جهت تعیین مضامین گزاره‌ای مطابق جداول زیر استفاده می‌شود. در هر سطر پژوهش تأیید شده و در هر ستون معیارهای استخراج شده از این مقالات نوشته می‌شود. سپس امتیازهای هر ستون با هم جمع می‌شوند و امتیازهای بالاتر از میانگین پژوهش‌های انجام شده، به‌عنوان مؤلفه پژوهش انتخاب می‌شوند (جدول ۲ و جدول ۳).

متغیرهای تعداد ماشین‌آلات مورد استفاده در تولید (سرمایه فیزیکی)، تعداد نیروی کار، میزان مواد مصرفی در تولید (مثل سوخت) به‌عنوان ورودی و متغیر میزان تولید محصولات و خدمات به‌عنوان خروجی دارای بیشترین فراوانی هستند و به‌عنوان معیار اصلی تعیین گزاره‌های پژوهش انتخاب می‌شوند. همانطور که مشاهده می‌شود میزان مصرف سوخت قطعه‌ای خطی است چون قیمتش به‌عنوان یک عدد ثابت از جانب دولت تعیین می‌شود و مقادیر بقیه متغیرها ثابت و یکنواخت هستند.

جدول ۱. ارزیابی مقالات جهت تعیین مضامین پژوهش

مقالات	اهداف پژوهش	منطق روش پژوهش	طرح پژوهش	نمونه‌گیری	جمع‌آوری داده‌ها	دقت تجزیه و تحلیل	انعکاس پذیری بیان نظری و شفاف یافته‌ها	ارزش پژوهش	ملاحظات اخلاقی	جمع امتیازها
مانیاداکیس و تانسولیس (۲۰۰۴)	۱	۱	۱	۴	۶	۲	۶	۱	۱	۳۴
ویلوک و ویلسون (۲۰۱۲)	۴	۲	۱	۴	۴	۲	۴	۴	۱	۴۶
خانجانی و مانیاداکیس و تانسولیس (۲۰۱۴)	۴	۲	۲	۳	۲	۱	۲	۲	۳	۲۲
توحیدی و توحیدنیا (۲۰۱۵)	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲۶
والهر (۲۰۱۷)	۴	۴	۳	۳	۳	۲	۲	۴	۲	۳۳
فالویگنا و همکاران (۲۰۱۷)	۳	۴	۵	۴	۳	۴	۲	۴	۳	۴۱
کوزه و ازبوگدی (۲۰۱۹)	۴	۲	۳	۳	۲	۲	۲	۴	۴	۳۲
اصغر و رحمان و علی (۲۰۱۹)	۴	۴	۴	۴	۴	۲	۴	۴	۴	۳۸
ژو و همکاران (۲۰۲۱)	۵	۴	۴	۴	۴	۵	۴	۴	۵	۴۴
چو و چن (۲۰۲۱)	۵	۵	۴	۴	۴	۵	۵	۴	۵	۴۶
تولایی و علیرضایی (۲۰۲۱)	۵	۵	۵	۳	۵	۵	۵	۵	۵	۴۸
رضایی هزاوه و فلاح‌نژاد (۲۰۲۱)	۴	۵	۵	۴	۵	۵	۴	۵	۴	۴۵
میرزائیان و فلاح‌نژاد (۱۴۰۰)	۵	۵	۵	۴	۴	۵	۴	۵	۴	۴۶

جدول ۲. ارزیابی مقالات جهت تعیین مضامین گزاره‌ای (متغیر ورودی) پژوهش

مقالات مورد مطالعه	سرمایه فیزیکی مورد نیاز برای تولید	تعداد نیروی کار	میزان مواد مصرفی در تولید	میزان مواد اولیه در تولید	متوسط دستمزد	سرمایه مالی	ظرفیت تولید
مانیاداکیس و تانسلیس (۲۰۰۴)	*	*	*				
ویلوک و ویلسون (۲۰۱۲)	*	*	*				
والهر (۲۰۱۷)			*				*
فالوینگنا و همکاران (۲۰۱۷)	*	*					*
گول کوزه و ازبوغدی (۲۰۱۸)	*	*	*	*			
اصغر و رحمان و علی (۲۰۱۹)	*	*	*				
ژو و همکاران (۲۰۲۱)	*	*	*		*		*
چو و چن (۲۰۲۱)	*	*				*	
تولایی و علیرضایی (۲۰۲۱)	*	*					
رضایی هزاوه و فلاح‌نژاد (۲۰۲۱)			*				
میرزائیان و فلاح‌نژاد (۱۴۰۰)		*	*	*			
جمع امتیازها	۸	۹	۷	۳	۱		۳

جدول ۳. ارزیابی مقالات جهت تعیین مضامین گزاره‌ای (متغیر خروجی)

پژوهش

مقدار تورم تعدیل شده	میزان درآمد	میزان تولید محصولات و خدمات	میزان محصولات فروخته شده	تولید ناخالص داخلی	میزان انتشار کربن دی‌اکسید	نرخ تولید	متغیرهای خروجی
		*				*	مانیاداکیس و تانسولی (۲۰۰۴)
		*					ویلوک و ویلسون (۲۰۱۲)
		*					والهر (۲۰۱۷)
		*					فالوینگنا و همکاران (۲۰۱۷)
*							گول کوزه و ازبوگدی (۲۰۱۸)
*				*		*	اصغر و رحمان و علی (۲۰۱۹)
		*		*	*		ژو و همکاران (۲۰۲۱)
	*						چو و چن (۲۰۲۱)
		*	*				تولایی و علیرضایی (۲۰۲۱)
			*				رضایی هزاوه و فلاح‌نژاد (۲۰۲۱)
		*					میرزائیان و فلاح‌نژاد (۱۴۰۰)
۲	۱	۷	۲	۲	۱	۲	جمع امتیازها

حال مدل ریاضی کارایی با توجه به پیش‌فرض‌های پژوهش نوشته می‌شود: فرض بر این است که تعداد $(DMU_{j,z} = 1, \dots, n)$ منطقه تولیدی و هر واحد به‌عنوان یک DMU تعیین می‌شود و تعداد m ورودی غیرمنفی $(x_{ij}^t, i = 1, \dots, m)$ و s خروجی غیرمنفی مطلوب $(y_{rj}^t, r = 1, \dots, s)$ و H خروجی نامطلوب $(b_{zj}^t, z = 1, \dots, h)$

موجود باشد که p_i^t هزینه ورودی‌های یکنواخت $x_i^t (i=1, 2, \dots, q)$ است و $(p_i^k)^t (k=1, \dots, t_i)$ هزینه ورودی‌هایی هستند که به صورت پلکانی تغییر می‌کنند یعنی $(p_i^1 < p_i^2 < \dots < p_i^{t_i})$ است به عبارتی p_i^k برای همه واحدها برابر با مقدار یکسانی نیست. فرض می‌شود هزینه‌ها برای ورودی‌ها به صورت پلکانی تغییر می‌کند و هزینه‌ها برای q ورودی اول به صورت یکنواخت تغییر می‌کند و برابر با مقدار ثابت p_i باشد و هزینه‌ها برای ورودی‌های $q+1$ تا m به صورت پلکانی تغییر کند و برابر با مقدار p_i^k باشد. اگر $v_i^k (k=1, \dots, t_i)$ متغیرهای متناظر با $x_i (i=1, \dots, m)$ در فواصل $[x_i^0, x_i^1]$ و $[x_i^1, x_i^2]$ و ... و $[x_i^{t_i-1}, x_i^{t_i}]$ باشند و میزان $x_i^0 = 0$ و $x_i^{t_i} = \infty$ باشد. تابع اول مختص متغیرهای ورودی ثابت و یکنواخت و تابع دوم مرتبط با متغیر قطعه‌ای است که میزان قیمت ورودی متغیر است و هدف این مدل کاهش هزینه‌های ورودی مرتبط با هر واحد در پتروشیمی و در نتیجه کاهش هزینه کل است که به شرح زیر ارائه می‌شود:

متغیرهای مدل ریاضی به شرح جدول ۴ است.

جدول ۴. متغیرهای مدل ریاضی پژوهش

اندیس مناطق تولید (هر پتروشیمی تولید برق)	$J \in (j = 1, 2, \dots, n)$
اندیس DMU (هر واحد) صنعت برق حرارتی	$k \in (k = 1, 2, \dots, t_i)$
مجموعه‌ای از دوره‌ها در طول افق برنامه‌ریزی	$t \in \{1, \dots, t, \dots, T\}$
اندیس مرتبط با هر ورودی	$i \in (i = 1, 2, \dots, m)$
اندیس خروجی مطلوب	$r \in (r = 1, 2, \dots, s)$
اندیس خروجی نامطلوب	$h \in (j = 1, 2, \dots, H)$
قیمت‌های هزینه ورودی DMU k ام در دوره t	p_i^k
ضریب مرتبط با منطقه تولیدی λ_m	λ_j
میزان ورودی مرتبط با منطقه تولید برق حرارتی λ_m مرتبط با DMU λ_m ام در دوره زمانی t	x_{ij}^t
متغیرهای متناظر با ورودی $x_i (i = q + 1, \dots, m)$ برای هر خروجی در دوره زمانی t	v_i^r
میزان خروجی مطلوب r ام مرتبط با منطقه تولید برق حرارتی λ_m ام در دوره زمانی t	y_{rjm}^t
میزان خروجی نامطلوب z ام مرتبط با منطقه تولید برق حرارتی λ_m ام و DMU λ_m ام در دوره زمانی t	b_{ijz}^t

$$(y_0^t, p_0^t, (p_0^k)^t) = \min \sum_{i=1}^q p_i^t x_i^t + \sum_{k=1}^{t_i} \sum_{i=q+1}^m (p_0^k)^t (v_i^k)^t \quad c^t$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq x_i \quad i = 1, 2, \dots, q$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t \leq \sum_{k=1}^{t_i} v_i^k \quad i = q + 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rjm}^t \geq y_{r0}^t \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{k=1}^{t_i} \lambda_j b_{kjh}^t \leq b_{mjh}^t \quad h = 1, 2, \dots, H$$

$$0 \leq i = q + 1, \dots, m \quad k = 1, 2, \dots, t_i - 1 \quad v_i^k \leq x_i^k - x_i^{k-1}$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad v_i^{t_i} \geq 0 \quad i = q + 1, \dots, m \quad v_i^{t_i} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$$

حال مقادیر $(y_0^t, p_0^t, (p_0^k)^t) c^t$ و $(y_0^{t+1}, p_0^{t+1}, (p_0^k)^{t+1}) c^{t+1}$ و مقادیر زیر محاسبه می‌شوند:

۱. کارایی هزینه خطی واحد ۰ در زمان t نسبت به مرز t

$$PLCM_{t_0}^t = \frac{c^t (y_0^t, p_0^t, (p_0^k)^t)}{\sum_{i=1}^q p_i^t x_{i_0}^t + \sum_{k=1}^{t_i} \sum_{i=q+1}^m (p_0^k)^t (v_{i_0}^k)^t}$$

۲. کارایی هزینه خطی واحد ۰ در زمان $t+1$ نسبت به مرز t

$$PLCM_{t_0}^{t+1} = \frac{c^{t+1} (y_0^{t+1}, p_0^{t+1}, (p_0^k)^{t+1})}{\sum_{i=1}^q p_i^{t+1} x_{i_0}^t + \sum_{k=1}^{t_i} \sum_{i=q+1}^m (p_0^k)^{t+1} (v_{i_0}^k)^t}$$

۳. کارایی هزینه خطی واحد ۰ در زمان t نسبت به مرز $t+1$

$$PLCM_{t_0+1}^{t+1} = \frac{c^{t+1} (y_0^{t+1}, p_0^{t+1}, (p_0^k)^{t+1})}{\sum_{i=1}^q p_i^{t+1} x_{i_0}^{t+1} + \sum_{k=1}^{t_i} \sum_{i=q+1}^m (p_0^k)^{t+1} (v_{i_0}^k)^{t+1}}$$

۴. کارایی هزینه خطی واحد ۰ در زمان $t+1$ نسبت به مرز $t+1$

$$PLCM_{t0+1}^{t+1} = \frac{c^t (y_0^{t+1}, p_0^t, (p_0^k)^t)}{\sum_{i=1}^q p_i^t x_{io}^t + \sum_{k=1}^{t_i} \sum_{i=q+1}^m (p_0^k)^t (v_{io}^k)^t}$$

شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیست از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$PLCM_0 = \left(\frac{PLCM_{t0+1}^{t+1}}{PLCM_{t0}^{t+1}} \times \frac{PLCM_{t0+1}^t}{PLCM_{t0}^t} \right)^{1/2} = (OEC) \times (CTC)$$

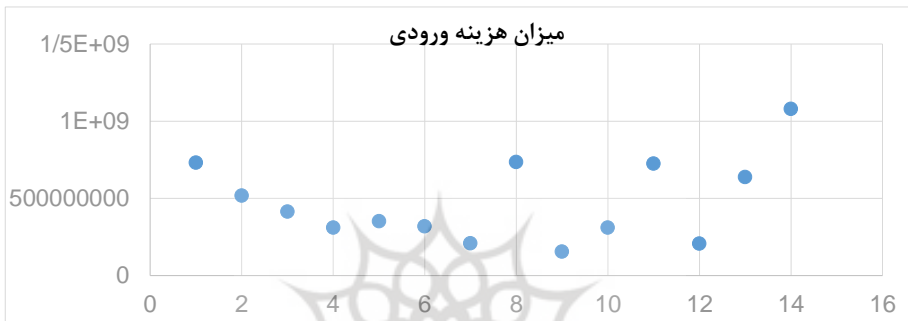
که می‌توان به تغییر کارایی هزینه و تغییر تکنیکی هزینه به صورت زیر تجزیه کرد که اگر $PLCM_0 > 1$ باشد بیانگر رشد بهره‌وری و اگر $PLCM_0 < 1$ باشد بیانگر افت بهره‌وری است و اگر $PLCM_0 = 1$ باشد بیانگر آن است که بهره‌وری تغییر نکرده است. مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز حل شده و میزان z برای مقادیر c^{t+1} و $(y_0^t, p_0^{t+1}, (p_0^k)^{t+1})c^{t+1}$ و $(y_0^{t+1}, p_0^t, (p_0^k)^t)c^t$ و $(y_0^t, p_0^{t+1}, (p_0^k)^{t+1})c^{t+1}$ محاسبه می‌شود و کارایی و شاخص مالک‌کوئیست هزینه‌ای پتروشیمی‌ها در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ به دست آمده و نهایتاً با هم مقایسه شده است که نتایج به شرح جدول ۵ است.

جدول ۵. میزان تابع هدف برای مدل‌های پیشنهادی در ۱۴ پتروشیمی

	$y_0^t, p_0^t, (p_0^k)^t$	$y_0^{t+1}, p_0^t, (p_0^k)^t$	$y_0^t, p_0^{t+1}, (p_0^k)^{t+1}$	$y_0^{t+1}, p_0^{t+1}, (p_0^k)^{t+1}$
۱	۷۳۱۳۵۵۱۰۰	۲۱۷۷۲۷۶۳۷	۸۶۴۶۳۷۰۰۰	۲۵۷۶۵۴۸۸۸
۲	۵۱۸۴۵۲۰۵۰	۱۵۵۵۱۷۳۴۰.۷	۶۱۳۴۹۴۶۴۲.۹	۱۸۴۰۳۶۳۴۸.۶
۳	۴۱۴۷۴۵۱۱۱.۴	۱۲۴۴۱۲۱۹۲.۶	۴۹۰۷۸۶۱۲۵.۷	۱۴۷۲۲۷۰۷۸.۹
۴	۳۱۱۰۴۸۷۳۷.۱	۹۳۳۰۹۰۷۲.۴۳	۳۶۸۰۸۳۷۵۴.۳	۱۱۰۴۲۰۲۲۳.۴
۵	۳۵۲۵۵۱۲۳۴.۷	۱۰۳۶۷۶۷۴۷.۱	۴۲۰۴۰۰۸۲۰.۳	۱۲۲۶۸۹۱۳۷.۱
۶	۳۱۸۴۷۴۹۱۰	۹۳۳۰۹۰۷۲.۴۳	۳۸۰۵۴۵۱۰۰	۱۱۰۴۲۰۲۲۳.۴
۷	۲۰۷۹۳۲۲۳۳.۳	۱۲۴۴۱۲۱۹۲.۶	۲۴۵۹۳۲۸۵۷.۱	۱۴۷۲۲۷۰۷۸.۹
۸	۷۳۵۰۵۳۵۸۰	۲۱۷۷۲۷۶۳۷	۸۷۱۹۱۶۰۷۰	۲۵۷۶۵۴۸۸۸
۹	۱۵۵۵۱۷۳۴۰.۷	۳۱۱۰۳۰۲۴.۱۴	۱۸۴۰۳۶۳۴۸.۶	۳۶۸۰۶۷۴۱.۱۴
۱۰	۳۱۱۰۴۸۷۳۷.۱	۱۲۴۴۱۲۱۹۲.۶	۳۶۸۰۸۳۷۵۴.۳	۱۴۷۲۲۷۰۷۸.۹
۱۱	۷۲۵۹۳۶۱۰۰	۲۱۷۷۲۷۶۳۷	۸۵۸۹۵۱۹۵۰	۲۵۷۶۵۴۸۸۸
۱۲	۲۰۷۳۵۹۲۵۴.۳	۴۱۴۷۰۶۹۸.۸۶	۲۴۵۳۸۵۱۳۱.۴	۴۹۰۷۵۶۵۴.۸۶
۱۳	۶۳۷۳۵۸۴۰۰	۱۸۶۶۲۲۴۸۸.۹	۷۶۱۸۱۱۷۰۰	۲۲۰۸۴۵۶۱۸.۳
۱۴	۱۰۷۹۰۹۹۶۰۰	۵۱۸۴۵۲۰۵۰	۱۲۹۷۸۵۷۵۰۰	۶۱۳۴۹۴۶۴۲.۹

میزان تابع هدف نشان‌دهنده هزینه‌های ورودی هستند. پتروشیمی‌های ۹، ۱۲، ۷، ۴، ۱۰، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱۳، ۱۱، ۱، ۸، ۱۴ به ترتیب کمترین هزینه ورودی را دارا هستند ولی الزاما دلیل بر کارا بودن آن پتروشیمی نیست و کارایی پتروشیمی‌ها بررسی می‌شوند. میزان هزینه ورودی هر یک از پتروشیمی‌ها در شکل ۱ با هم مقایسه شده است.

شکل ۳. میزان هزینه ورودی مربوط به هر پتروشیمی



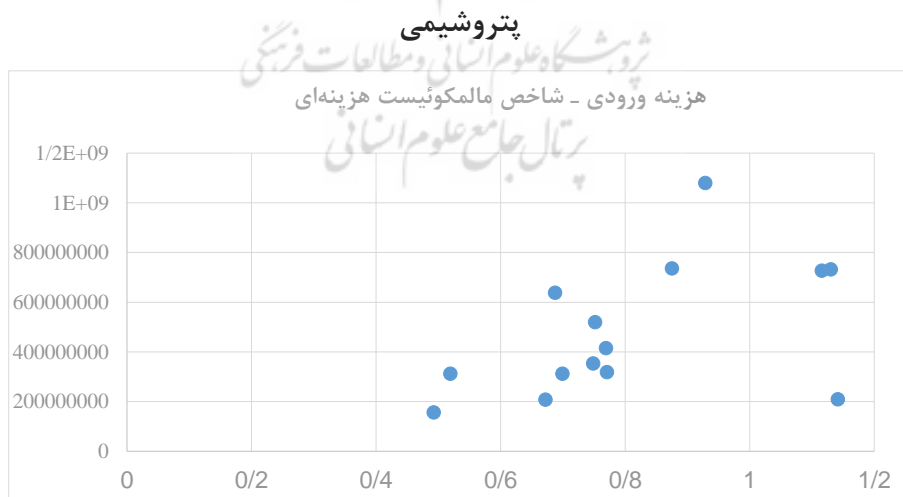
کارایی هزینه از فرمول مربوطه در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ محاسبه می‌شوند. کارایی در سال ۱۴۰۰ در پتروشیمی‌های ۱ و ۱۱ و ۱۳ و ۱۴ بزرگتر مساوی عدد یک است بنابراین کارا هستند و در سال ۱۴۰۱ در پتروشیمی‌های ۱ و ۱۱ بزرگتر مساوی عدد یک است بنابراین کارا هستند. OEC (تغییرات کارایی هزینه) میزان جابجایی و مرز کارایی را نشان می‌دهد و این عدد مشخص می‌کند که در فاصله زمانی مورنظر واحد موردنظر از مرز کارایی دورتر شده یا به آن نزدیک‌تر شده است که اگر این عدد بزرگتر از عدد یک باشد نشان‌دهنده آن است که به مرز کارایی نزدیک شده است و نشان‌دهنده تغییرات مثبت کارایی طی زمان است و برعکس. CTC (تغییرات تکنولوژی هزینه) اثر ترکیبی تغییرات هزینه ورودی و تغییرات تکنولوژی در طول زمان را نشان می‌دهد و اگر این عدد بزرگتر از عدد یک باشد نشان‌دهنده آن است که تغییرات تکنولوژی طی زمان رشد داشته است و برعکس. همانطور که ملاحظه می‌شود تغییرات تکنولوژی هزینه در تمامی واحدها مثبت است و تغییرات کارایی فقط در پتروشیمی‌های ۱ و ۷ و ۱۱ مثبت است. شاخص مالک‌کوئیسیت تغییرات کارایی طی زمان را نشان می‌دهد که تغییرات کارایی فقط در پتروشیمی‌های ۱ و ۷ و ۱۱ مثبت است.

جدول ۶. شاخص‌ها برای مدل‌های پیشنهادی در ۱۴ پتروشیمی طی دو سال

	1400	1401	OEC	CTC	شاخص مالکوییست
۱	۱	۱.۱۴۲۹۲۹	۱.۱۱۷۶۳۳	۱.۰۱۱۲۵۳	۱.۱۳۰۲۱
۲	۰.۹۰۱۱۷۳	۰.۶۷۴۷۹۳	۰.۷۳۸۶۳۷	۱.۰۱۷۷۵۱	۰.۷۵۱۷۴۸
۳	۰.۸۴۹۰۱۸	۰.۶۵۱۰۰۴	۰.۷۵۰۰۷۹	۱.۰۲۵۶۴۸	۰.۷۶۹۳۱۸
۴	۰.۷۹۶۱۰۱	۰.۴۲۴۵۱۹	۰.۴۸۵۲۱۳	۱.۰۷۰۷۸۹	۰.۵۱۹۵۶
۵	۰.۸۳۹۸۳۱	۰.۶۲۸۷۴۴	۰.۷۲۶۹۵۵	۱.۰۳۰۴۳۴	۰.۷۴۹۰۸
۶	۰.۹۹۲۱۳۴	۰.۷۸۷۶۳۷	۰.۷۵۴۸۳۸	۱.۰۲۱۴۹۵	۰.۷۷۱۰۶۳
۷	۰.۷۹۵۲۸۹	۰.۹۰۷۳۸۳	۱.۰۹۵۶۵۷	۱.۰۴۲۲۸	۱.۱۴۱۹۸۲
۸	۰.۹۴۳۳۹۴	۰.۸۳۶۳۰۶	۰.۸۴۸۴۵۲	۱.۰۳۱۷۹۳	۰.۸۷۵۴۲۶
۹	۰.۶۳۳۳۰۶	۰.۳۲۳۴۶۶	۰.۴۳۸۶۹۳	۱.۱۲۳۹۳۷	۰.۴۹۳۰۶۴
۱۰	۰.۸۰۶۸۹	۰.۵۷۹۶۷۱	۰.۶۵۱۸۲	۱.۰۷۳۲۹	۰.۶۹۹۵۹۳
۱۱	۱	۱.۱۲۸۰۵۱	۱.۱۰۳۷۷۲	۱.۰۱۰۹۴۱	۱.۱۱۵۸۴۹
۱۲	۰.۹۳۷۱۴۵	۰.۶۶۱۹۳۹	۰.۶۳۰۵۲۱	۱.۰۶۶۳۱۱	۰.۶۷۲۳۳۲
۱۳	۱	۰.۷۱۱۷۰۵	۰.۶۵۹۵۵۳	۱.۰۴۲۶۱۱	۰.۶۸۷۶۵۷
۱۴	۱	۰.۹۴۰۰۲۸	۰.۹۱۷۵۷۹	۱.۰۱۲۱۵۹	۰.۹۲۸۷۳۶

در جدول بالا پتروشیمی‌ها براساس میزان هزینه ورودی و شاخص مالکوییست هزینه‌ای با هم مقایسه شده‌اند.

شکل ۲. میزان هزینه ورودی و شاخص مالکوییست هزینه مربوط به هر



بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش ابتدا پس از مرور ادبیات پیشین مربوط به زنجیره تأمین انرژی در صنعت پتروشیمی به شناسایی متغیرهای ورودی و خروجی که بیشترین مد را در بین تحقیقات پیشین داشته، پرداخته است که متغیرهای تعداد ماشین‌آلات مورد استفاده در تولید (سرمایه فیزیکی)، تعداد نیروی کار، میزان مواد مصرفی در تولید (مثل سوخت) به‌عنوان ورودی و متغیر میزان تولید محصولات و خدمات به‌عنوان خروجی دارای بیشترین فراوانی هستند و به‌عنوان معیار اصلی تعیین گزاره‌های پژوهش انتخاب شدند. با توجه به جنس متغیرهای ورودی مد مربوط به پژوهش نوشته شد. هدف این مدل کاهش هزینه‌های ورودی مرتبط با هر واحد در پتروشیمی و در نتیجه کاهش هزینه کل است. پس از نوشتن مدل مربوط به پژوهش، مدل در نرم‌افزار گمز برای ۱۴ پتروشیمی حل شد و میزان Z به‌دست آمده میزان تابع هدف در واقع نشان‌دهنده هزینه‌های ورودی هستند. همانطور که ملاحظه می‌کنید پتروشیمی‌های ۹، ۱۲، ۷، ۴، ۱۰، ۶، ۵، ۳، ۲، ۱۳، ۱۱، ۱، ۸، ۱۴ به ترتیب کمترین هزینه ورودی را دارا هستند ولی الزاما دلیل بر کارا بودن آن پتروشیمی نیست. کارایی در سال ۱۴۰۰ در پتروشیمی‌های ۱ و ۱۱ و ۱۳ و ۱۴ بزرگتر مساوی عدد یک است بنابراین کارا هستند و در سال ۱۴۰۱ در پتروشیمی‌های ۱ و ۱۱ بزرگتر مساوی عدد یک است بنابراین کارا هستند و تغییرات تکنولوژی هزینه در تمامی واحدها مثبت است و تغییرات کارایی فقط در پتروشیمی‌های ۱ و ۷ و ۱۱ مثبت است. شاخص مالمکوئیست تغییرات کارایی طی زمان را نشان می‌دهد که تغییرات کارایی فقط در پتروشیمی‌های ۱ و ۷ و ۱۱ مثبت است. حال اگر تصمیم‌گیرنده فقط کارا بودن پتروشیمی برایش مطرح باشد باید پتروشیمی‌ای را انتخاب کند که بیشترین شاخص مالمکوئیست را دارد و بزرگتر از ۱ باشد که همانطور که ملاحظه می‌شود این عدد متعلق به پتروشیمی شماره ۷ است حال اگر فقط هزینه ورودی برای تصمیم‌گیرنده مطرح باشد پتروشیمی ۹ با کمترین هزینه ورودی انتخاب می‌شود و اگر دو معیار برای تصمیم‌گیرنده مهم باشد پتروشیمی ۷ انتخاب می‌شود. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های نوآوری این پژوهش تمرکز بر مفهوم زنجیره تأمین انرژی و استفاده از شاخص بهره‌وری مالمکوئیست هزینه‌ای و مدل تعاملی کیفی جهت تحلیل است و به بسط ادبیات نظری در این حوزه کمک می‌نماید. از طرف دیگر پیوند بین حوزه‌های نظری با حوزه‌های کاربردی در صنعت پتروشیمی برای شناسایی نهاده‌ها و ستاده‌های زنجیره تأمین انرژی است. تحقیقات بسیاری در بهینه‌سازی زنجیره تأمین

صورت گرفته که به مواردی از آن اشاره می‌شود و شکاف آن‌ها را نسبت به پژوهش حاضر شناسایی شده و نحوه پوشش آن در این پژوهش بیان می‌شود:

میرزائیان و فلاح‌نژاد (۱۴۰۰) به بررسی شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیسیت هزینه‌ای پرداختند. این پژوهش علاوه بر موارد بالا بخش کیفی ستاده و نهاده‌های تأثیرگذار در صنعت پتروشیمی را توسط مدل تعاملی شناسایی نموده است که نتایج پژوهش با نتایج میرزائیان و فلاح‌نژاد همسو است. والهر (۲۰۱۷) از مدل‌سازی ناپارامتریک، شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیسیت را برای به حداقل رساندن هزینه استفاده نموده ولی این پژوهش علاوه بر سنجش بهره‌وری از یک مدل کیفی IQA جهت تجزیه و تحلیل بهره‌وری استفاده نمود که میزان مواد مصرفی و ظرفیت تولید را به‌عنوان متغیر ورودی و میزان تولید محصولات و خدمات به‌عنوان متغیر خروجی انتخاب شده با این پژوهش همسو است ولی متغیر ورودی انتخاب شده با این پژوهش همسو نیست. اصغر و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از شاخص بهره‌وری هزینه مالک‌کوئیسیت و رگرسیون کوتاه بوت استرپ پویایی بهره‌وری هزینه و عوامل تعیین‌کننده آن را تخمین زدند. آن‌ها از رگرسیون کوتاه بوت استرپ نیز برای شناسایی عوامل تعیین‌کننده تغییر بهره‌وری هزینه و برآورد مدل در طول دوره مطالعه استفاده نمودند ولی در این رساله از روش DEA جهت برآورد مدل و تعیین نقطه بهینه بهره‌وری استفاده می‌کند و همچنین از تحلیل تعاملی کیفی جهت تعیین عوامل تعیین‌کننده بهره‌وری و تجزیه و تحلیل نتایج استفاده می‌شود. متغیرهای خروجی به‌دست آمده توسط آن‌ها (نرخ تولید، تورم تعدیل شده، میزان تولید ناخالص داخلی) با این پژوهش همسو نیست ولی متغیرهای ورودی تعیین شده توسط آن‌ها (متغیرهای تعداد ماشین‌آلات مورد استفاده در تولید (سرمایه فیزیکی)، تعداد نیروی کار، میزان مواد مصرفی در تولید) با این پژوهش همسو است. ژو و همکاران (۲۰۲۱) عملکرد هزینه انرژی صنعت برق حرارتی در چین را با رویکرد بهره‌وری هزینه‌ای مالک‌کوئیسیت بررسی نمودند. آن‌ها از ماتریس بوستون (BCG¹) جهت تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شاخص مالک‌کوئیسیت هزینه‌ای استفاده نمودند ولی در این رساله از تحلیل کیفی تعاملی جهت تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شاخص مالک‌کوئیسیت هزینه‌ای استفاده می‌شود و ورودی و خروجی زنجیره تأمین انرژی در صنعت پتروشیمی از طریق مصاحبه با خبرگان تعیین می‌شوند. آن‌ها علاوه بر متغیرهای این پژوهش متغیرهای متوسط دستمزد، ظرفیت تولید را به‌عنوان متغیر ورودی انتخاب کردند. ولی متغیرهای خروجی

1. Boston Consulting Group

انتخاب شده توسط آن‌ها با این پژوهش همسو نیست (Mohamadizade et al, 2023). از طرفی با توجه به تورم و فشارهای اقتصادی اخیر که شاهد آن هستیم، اغلب مدیران بر این باورند که جلوگیری از تحمیل هزینه‌های اضافی و کاهش هزینه‌های سازمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که این پژوهش توانسته است ورودی و خروجی‌های حائز اهمیت در زنجیره تأمین انرژی را شناسایی کند و از ضررهای احتمالی که ناشی از عدم مدیریت در صنعت مربوطه است، جلوگیری کند.

پیشنهاد‌های تحقیق

پیشنهاد می‌شود پتروشیمی‌ها با برگزاری کلاس‌های آموزشی و انگیزشی و وضع استانداردهای کیفی در جهت ارتقای کارایی تکنولوژی و دانش فنی جهت ارتقای کارایی گام بردارند و سازمان باید برای مقابله با ریسک‌های مرتبط با اقتصاد کلان از جمله نوسانات قیمتی، نوسان نرخ ارز و بهره و رکود اقتصادی برنامه کوتاه‌مدت و بلندمدت داشته باشد چون این ریسک بیشترین آسیب را بر زنجیره تأمین وارد می‌کند. نگاهی به وضعیت تولید مجتمع‌های زنجیره آروماتیک صنایع پتروشیمی نشان می‌دهد این واحدها در سخت‌ترین شرایط تحریم بدون کسری و کمبود خوراک میعان‌ات گازی در حال تولید، تأمین نیاز داخلی و صادرات محصولات هستند و شرایط تحریم بیشترین فشار را بر پتروشیمی‌ها آورده است. آن‌ها می‌توانند با اضافه نمودن برخی تجهیزات و ماشین‌آلات یا پکیج‌های جدید جهت برطرف کردن تنگناهای افزایش ظرفیت، از تعداد ماشین‌آلات و کارکنان اضافی بکاهند و تولید را افزایش دهند. از طرفی از نظر مصرف انرژی نیز به صرفه است و به حداقل رساندن زمان تعمیرات سالانه و شناسایی مواردی که طی سال‌های گذشته منجر به توقف تولید یا کاهش تولید شده بودند، شناسایی این موانع و در کنار آن تقویت تیم تعمیر و نگهداری واحدهای پتروشیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شرکت‌ها می‌بایست متناسب با نیازشان نیروهای تراز اول کشور خصوصاً در رشته‌های مکانیک و برق در گرایش‌های مختلف با بالاترین ضریب هوش، خلاقیت، میزان پشتکار و جسارت‌های لازم را برای تقویت واحد تعمیرات جذب نمایند و به نیروهای موجود قناعت نکنند. به هیچ‌وجه نباید اجازه داده شود در جذب نیروهای متخصص تعصب‌های محلی و فشارهای سیاسیون دخالت داشته باشد زیرا خسارت‌های جبران‌ناپذیری به صنعت پتروشیمی کشور تحمیل نموده و یک اشتباه کوچک توسط شخص با ضریب هوشی و استعداد یادگیری کم عواقب مالی و جانی جبران‌ناپذیری به

دنبال دارد. لذا در جذب نیرو در این صنعت حساس خصوصاً برای واحدهای تخصصی باید دقت نمود و باید پتروشیمی‌ها به‌سوی تدوین لیسانس و دانش فنی گام بردارند.

منابع

افتخاری طرقي، حسن؛ کزازی، ابوالفضل؛ امیری، مقصود و قاضی نوری، سید سروش (۱۴۰۳). چارچوب توسعه صنایع پایین‌دستی صنعت پتروشیمی با تمرکز بر مدیریت پنجره‌های فرصت همپایی. *مطالعات راهبردی در صنعت نفت و انرژی*، ۱۵(۶۰): ۲۰۱-۲۲۶.

ایمانی، حکیمه؛ باقرزاده، محمدرضا؛ طبری، مجتبی و مهرآرا، اسداله (۱۴۰۲). اولویت‌بندی عوامل مدل ممیزی مدیریت منابع انسانی به روش تحلیل چندمعیاره SAW در شرکت پتروشیمی پارس. *مطالعات راهبردی در صنعت نفت و انرژی*، ۱۵(۵۹): ۱۱۹-۱۳۲.

درودی، هما؛ آب‌چر، بهجت و بیگدلی، الهام (۱۴۰۱). تجزیه و تحلیل بهره‌وری با استفاده از شاخص مالک‌کوئیسیت در شرکت‌های خصوصی بیمه زنجان، *فصلنامه اقتصاد مالی*، ۱۶(۵۸): ۱۰۹-۱۲۷.

دهقان، داریوش؛ آقادات جلفایی، سید رسول و دلوی اصفهانی، محمدرضا (۱۴۰۲). شناسایی عوامل مؤثر جذب و استخدام ویژه کارکنان نسل Z (مورد مطالعه: صنایع پتروشیمی بوشهر). *مطالعات راهبردی در صنعت نفت و انرژی*، ۱۵(۵۷): ۱۳۵-۱۵۶.

سلجوقی، سعید و عباسی منفرد، میلاد (۱۴۰۱). استخراج شاخص‌های محاسبه بهره‌وری در انرژی‌های مورد استفاده در صنایع استان زنجان، *یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مکانیک، ساخت، صنایع و مهندسی عمران*.

محمدی‌زاده، عبدالکریم؛ ملکی، مین‌باش؛ زرگاه، مرتضی و کریمی، اوژن (۱۴۰۲). ارائه‌ی الگوی بهینه فروش مبتنی بر برنامه‌ریزی منابع سازمانی در صنعت پتروشیمی. *فصلنامه مطالعات راهبردی در صنعت نفت و انرژی*، ۱۵(۵۷): ۹۹-۱۱۶.

میرزائی‌ان، فاطمه و فلاحی‌نژاد، رضا (۱۴۰۰). «شاخص بهره‌وری مالک‌کوئیسیت هزینه‌ای مبتنی بر تابع هزینه قطعه‌ای خطی در تحلیل پوششی داده‌ها»، *فصلنامه مدیریت صنعتی دانشگاه تهران*، ۱۳(۲): ۳۰۰-۳۲۸، ۱۱۷-۱۳۴.

Alfaqiri, A., Hossain, N. U. I., Jaradat, R., Abutabeneh, S., Keating, C. B., Khasawneh, M. T., & Pinto, C. A. (2019). A systemic approach for

- disruption risk assessment in oil and gas supply chains, *International Journal of Critical Infrastructures*, 15(3), 230-259.
- Altay, N., & Pal, R. (2023). Coping in supply chains: a conceptual framework for disruption management. *The International Journal of Logistics Management*, 34(2), 261-279.
- Asghar, N., Rehman, H. U., & Ali, M. (2019). Cost productivity of healthcare systems in OIC's member countries: An application of cost Malmquist Total Productivity Index. *Review of Economics and Development Studies*, 5(3), 461-468.
- Balezentis, T., Krisciukaitiene, I., & Balezentis, A. (2013). The trends of technical and allocative efficiency in Lithuanian family farms. *In Proceedings of the 2013 International Conference Economic Science for Rural Development*, 30(1): 91-98.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the royal statistical society: series A (General)*, 120(3): 253-281.
- Falavigna, G., Ippoliti, R., & Ramello, G. B. (2018). DEA-based Malmquist productivity indexes for understanding courts reform. *Socio-Economic Planning Sciences*, 62(1): 31-43.
- Khoshroo, A., Izadikhah, M., & Emrouznejad, A. (2022). Total factor energy productivity considering undesirable pollutant outputs: A new double frontier based malmquist productivity index, *Journal of Energy*, 258(1): 124819-29.
- Ilyas, A. M., & Rajasekaran, S. (2019). An empirical investigation of efficiency and productivity in the Indian non-life insurance market, *International Journal of Benchmarking*, 26(7): 2343-2371.
- Köse, E. G., & Özbuğday, F. C. (2018). The Productivity of Turkey's Agricultural Production on Provincial Basis, *Ekonomik Yaklasim*, 29(109): 55-80.
- Maniadakis, N., & Thanassoulis, E. (2004). A cost Malmquist productivity index. *European journal of operational research*, 154(2): 396-409.
- Mehrabi Basharabadi, H., Pakravan, M. (2009). Calculation of efficiency and productivity to sunflower Producers scale in Khoy, *Agricultural and Agricultural Development (Agricultural Sciences and Technology)*, 23(1): 102-195.
- Rezaei Hezaveh, E., Fallahnezhad, R. (2021). Cost Malmquist Productivity Index in Non-Competitive Environment of Price in Data Envelopment Analysis and the Use of it in the Dealings of the Iranian Stock Exchange, *Advances in Mathematical Finance & Applications*, 6(4): 757-767.
- Tavallaee, M., & Alirezaee, M. R. (2021). Applied decomposition of Malmquist, cost Malmquist, and allocation Malmquist indices by considering changes in cost-efficiency and technology. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 13(3): 41-60.
- Thanassoulis, E., Shiraz, R. K., & Maniadakis, N. (2015). A cost Malmquist productivity index capturing group performance. *European Journal of*

- Operational Research*, 241(3): 796-805.
- Tohidi, G., Tohidnia, S. (2015), Productivity changes of units: A directional measure of cost Malmquist index, *Journal of New Researches in Mathematics*, 2(1): 30-44.
- Prabhu, M. and Srivastava, A.K. (2022). Leadership and supply chain management: a systematic literature review, *Journal of Modelling in Management, Qualitative Research*, 1(3): 385-405.
- Wagner, M., Van Phu, N., Azomahou, T., & Wehrmeyer, W. (2002). The relationship between the environmental and economic performance of firms: an empirical analysis of the European paper industry. *Corporate social responsibility and Environmental Management*, 9(3): 133-146.
- Walheer, B. (2019). Malmquist productivity index for multi-output producers: An application to electricity generation plants. *Socio-economic planning sciences*, 65(1): 76-88.
- Walheer, B. (2017). Disaggregation of the cost Malmquist productivity index with joint and output-specific inputs. *Omega*, 75(1): 1-12.
- Wheelock, D. C., & Wilson, P. W. (2013). The evolution of cost-productivity and efficiency among US credit unions. *Journal of Banking & Finance*, 37(1): 75-88.
- Xu, S., Fang, L., & Govindan, K. (2022). Energy performance contracting in a supply chain with financially asymmetric manufacturers under carbon tax regulation for climate change mitigation, *Omega*, 106(1): 102535-43.
- Yang, YL., Huang, CJ. (2009). Estimating the Malmquist productivity index in the tai-wanese banking industry: a production and cost approach. *Taiwan Economic Review*, 37(1): 353-378.

