



Research Article



DOI: 10.22034/farayandno.2025.2045043.1974



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-Non Commercial 4.0 International Licenses (CC BY-NC 4.0).

Implementation of Material Flow Cost Accounting System to Optimize and Increase Financial Efficiency in a Chlor-alkali Production Complex: Electrolyzer Department

Mousa Firouzi¹, Habib Aghajani^{2*}, Parviz Mohammadzadeh³, Esmail Fatehifar⁴

¹ PhD Student, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran

² Associate Professor, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³ Professor, Faculty of Economics and Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran

⁴ Professor, Productivity and Sustainable Development Research Centre, Faculty of Chemical Engineering Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Received: 5 Sep 2024 Accepted: 23 Oct 2024

Abstract

This study examines the implementation of Material Flow Cost Accounting (MFCA) in a chlor-alkali complex, focusing on the electrolyzer section in chlorine production. By use of the MFCA method, the research aims to reduce waste and improve productivity. Analyzing material flows and associated costs reveals hidden inefficiencies related to negative products or waste and their costs, creating opportunities for optimization. Calculations indicate that 72% of the product's weight is negative, corresponding to a 71% financial loss. It is predicted that implementing MFCA-based improvements will result in a 4% reduction in waste and a significant increase in product output. These findings not only highlight the effectiveness of MFCA in waste reduction but also emphasize its positive economic impact, enhancing resource efficiency and overall profitability in the electrolyzer sector. The results of this study have the potential to be applied to other enterprises and contribute to the development of sustainable industrial practices.

Keyword: Material Flow Cost Accounting, Waste Reduction, Productivity Increase, Chlor-alkali, Electrolyzer.

* h.aghajani@tabrizu.ac.ir

Please Cite This Article Using:

Firouzi, M., Aghajani, H., Mohammadzadeh, P., Fatehifar, E., "Implementation of Material Flow Cost Accounting System to Optimize and Increase Financial Efficiency in a Chlor-alkali Production Complex: Electrolyzer Department", Journal of Farayandno – Vol. 19 – No. 86, pp. 5-20, In Persian, (2024).



DOI: 10.22034/farayandno.2025.2045043.1974



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-Non Commercial 4.0 International Licenses (CC BY-NC 4.0).

استقرار سیستم هزینه‌یابی جریان مواد جهت بهینه‌سازی و افزایش بهره‌وری مالی در یک مجموعه تولید کلر آلکالی: بخش الکترولایزر

موسی فیروزی¹، حبیب آقاجانی^{2*}، پرویز محمدزاده³، اسماعیل فاتحی فر⁴

¹ دانشجوی دکتری، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

² دانشیار، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

³ استاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

⁴ استاد، مرکز تحقیقات بهره‌وری و توسعه پایدار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

دریافت: 1403/06/15 پذیرش: 1403/08/02

چکیده

این مطالعه به بررسی روش هزینه‌یابی جریان مواد (MFCA) در یک مجتمع کلر آلکالی و تمرکز بر الکترولایزر تولید کلر می‌پردازد. با استفاده از MFCA، تحقیق به کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری می‌انجامد. بررسی جریان‌های مواد و هزینه‌های مرتبط، نقاط پنهان در محصولات منفی و هزینه‌ها را شناسایی کرده و فرصت‌های بهینه‌سازی را ارائه می‌دهد. محاسبات نشان می‌دهد که 72 درصد جرم محصولات منفی، معادل 71 درصد هدررفت مالی است. پیش‌بینی می‌شود که اجرای اقدامات بهبودی بر مبنای MFCA منجر به کاهش 4 درصدی در ضایعات و افزایش بهره‌وری در خروجی محصول شود. این نتایج نه تنها اثربخشی MFCA در کاهش ضایعات را تأکید می‌کند، بلکه بهبود کارایی منابع و سودآوری بخش الکترولایزر را نیز نشان می‌دهد و قابلیت تسری به سایر بنگاه‌ها و صنایع را دارد.

کلمات کلیدی: هزینه‌یابی جریان مواد، کاهش ضایعات، افزایش بهره‌وری، کلر آلکالی، الکترولایزر.

* h.aghajani@tabrizu.ac.ir

1- مقدمه

بهبود بهره‌وری در بخش‌های مختلف اقتصادی، ضمن افزایش ظرفیت تولید محصولات با کیفیت بالاتر و هزینه‌های کمتر، قدرت رقابت در بازارهای جهانی را فراهم می‌آورد. بنابراین، برای ادامه بقا و توسعه فعالیت‌های بخش‌های اقتصادی، توجه به بهره‌وری یا به عبارت دیگر رشد اقتصادی بهره‌ور محور در هر کشور غیرقابل اجتناب است [1]. در جهت افزایش بهره‌وری، برخی از سیستم‌های بهینه‌سازی فرایندی در صنایع مورد مطالعه و پژوهش قرار گرفته است [2] که فقط بینش فرایندی سیستم‌ها و بهینه‌سازی پارامترهای فرایندی را در نظر می‌گیرد و ممکن است وارد رویکردهای دیگر مانند توجه به مصرف بهینه انرژی و هدررفت‌های مالی نگردد و به همین علت است که در سال‌های اخیر علی‌رغم افزایش میزان تولید که عموماً متأثر از افزایش ظرفیت و تعداد بنگاه‌های اقتصادی می‌باشد، به دلیل محدود بودن منابع و افزایش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از عدم استفاده صحیح و بهینه از منابع، نگرانی درباره هدررفت منابع مالی و غیر مالی، افزایش آلودگی محیط‌زیست و کاهش بهره‌وری عوامل تولید به طور چشمگیری افزایش یافته است. که البته راه‌حل منطقی کاهش و حذف این دغدغه‌ها، بهره‌گیری از روش‌های نوین و پیشرفته برای محاسبه سود و زیان واقعی و همه‌جانبه تصمیمات، فعالیت‌ها و عملکردهاست [3]. چرا که تکنیک‌های حسابداری سنتی قادر به ارائه داده‌های مورد نیاز برای تصمیم‌گیران و مدیران در مدیریت اقتصادی زیست‌محیطی نیست. بنابراین، استفاده از روش‌های نوین هزینه‌یابی نیاز و ضرورت امروز دنیاست و در این راستا نوع جدیدی از هزینه‌یابی، به نام هزینه‌یابی جریان مواد، پیشنهاد و بکار گرفته شده است که تابحال موفق و مفید بوده است [4].

هزینه‌یابی جریان مواد ابزاری است که هم‌زمان جریان مواد و عملکرد مالی بنگاه اقتصادی را ارزیابی می‌کند و با رویکرد اقتصادی و محیط‌زیستی ضمن کمک به افزایش درآمد بنگاه از طریق کاهش هزینه‌ها، با بهینه‌سازی فرآیندها بقاء شرکت را تضمین و آینده امیدبخشی را برای آن ترسیم و پیشنهاد می‌کند [5] یعنی همان چیزی که نیاز ضروری کشورها در شرایط فعلی است.

از نظر تاریخی از زمان انقلاب صنعتی، مسائل مربوط به مصرف بهینه منابع و کنترل و کاهش آلودگی محیط زیست به دلیل رشد سریع صنایع و افزایش حجم فعالیت‌های اقتصادی مورد غفلت قرار گرفته بود که آثار زیانبار آن جوامع بشری را با چالش جدی مواجه نمود [6]. با پیشرفت علوم و گذشت زمان، اندیشمندان با درک صحیح از محدودیت منابع، افزایش جمعیت، رقابتی بودن اقتصاد و بسیاری از عوامل دیگر تلاش‌های موثری در جهت کاهش این آثار زیانبار انجام دادند به گونه‌ای که در حال حاضر، مسائل محیطی، منابع طبیعی و مصرف بهینه به طور گسترده توجه همه اقشار جامعه را به خود جلب کرده است [7-8]. واضح است که نگاه صرف زیست‌محیطی به مسائل صنعتی ممکن است یک نگاه هزینه‌بر و تک بعدی به نظر رسد، همانطوری که در برخی پژوهش‌ها صرفاً به این جنبه پرداخته شده است [9]، در صورتیکه توجه به مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی بصورت هم‌زمان و به گونه‌ای که به کاهش سود اقتصادی بنگاه منجر نگردد ضمن اینکه مطلوبیت بنگاه اقتصادی را کاهش نمی‌دهد بلکه منجر به افزایش مطلوبیت مالکان و صاحبان این بنگاه‌ها می‌گردد. بنابراین اندیشمندان حوزه‌های مختلف اقتصادی، مدیریت و حسابداری در توسعه روش‌های هزینه‌یابی موجود، نوع جدیدی از هزینه‌یابی را ارائه نموده‌اند که ضمن توجه به افزایش درآمد و سود اقتصادی بنگاه از طریق کاهش هزینه‌ها، حفاظت از محیط زیست و اقتصاد سبز را نیز مورد توجه جدی قرار داده است یعنی همان چیزی که هزینه‌یابی جریان مواد (MFCA) نامیده می‌شود. MFCA یک ابزار مدیریتی است که

برای حفاظت از محیط زیست کاربرد دارد و طراحی آن به گونه‌ای است که هم‌زمان افزایش رقابت شرکت‌ها از نظر اقتصادی و توسعه روش‌های پیچیده از نظر استفاده بهینه از منابع را در بر می‌گیرد و از کاهش اثرات زیست محیطی و هزینه به طور هم‌زمان به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران صنعت و مدیران ارشد استفاده می‌کند. در واقع این روش باعث کاهش هزینه‌ها و در نتیجه بهبود بهره‌وری کسب و کار با کاهش ضایعات می‌شود [10].

ایده اولیه روش هزینه‌یابی جریان مواد از مؤسسه مدیریت و محیط زیست (IMU) آگزبرگ آلمان بوده است و سپس این سیستم در ژاپن توسعه یافته و مورد استفاده بیشتر قرار گرفت. در نهایت توسط کمیته فنی TC207¹ مؤسسه استاندارد بین‌المللی و توسط کارگروه WG8² به صورت استاندارد ایزو 14051 در سپتامبر سال 2011 میلادی ارائه شد [11].

طی چندین سال گذشته مطالعات زیادی در زمینه هزینه‌یابی جریان مواد صورت گرفته و پروژه‌های مختلفی در این رابطه انجام یافته است، همچنین رویدادها و کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی زیادی با محوریت MFCA در شهرهای مختلف برگزار شده است. گزارش‌های منتشر شده نشان دهنده این امر می‌باشد که استقرار این روش در صنایع گوناگون همچون صنایع تولیدی صنعتی امکان‌پذیر بوده و نتایج قابل قبولی دارد. یکی از شرکت‌های فعال در حوزه صنایع شیمیایی که در سال 2014 سیستم هزینه‌یابی جریان مواد در آن به اجرا درآمده است. مجتمع پتروشیمی تبریز می‌باشد که خروجی آن ارائه پیشنهادهای برای بهبود فرآیند با شناسایی هزینه‌های ضایعات و جرم‌ها بوده است [12]. وانگ و همکاران در یک تحقیق برای صنایع چین اشاره کردند که MFCA می‌تواند منافع اقتصادی بزرگی را برای شرکت و بهره‌وری زیست‌محیطی عظیمی را برای تمام جامعه به همراه داشته باشد [13]. در سال 2015، کوکوبو و کیتادا درباره مزایای MFCA به عنوان یک ابزار مدیریت زیست‌محیطی و مالی مهم بحث کردند و عنوان نمودند که این روش باید همراه با برخی روش‌های دیگر بهره‌وری در جهت حل یا کاهش تضادهای بین MFCA و دیدگاه‌های مدیریت موجود استفاده شود و راه‌حل‌های نظری نیز در این خصوص پیشنهاد شد [10]. در سال 2012، MFCA اولین بار در واحد آمین شرکت پالایش نفت تبریز (TZORC) در ایران استقرار یافت و با شناسایی ضایعات و هزینه‌های مرتبط، نتایج در گزارش پروژه MFCA برای آن شرکت ارائه شد [12]. تولید کننده نوار چسبی نیتو دنکو³، اولین شرکتی بود که سیستم MFCA را پیاده‌سازی کرد و از سال 2001 تا 2010 میزان خروجی منفی خود را از 32% به 10% کاهش داد [14]. در سال 2007، شرکت دیگری در ژاپن به نام شرکت شیمیایی سکیسوی⁴ که مواد شیمیایی برای گروه‌های تولید مختلف از جمله پتروشیمی و غیره تولید می‌کند روش MFCA را پیاده‌سازی کرد و میزان ضایعات شرکت را 11% کاهش داد [14]. شرکت سومی تومو⁵، یک شرکت صنایع شیمیایی می‌باشد که مواد شیمیایی مورد نیاز در گروه‌های تولیدی مواد شیمیایی پایه، پتروشیمی و پلاستیک، مواد شیمیایی پودر شده، مواد شیمیایی مربوط به IT، مواد شیمیایی کشاورزی و مواد دارویی را تامین می‌کند. به دلیل تولید محصولات بسیار خالص، میزان مصرف محلول‌های شیمیایی و دورریز آنها بسیار بالا است. در نتیجه هزینه‌یابی جریان مواد در جهت کاهش مصرف محلول‌های شیمیایی و کاهش تولید پساب استفاده گردیده است. براساس داده‌ها و محاسبات، در فرآیند اول، هزینه

¹ Technical Committee 207

² Working Group 8

³ NITTO DENKO

⁴ SEKISUI CHEMICAL CO. LTD

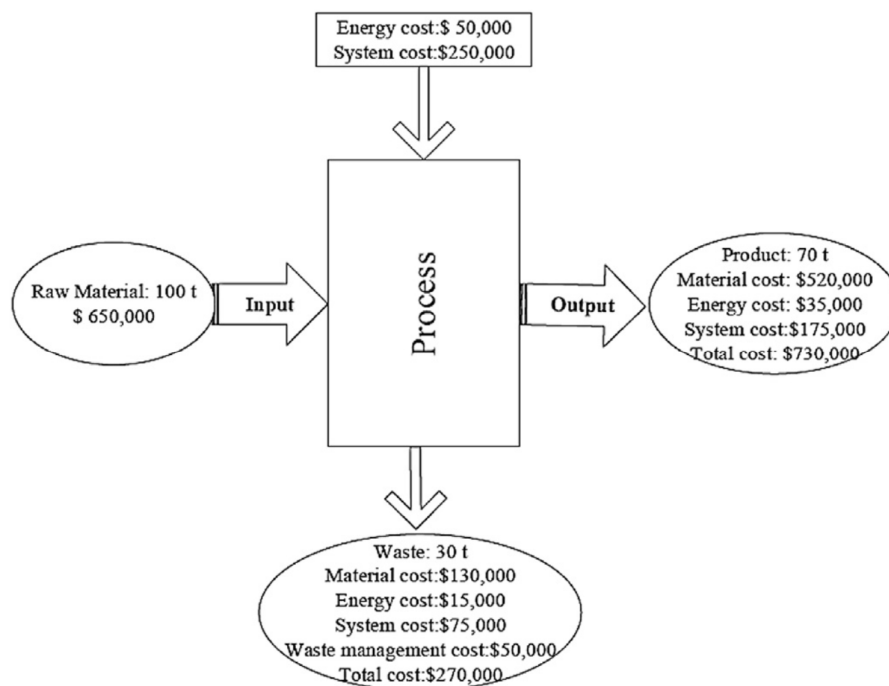
⁵ SUMITOMO

دورریز مواد برابر 13/8 درصد کل هزینه‌ها و در فرآیند دوم برابر 87/1 درصد کل هزینه‌ها می‌باشد که بر اساس نتایج به دست آمده، روش‌هایی جهت کاهش هزینه انرژی، کاهش هزینه پرسنلی و کاهش میزان فاضلاب تولیدی ارائه گردیده است [5]. در مطالعه دیگری که در یک واحد پتروشیمی انجام شده است [15]، با استفاده از ابزار MFCA، پسماندهای تولیدی شناسایی گردیده و همچنین تخصیص هزینه به این پسماندها نیز انجام شده است در ادامه راهکارهای موثری برای کاهش این ضایعات و افزایش بهره‌وری در این واحد صنعتی ارائه شده است. در این پژوهش پیش‌بینی گردیده که در صورت به‌کارگیری استراتژی‌های بهبود بهره‌وری، کاهش 40 درصدی ضایعات کک و افزایش 10 درصدی تولید اتیلن در این فرایند حاصل خواهد شد.

در این پژوهش ابتدا واحد مورد نظر از نظر فرایندی مطالعه گردیده، سپس با استفاده از داده‌های جرمی، مالی و فرایندی جمع‌آوری شده و همچنین اندازه‌گیری شده، موازنه جرم و انرژی به روش MFCA، در طول دوره شش ماهه انجام شده است. در ادامه، براساس این استاندارد، با استفاده از نتایج بدست آمده، تلفات و علل ایجاد آن‌ها شناسایی شده و براساس موارد شناسائی شده راهکارهای بهبود به منظور کاهش ضایعات تولیدی و در نتیجه افزایش بهره‌وری استخراج شده است که با ارزیابی مجدد، اثر مجموع این راهکارها در بهبود نیز ارائه گردیده است. در این مطالعه استفاده ترکیبی از یافته‌های علمی در حوزه اقتصاد، حسابداری و مدیریت در قالب روش نوین به‌منظور افزایش بهره‌وری و بهره‌گیری بهینه از منابع مختلف اقتصادی، ضمن افزایش اثربخشی و کارایی، امکان بدست آوردن بهترین نتیجه ممکن برای بهره‌وری بالا را فراهم می‌کند. نتایج و برآیند این پژوهش و پژوهش‌های مشابه در سطح کلان، ایجاد بهبود در شرایط اقتصادی، علمی و حتی فرهنگی و اجتماعی جامعه و افزایش رفاه عمومی مردم می‌باشد.

2- روش شناسایی

روش MFCA جریان مواد و موجودی را که شامل مواد خام، قطعات و اجزای فرایند تولید است، به واحد پولی اندازه‌گیری می‌کند. هزینه‌ها نیز در زيردسته‌های هزینه‌های مواد، هزینه‌های سیستم و هزینه‌های حمل و پردازش ضایعات مدیریت می‌شوند. هزینه‌های از دست رفته در محصولات منفی (ضایعات و سایر مواد منتشر شده) می‌توانند با محاسبه مقدار آن‌ها و شناسایی منابع تولید و تبدیل آن‌ها به ارزش پولی، ارزیابی شوند. علاوه بر این، هزینه‌های مواد خام، نیروی کار، استهلاک و سایر هزینه‌ها تحت عنوان هزینه‌های ضایعات در ترکیب هزینه تولید محاسبه می‌شوند و این توضیح را می‌دهد که چرا محصولات منفی در MFCA استفاده می‌شوند. از این دیدگاه، دو نوع مواد خروجی وجود دارد؛ یک نوع آن محصولات قابل بازاریابی و فروش و نوع دیگر آن، سایر مواد خروجی (عموماً ضایعات) می‌باشند که به ترتیب با عبارت‌های محصولات مثبت و محصولات منفی بیان می‌شوند. MFCA یک ابزار است که ترکیب موازنه جرم با تخمین هزینه سیستم را فراهم می‌کند. موازنه جرم جدولی مقایسه‌ای است که موادی که به طور کلی وارد کارخانه و از آن خارج می‌شوند را لیست کرده و ثبت می‌کند. در MFCA، جریان کل مواد خروجی، یعنی محصول و سایر موارد، به واحدهای فیزیکی اندازه‌گیری می‌شود. با اجرای صحیح MFCA در واحدهای صنعتی، ناکارآمدی‌های سیستمی در هر دو واحد فیزیکی و پولی شناخته می‌شوند به طوری که اطلاعات درباره هزینه ضایعات به دقت شناسایی می‌شود [16]. MFCA برای محصولات تولیدی چهار نوع هزینه را مد نظر می‌دهد که عبارت‌اند از: هزینه مواد (MC)، هزینه انرژی (EC)، هزینه سیستم (SC) و هزینه مدیریت ضایعات که نمونه‌ای از آن در شکل 1 به تصویر کشیده شده است [17-18].



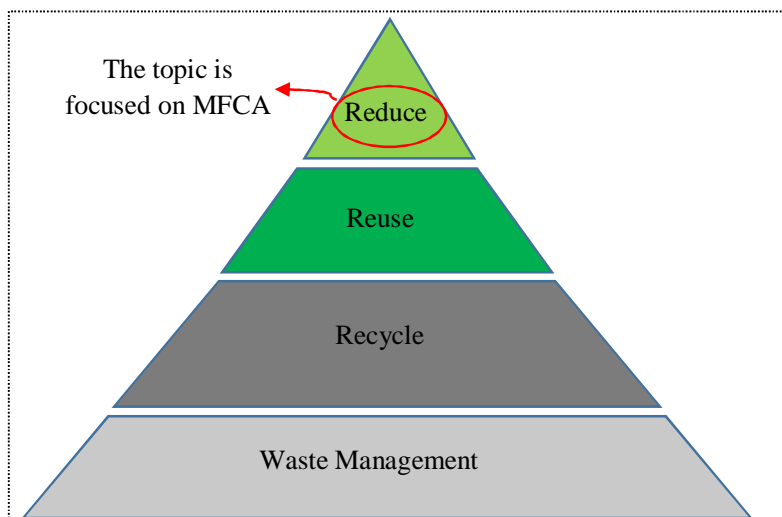
شکل 1- ارزیابی MFCA در واحد مالی در یک فرآیند خاص [10]

1-2- مدیریت پسماند

با وقوع انقلاب صنعتی در اواخر قرن هجدهم و اوایل قرن نوزدهم، بهره‌برداری‌های گسترده از منابع طبیعی به منظور تولید انبوه به شدت افزایش پیدا کرد استخراج زغال سنگ و فلزات از معادن و بهره‌برداری از جنگل‌ها برای استفاده از چوب درختان بخشی از این بهره‌برداری‌هاست. تولید انبوه کالا که عموماً با رویکرد رشد اقتصادی توسط کشورها صورت می‌گرفت مصرف فراوان را به دنبال داشت که خروجی آن پیامدهای منفی وسیعی را برای محیط زیست ایجاد می‌نمود. البته شاید طبیعت نسبتاً بکر آن روز توان بیشتری در جذب بخشی از این پسماندها را داشت و همین امر باعث می‌گردید دغدغه‌ای در اندیشمندان و سیاستمداران در جهت رفع مشکلات ناشی از این تولید انبوه ایجاد نگردد. در واقع چنین اقتصادی که منابع را از طبیعت می‌گیرد، به صورت انبوه کالا تولید می‌کند و به دست مصرف‌کننده می‌رساند و پسماند حاصل را به طبیعت باز می‌گرداند و جز رشد اقتصادی به موضوع دیگری نمی‌اندیشد، از سوی منتقدانی که دغدغه‌های زیست محیطی داشتند به مدل اقتصاد خطی مشهور شد. بنابراین در اقتصاد خطی، تولید، مصرف و رهاسازی پسماند در مسیری خطی انجام می‌گیرد.

اقتصاد چرخشی را می‌توان در تقابل با اقتصاد خطی تعریف کرد. ایده اصلی در اقتصاد چرخشی، بازیافت محصول یا بخشی از آن و ورود مجدد آن به چرخه تولید است. یکی از اهداف اصلی اقتصاد چرخشی، حفظ و احیاء منابع طبیعی، محیط‌زیست و سلامت اکوسیستم‌ها و کاهش پیامدهای محیط‌زیستی مخرب ناشی از انواع توسعه در کنار پایداری شرایط اقتصادی و اجتماعی می‌باشد [18]. در اقتصاد چرخشی از یکسو ارزش محصولات و مواد تا حد امکان حفظ می‌گردد و از سوی دیگر، مصرف مواد و تولید پسماند به حداقل کاهش می‌یابد و تا زمانی که محصولات به انتهای چرخه حیات خود برسند بارها و بارها مورد استفاده قرار می‌گیرند [19]. هر چند استفاده از اقتصاد چرخشی بسیاری از معایب اقتصاد خطی را برطرف می‌نماید و از طریق ارزش‌آفرینی در اقتصاد و بستن حلقه‌های انرژی و مواد نقش

برجسته‌ای را در توسعه پایدار ایفا می‌نماید اما همچنان بهره‌وری به عنوان یک عامل اثرگذار در رشد اقتصادی مورد غفلت قرار می‌گیرد چرا که بدلیل کمبود منابع انسانی و غیرانسانی، تولید بهره‌ور نیاز اساسی بشر در قرن حاضر می‌باشد و تولید بهره‌ور جز با افزایش بهره‌وری همه عوامل تولید امکان‌پذیر نمی‌باشد. بدیهی است سیستم بهره‌ور نیازمند روش‌هایی فراتر از اقتصاد چرخشی است که در آن ضمن توجه به اقتصاد چرخشی به گونه‌ای عمل گردد که با ورودی ثابت و حتی کمتر (مواد، انرژی، منابع مالی و) خروجی بیشتر با کیفیت بهتر و سود بالاتر بدست آید و اقتصاد سبز اولویت اصلی و اساسی تولید قرار گیرد. تا با ایجاد کمترین ضایعات در فرآیند تولید، بهره‌وری به شکل چشمگیری افزایش یابد که نتیجه آن بهینه‌سازی فرآیندها در تولید و افزایش بهره‌وری مالی بنگاه اقتصادی باشد. هزینه‌یابی جریان مواد یکی از روش‌های نوینی می‌باشد که می‌تواند ما را در رسیدن به این هدف یاری نماید. استفاده از رویکرد هزینه‌یابی جریان هزینه مواد برای یک خط تولید، این امکان را فراهم می‌کند که یک تحلیل دقیق‌تر از مسائل عملیاتی و مالی کارخانه ارائه شود. با بهره‌گیری از MFCA، شرکت می‌تواند با شناسایی و کاهش میزان ضایعات تولیدی، بهره‌وری فرآیندهای خود را بهبود بخشد و هزینه‌های مرتبط با ضایعات را کاهش دهد. این ابزار مدیریتی ارتباط مستقیمی بین عملکرد محیط‌زیستی و عملکرد اقتصادی سازمان ایجاد می‌کند. فرآیندهایی که شامل جریان‌های "استفاده مجدد" و "بازیافت" هستند، نیازمند مصرف انرژی اضافی، از جمله نیروی انسانی و منابع دیگر، می‌باشند. با این حال، تنها با اعمال رویکرد کامل کاهش ضایعات و بهره‌گیری از راهکارهای بهینه، می‌توان به کاهش حجم ضایعات و حتی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای رسید. در این زمینه، "کاهش" به‌عنوان رویکرد اصلی و موثر در این حوزه شناخته می‌شود. زیرا این رویکرد به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که بهبودی در عملکرد محیط‌زیستی و کاهش هزینه‌های مرتبط با ضایعات را بدست آورند. بنابراین، با رعایت اصول MFCA و اعمال بهترین روش‌های مدیریتی، کاهش ضایعات به‌عنوان یکی از مهمترین استراتژی‌ها برای بهبود عملکرد کارخانه‌ها در زمینه مدیریت هزینه‌های مرتبط با جریان مواد مطرح می‌شود. در این راستا شکل 2 نیز اولویت برنامه کاهش تولید ضایعات در سیستم MFCA را نشان می‌دهد.



شکل 2- اولویت کاهش تولید ضایعات در MFCA [15]

2-2- استقرار هزینه‌یابی جریان مواد و موازنه جرم و انرژی

اجرای MFCA شامل سه مرحله به شرح زیر است:

مرحله اول تعیین مراکز کمی است. مرحله بعدی جمع آوری اطلاعات مورد نیاز برای موازنه جرم سالانه است. مرحله سوم شامل جمع آوری و ارزیابی اطلاعات در مورد هزینه‌های مواد، انرژی و سیستم است [20-21]. معادله 1 برای انجام تراز جرم سالانه مرکز کمی و معادله 2 برای دست آوردن هزینه کل همان مرکز کمی استفاده می‌گردد [11، 19-21].

$$\sum M_{p_i, w_i(in)} = \sum_{i=1}^p M_{p_i(in)} + \sum_{i=1}^w M_{w_i(in)} \quad (1)$$

$$Cost_i^{PC} = Cost_i^{MAT} + Cost_i^{ENGY} + Cost_i^{SYS} \quad (2)$$

در معادله 1، $M_{p_i, w_i(in)}$ مواد کل ورودی، $M_{p_i(in)}$ محصولات تولیدی مد نظر و $M_{w_i(in)}$ هدر رفت تولید می‌باشد. در معادله 2، $Cost_i^{PC}$ هزینه کل فرایند، $Cost_i^{MAT}$ هزینه مواد اولیه m برای فرایند i را نشان می‌دهد. $Cost_i^{MAT}$ ، $Cost_i^{ENGY}$ و $Cost_i^{SYS}$ به ترتیب معادلات 3 الی 5 محاسبه می‌شوند:

$$Cost_i^{MAT} = \sum_{m=1}^M Cost_{i,m} M_{i,m} \quad (3)$$

$$Cost_i^{ENGY} = \sum_{e=1}^E Cost_{i,e} E_{i,e} \quad (4)$$

$$Cost_i^{SYS} = \sum_{l=1}^L Cost_{i,l} L_{i,l} \quad (5)$$

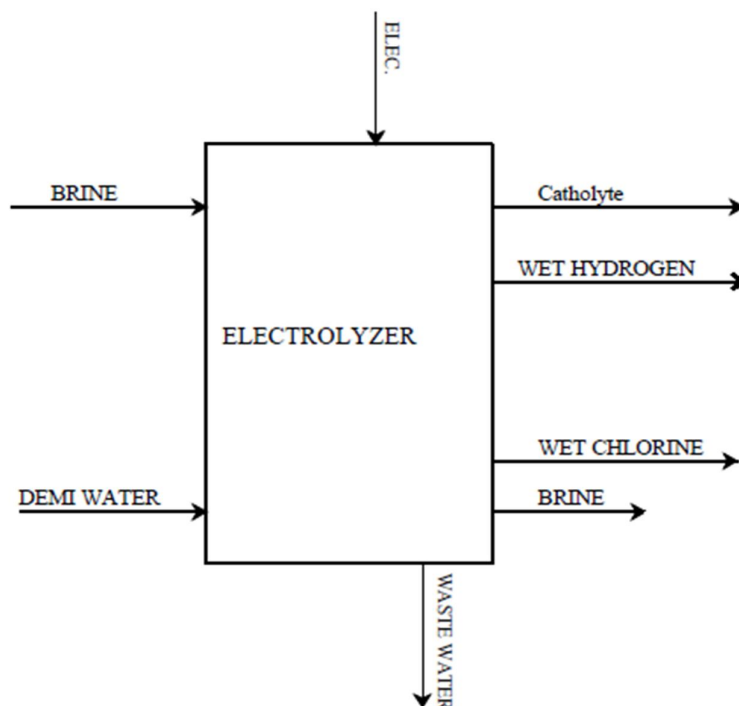
ارزش‌گذاری اقتصادی و زیست‌محیطی مهم‌ترین ویژگی MFCA است که صنایع را قادر می‌سازد تا ضایعات و هزینه‌های خود را به طور مؤثر و دقیق برآورد کنند تا عملکرد فرآیندهای خود را بهبود بخشیده و استفاده از منابع مالی و غیر مالی را بهینه کنند.

3- بحث و نتایج

3-1- بررسی فرایند و تعیین مرکز کمی

در این فرایند، خوراک آب نمک بعد از طی فرایند چرخه آب و نمک، اشباع‌سازی و خالص‌سازی به واحد الکترولیزر تزریق شده و سپس این جریان وارد قسمت آند الکترولیزرها می‌گردد. جنس قسمت آند از تیتانیوم با روکشی از اکسید روتنیوم که در مقابل کلر مقاوم است، می‌باشد. در این قسمت، آب نمک الکترولیز شده و به Na^+ و Cl^- تبدیل می‌شود. آب نمک برگشتی که حاوی گاز کلر می‌باشد، وارد دگازور شده و گاز کلر به علت سبکی در بالای دگازور و آب نمک برگشتی در پایین دگازور جمع گردیده و هر کدام جداگانه خارج می‌شوند. آب دمایرنال نیز همانند آب نمک ابتدا وارد قسمت کاتد می‌شود. جنس این قسمت از نیکل می‌باشد تا در مقابل سود مقاوم باشد. در قسمت کاتد، آب دمایرنال الکترولیز شده و به OH^- و H^+ تبدیل می‌گردد. سدیم عبوری از قسمت آند با هیدروکسید موجود در قسمت کاتد واکنش داده و محصول سود سوزآور (کاستیک) تولید می‌گردد. گاز هیدروژن احیا شده در قسمت کاتد با

کاستیک تولید شده وارد درام دگازور می‌شوند و هیدروژن از بالا و سود از پایین دگازور جمع گردیده و به صورت جداگانه خارج می‌شوند. کلیه فرآیندهای عملیاتی این واحد به عنوان یک مرکز کمی (QC) در نظر گرفته شده است که محاسبات MFCA از طریق یک مرکز داده برای یک دوره یک سال انجام می‌شود. دیاگرام جریان بلوکی مواد از مرکز کمی و مسیر جریان مواد در واحد الکترولایزر در شکل 3 نشان داده شده است.



شکل 3- مسیر جریان مواد و مرکز کمی برای واحد الکترولایزر در مجموعه کلر آلکالی

3-2- موازنه جرم

در این بخش مقادیر شدت جریان جرمی برای هر کدام از جریان‌ها از طریق سیستم کنترل واحد و اطلاعات واقعی محاسبه شده‌اند. در جداول 1 الی 3 به ترتیب میزان ماده مصرفی، تقسیم‌بندی محصولات مثبت و منفی، اتلاف‌های جرمی و خلاصه موازنه جرمی آورده شده است. در این واحد تنها محصول منفی تولیدی آب نمک غیر اشباع می‌باشد که به واحدهای قبلی باز می‌گردد و مجدداً پس از اشباع‌سازی به همین واحد تزریق می‌شود. بنابراین هزینه مدیریت پسماند نیز در داخل هزینه‌های جانبی مرکز کمی لحاظ شده است.

جدول 1- انواع خوراک ورودی به واحد الکترولایزر

ردیف	نام خوراک	درصد نسبی	مقدار در واحد (kg)
1	آب نمک	89	142280476
2	آب دمین	11	17386885
3	کل ورودی	100	159667362

جدول 2- جریان های خروجی و تقسیم بندی محصولات مثبت و منفی تولیدی در واحد

نام	مثبت/منفی	مقدار در واحد (kg)
سود 32 درصد	مثبت	30928817
مخلوط گاز کلر	مثبت	1260022/1
مخلوط گاز هیدروژن	مثبت	1326695/48
آب نمک 220	منفی	114811627/6

جدول 3- موازنه جرم کلی واحد

ورودی/خروجی/تلفات	وزن (Kg)	درصد از کل
کل جرم ورودی (تن در سال)	159667362	100
کل محصول تولیدی (تن در سال)	44855734	28
کل تلفات (تن در سال)	114811627	72

3-3- ارزش گذاری و شناسایی تلفات

مبنای تخصیص هزینه ها، میزان مواد اولیه مصرف شده در محصولات تولید شده می باشد که این نسبت ها بر اساس محتویات هر محصول محاسبه شده است. بنابراین هزینه مواد اولیه هر محصول بر اساس میزان مواد اولیه مصرف شده در هر محصول و قیمت هر ماده اولیه می باشد. هزینه های سیستمی بر اساس داده های جمع آوری شده از واحد و هزینه های سرویس های جانبی بر اساس محاسبات برای واحد الکترو لایزر محاسبه شده است. تقسیم بندی هزینه های کل بر روی محصولات مثبت و منفی در واحد الکترو لایزر در جدول 4 و جدول 5 ارائه شده است.

جدول 4- هزینه های واحد الکترو لایزر

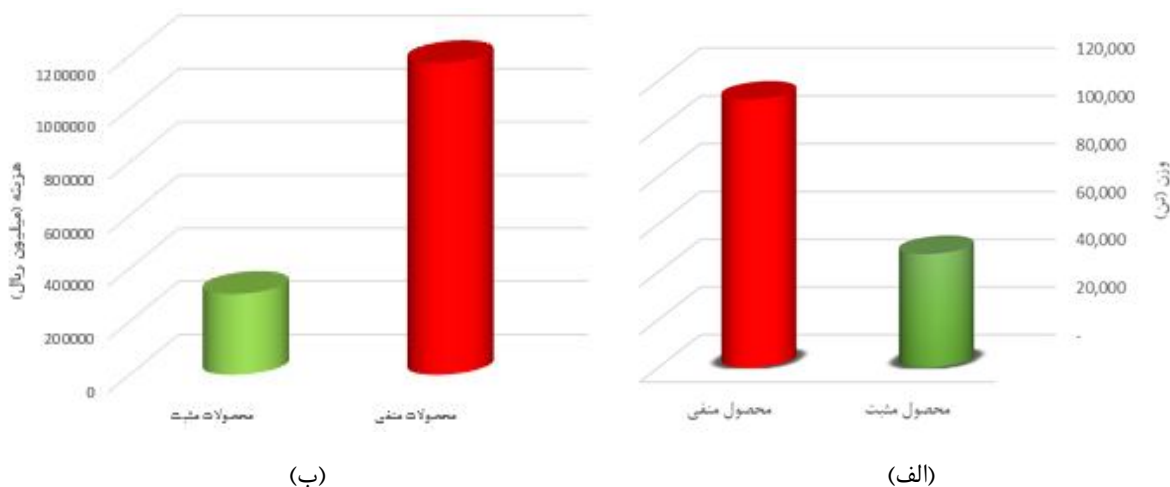
ردیف هزینه	هزینه کل (*mr)	هزینه محصولات مثبت (mr)	هزینه محصولات منفی (mr)
هزینه مواد	۱,۳۷۷,۱۷۰	۳۸۶,۸۹۲	۹۹۰,۲۷۸
هزینه انرژی	۴۶,۰۶۸	۱۲,۹۰۰	۳۳,۱۶۸
هزینه سیستم	۴۰,۲۹۷	۱۱,۲۸۴	۲۹,۰۱۳
هزینه مدیریت پسماند	0	0	0
هزینه کل	۱,۴۶۳,۵۴۰	۴۰۹,۷۹۲	۱,۰۵۳,۷۴۸
درصد محصول مثبت جرمی	28		
درصد محصول منفی جرمی	72		
نسبت محصول مثبت به منفی	0/39		

* million Rials

جدول 5- توزیع درصدی ردیف هزینه ها

ردیف هزینه	% از هزینه کل	% هزینه محصولات مثبت	% هزینه محصولات منفی
هزینه مواد	94/1	26/8	67/3
هزینه انرژی	3/1	1	2/1
هزینه سیستم	2/8	0/9	1/9
هزینه مدیریت پسماند	0	0	0
جمع	100	29	71

با توجه به محاسبات انجام شده، حدود 28 درصد محصول مثبت تولید می‌گردد و همچنین با در نظر گرفتن جدول 5 مشخص است که صرفاً حدود 29 درصد از هزینه‌های کل فقط بر روی محصول مثبت سرشکن می‌شود، بنابراین درصد قابل توجهی از هزینه‌ها در واحد الکترولایزر به محصولات منفی اختصاص می‌یابد. شکل 4 (الف) و 4 (ب) بترتیب میزان تخصیص جرمی و مالی به محصولات مثبت و منفی را نشان می‌دهد.



شکل 4- نسب محصولات مثبت و محصولات منفی براساس جرم (الف) و براساس هزینه (ب)

3-4- پیشنهادات بهبود

3-4-1- بهینه‌سازی سطح پارامترهای موثر در قسمت غشا و سل الکترولایزر

در سایه بکارگیری پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه الکترولیز آب نمک و تولید کلر که در 30 الی 40 سال گذشته به عمل آمده است می‌توان با بهینه‌سازی واحد الکترولایزر به کاهش مصرف انرژی و افزایش راندمان تولید دست یافت. بیشترین پیشرفت‌ها مربوط به غشاهایی می‌باشد که دارای دو روکش با راندمان بالا هستند. سایر پیشرفت‌ها مربوط به قسمت‌های سخت‌افزاری، شناخت و درک بیشتر پارامترهای موثر بر فرایند بوده است. بنابراین تکنولوژی سل غشایی برتری بالایی از لحاظ میزان مصرف انرژی، آلودگی زیست‌محیطی و مطلوبیت اقتصادی نسبت به سایر روش‌های تولید دارد. تنظیم دقیق سطح پارامترها در این فرایند بسیار با اهمیت است، چرا که به عنوان مثال؛ افزایش غلظت باعث کریستاله شدن و گرفتگی مسیرها و کاهش غلظت سبب توقف الکترولیز می‌گردد. افزایش دما در راستای PH بالا باعث افزایش تولید کلر و همچنین باعث خرابی زودتر سل غشایی و کاهش آن سبب کاهش ولتاژ و تولید می‌شود. افزایش سرعت جریان در یک زمان معلوم باعث کم شدن نفوذ در غشا می‌شود. البته باید توجه داشت که اختلاف فشار بین آنولیت و کاتولیت همواره ثابت بماند [22].

برای بهینه‌سازی واحد الکترولایزر تولید کلر آکالی به منظور کاهش مصرف انرژی، افزایش راندمان و کاهش تلفات، می‌توان از راهکارهای زیر بهره برد:

(1) استفاده از تکنولوژی‌های جدید و به‌روز برای الکترولایزرها و به‌روزرسانی سیستم‌های خنک‌کننده و سایر تجهیزات. این امر به مصرف کمتر انرژی منجر شده و می‌تواند به بهبود کارایی واحد کمک کند.

- (2) استفاده از سیستم‌های کنترل هوشمند برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و تنظیمات عملیاتی واحد. بهره‌مندی از این سیستم‌ها می‌توانند مصرف انرژی را در هنگام نیاز به حداقل برسانند.
- (3) احداث سیستم‌های بازیافت انرژی برای استفاده مجدد از انرژی‌های پرتوانتر در فرآیند الکترولیز و بهبود کارایی انرژی‌تیک واحد.
- (4) انجام تعمیر و نگهداری منظم و دوره‌ای. این کار عمر مفید تجهیزات و کارایی واحد را افزایش می‌دهد.
- (5) ارائه آموزش‌های مستمر به کارکنان در خصوص استفاده بهینه از منابع و بکارگیری روش‌های کاهش تلفات.

3-4-2- ثبت داده‌های واحدها به صورت سیستمی و ذخیره متمرکز آن‌ها در سرور

هدف از ارائه این پیشنهاد افزایش سرعت در کنترل فرآیندها، شناسایی مشکلات، حفظ کیفیت محصول، جلوگیری از اختلال در فرآیند و هزینه‌های مربوط به آن و کاهش هزینه‌های ثابت بر روی کاغذ می‌باشد. در حال حاضر داده‌های عملیاتی واحدها بر روی لاگ‌شیت‌های کاغذی ثبت می‌شود که این لاگ‌شیت‌ها بدون هرگونه پردازش داده بایگانی می‌شود. راهکار پیشنهادی تهیه تبلت‌های صنعتی برای واحدها و تعریف لاگ‌شیت‌های دیجیتالی و اتصال تمام واحدها به سرور مرکزی جهت انتقال تمام داده‌ها به سیستم مرکزی و پردازش این داده‌ها به صورت مستمر می‌باشد. کاربردهای این سیستم را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد:

- (1) کنترل فرآیند برای بهینه‌سازی فرآیند، محصول و شناسایی سریع اختلالات. این کار بازده را افزایش، مصرف انرژی را کاهش، فرآیند را روان و کیفیت محصول را مطابق مشخصات نگه می‌دارد.
- (2) کنترل کیفیت و ثبت مدارک برای انطباق با استانداردهای ISO. این امر باعث افزایش کیفیت محصول، کاهش ضایعات محصول، حفظ داده‌ها برای استفاده‌های آتی و کنترل مجدد می‌شود.
- (3) پایش واحد و هشدارها. این کار عوامل انسانی و واحد را از خطرات ممکن مواد سمی و قابل انفجار آگاه و حفظ می‌کند.

4- کنترل نشر آلاینده. این کاربرد کمک می‌کند تا میزان نشر آلاینده‌ها در محدوده مقررات باقی بماند.

همان‌طور که اشاره گردید استفاده از این سیستم باعث کاهش مصرف انرژی، حفظ کیفیت محصول، جلوگیری از اختلال در فرآیند و کاهش هزینه‌های مربوط به آن می‌گردد. هزینه اجرای این سیستم با توجه به قیمت تبلت صنعتی و نرم‌افزار لاگ‌شیت، در حدود 25000 دلار برآورد می‌گردد.

3-4-3- اصلاحات برنامه تولید

هدف اصلی این مطالعه کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌های تولید و کمینه کردن جابه‌جایی برنامه تولید می‌باشد. تولیدات این مجموعه، غالباً تقاضا محور بوده و براساس تقاضا تغییر می‌یابد، بنابراین وجود یک برنامه منظم تولید پویا کمک بسیار زیادی به این بنگاه اقتصادی خواهد نمود. بدیهی است مدل‌های برنامه‌ریزی تولید به دو صورت ایستا و پویا انجام می‌گیرد. در مدل ایستا فرض بر این اساس قرار می‌گیرد که آینده فروش قطعی است و هیچ گونه تغییری در تقاضا ایجاد نخواهد شد و مطابق یک تقاضای ثابت برای تولید آتی برنامه‌ریزی می‌شود. روش برنامه‌ریزی پویا انعطاف‌پذیری بالایی دارد و می‌توان از آن برای حل مسائل متنوعی استفاده کرد که از جمله می‌توان به مسیریابی در توزیع مناسب محصول، صرف کمترین هزینه در جابه‌جایی بین شهری، برنامه‌ریزی در موجودی مواد اولیه و محصول، کنترل بهینه برنامه تولید و ... اشاره کرد. هدف اصلی در برنامه‌ریزی پویا محاسبه یک تابع هزینه در هر حالت است.

با بدست آمدن این تابع هزینه می توان قانون کنترل بهینه را از یک حالت به حالت دیگر که هزینه را کمینه می کند به دست آورد. بنابراین، با استفاده از برنامه ریزی پویا «حل مسئله کنترل بهینه» به «یافتن تابع هزینه رو به جلو» تبدیل می شود. این کار را می توان با حل رو به عقب از حالت مطلوب تا به همه مقادیر اولیه ممکن انجام داد. وقتی این تابع هزینه رو به جلو پیدا شد، قانون کنترل بهینه به یافتن مسیری می انجامد که تابع هزینه را از وضعیت فعلی به یک وضعیت آینده کمینه می کند. روش برنامه ریزی پویا یک الگوریتم بسیار عمومی است و می توان آن را بر مسائل بهینه سازی اعمال کرد که در آن ها هزینه رو به جلو و هزینه جابه جایی از یک حالت به حالت دیگر، جمع شونده است. از آن جا که در این روش برنامه ریزی آینده احتمالی است و تقاضا ممکن است تغییر کند، بنابراین متناسب با شرایط، برنامه تولید نیز تغییر می کند [23].

4-4-3- مانیتورینگ و کنترل مداوم

هدف اصلی از بررسی و مانیتورینگ مداوم عملکرد واحد، شناسایی فرصت های بهبود و اعمال تغییرات لازم در جهت ایجاد بهبود مستمر می باشد که با نصب دستگاه های اندازه گیری شدت جریان های ورودی و خروجی در کلیه واحدها میسر می باشد [24] این امر امکان برقراری موازنه جرم و شناسایی تلفات را فراهم می کند ضمن این که قابلیت اتصال به سیستم ثبت دیتای مرکزی را نیز دارد. مانیتورینگ مداوم عملکرد واحد در نهایت موجب افزایش بهره وری از هر لحاظ می گردد.

برای بیان کمی اثربخشی این استراتژی های بهبود پس از اعمال آنها در واحد، یک تحلیل با استفاده از MFCA پیش بینی شده است. نتایج نهایی این تحلیل بر بخش مالی در شکل 5 و بر موازنه جرمی در جدول 6 ارائه شده است. شکل 5 ارزیابی مقایسه ای بین وضعیت عملیاتی فعلی واحد و وضعیت آن پس از اجرای تغییرات مذکور و جدول 6 موازنه جرم کلی بعد از اجرای راهکارها را ارائه می دهد. طبق جدول 6، کاهش حدود 3 درصدی ضایعات از نظر جرمی، کاهش 4 درصدی تلفات را از نظر مالی در پی خواهد داشت و عملاً این کاهش ضایعات به طور عینی بصورت افزایش در خروجی محصول قابل مشاهده است. کاهش 4 درصدی از نظر مالی منجر به کاهش هزینه ای برابر با ۴۲،۱۴۹ میلیون ریال در این واحد در طی شش ماه می گردد.

جدول 6- موازنه جرم کلی واحد بعد از اجرای راهکار

ورودی/خروجی/تلفات	وزن (Kg)	درصد از کل
کل جرم ورودی (تن در سال)	144695996	100
کل محصول تولیدی (تن در سال)	44855734	31
کل تلفات (تن در سال)	99840282	69



شکل 5- بررسی مالی محصول مثبت و منفی تولیدی قبل از اجرای راهکارهای بهبود (الف) و پیش‌بینی بعد از اجرای راهکارها (ب) براساس روش MFCA

4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با تمرکز بر روی بخش الکترولایزر در تولید کلر، محصولات مثبت و منفی شناسایی شده و ارزش‌گذاری دقیقی به ضایعات و محصولات اختصاص یافته است. با استفاده از روش هزینه‌یابی جریان مواد (MFCA)، مشخص شد که 72 درصد از وزن محصولات به شکل منفی است و میزان هدر رفت مالی مرتبط با آن 71 درصد است. به منظور بهبود بهره‌وری، راه‌حلهایی براساس نتایج MFCA پیشنهاد شدند. اجرای این راهکارها منجر به کاهش محصولات منفی و افزایش محصولات مثبت می‌گردد. کاهش ضایعات انرژی یکی از مزایای اصلی استفاده از MFCA است که نه تنها به کاهش آلودگی محیطی کمک می‌کند بلکه به حفظ منابع طبیعی نیز کمک می‌نماید. ارزیابی تلفات از طریق MFCA، تولیدکنندگان را در آگاهی از ضایعات مالی و مواد در کارخانه‌های خود یاری می‌رساند و امکان به حداقل رساندن این ضایعات و افزایش بهره‌وری را فراهم می‌کند. بر اساس بررسی‌های انجام شده با رویکرد MFCA، اجرای راه‌حل‌های پیشنهادی در این مطالعه، علاوه بر کاهش آلودگی محیطی، منجر به کاهش 3 درصدی از نظر جرمی و 4 درصدی هزینه محصولات منفی در این واحد خواهد شد که به افزایش 3 درصدی تولید محصولات مثبت و افزایش 42,149 میلیون ریال درآمد در یک سال فقط از این واحد خواهد انجامید. این پیشرفت‌ها نه تنها به بهبود عملکرد اقتصادی و محیطی این واحد کمک خواهد کرد، بلکه نمونه‌ای از امکانات و کارایی MFCA در بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی را به اثبات می‌رساند که می‌تواند به کارخانه‌ها و صنایع دیگر نیز کمک کند.

5- منابع

- [1] M.S. Moeinizadeh, Improvement of feed conversion ratio (FCR) in the broiler farms of Iran by study of effecting factors, Pajouhesh & Sazandegi 79, pp.115–127, 2008.
- [2] M. Daryani, N. Jodeiri, E. Fatehifar, J. Shahbazi, Optimization of operating conditions in purification of wet process phosphoric acid in a liquid-liquid extraction column, Chem. Eng. Commun. 0, pp. 1–14, 2021.
- [3] T. Feng, X. Chen, J. Ma, Y. Sun, H. Du, Y. Yao, Z. Chen, S. Wang, Z. Mi, Air pollution control or economic development? Empirical evidence from enterprises with production restrictions., J. Environ. Manage. 336, pp. 117611, 2023.

- [4] L. Qu, Z. Wang, C. Sun, L. Yin, Application of ABB in environmental management accounting : Incorporating MFCA into the budget process, pp. 1–19, 2022.
- [5] K. Nishitani, K. Kokubu, Q. Wu, H. Kitada, E. Guenther, T. Guenther, Material flow cost accounting (MFCA) for the circular economy: An empirical study of the triadic relationship between MFCA, environmental performance, and the economic performance of Japanese companies, *J. Environ. Manage.* 303, pp. 114219, 2022.
- [6] M. Forouzesh, E. Fatehifar, M. Daryani, R. Khoshbouy, Experimental investigation of iron removal from wet phosphoric acid through chemical precipitation process, *Chem. Eng. Res. Des.* 189, pp. 308–318, 2023.
- [7] Z. Yuhuan, M.Q. Rasheed, S. Saud, Environmental deterioration in the age of industrialization and production: do industrial competition and renewable energy reduce the ecological burden?, *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 31, pp. 2258–2278, 2024.
- [8] M. Gong, Z. You, L. Wang, J. Cheng, Environmental Regulation, Trade Comparative Advantage, and the Manufacturing Industry's Green Transformation and Upgrading., *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 2020.
- [9] J. Shahbazi, E. Fatehifar, M. Daryani, N. Jodeiri, A. Karimi, Adsorption of Arsenic and Lead From Phosphoric Acid Effluent Via 4A Zeolite: Statistical Experimental Design, *Water. Air. Soil Pollut.* 234, pp. 1–17, 2023.
- [10] K. Kokubu, H. Kitada, Material flow cost accounting and existing management perspectives, *J. Clean. Prod.* 108, pp. 1279–1288, 2015.
- [11] K. Kokubu, Campos, F. M.K.S., H. Tachikawa, Material Flow Cost Accounting with ISO 14051, *ISO Manag. Syst.* pp. 15–18, 2009.
- [12] E. Fatehifar, Implementation of Material Flow Cost Accounting (ISO 14051) in Tabriz Petrochemical Company. Technical Report., 2016.
- [13] L. Wang, J., Cui, Y., Zhu, J., Li, Discussion about Material Flow Cost Accounting, Proceedings of International Conference of Logistics Engineering and Management (ICLEM), China, pp. 3953e3959., 2010.
- [14] C. Jasch, Environmental and Material Flow Cost Accounting: Eco-efficiency in industry and science, pp. 211, 2009.
- [15] E. Fatehifar, A. Karimi, M. Mehdi, M. Mohammadi, Reducing Waste and Increasing Productivity in a Petrochemical Olefin Unit in the South of Iran with the Material Flow Costing, *J. Farayandno* 18, pp. 24–37, 2023.
- [16] E. Guenther, C. Jasch, M. Schmidt, B. Wagner, P. Ilg, Material flow cost accounting - Looking back and ahead, *J. Clean. Prod.* 108, pp. 1249–1254, 2015.
- [17] F. Sulong, M. Sulaiman, M.A. Norhayati, Material Flow Cost Accounting (MFCA) enablers and barriers: the case of a Malaysian small and medium-sized enterprise (SME), *J. Clean. Prod.* 108, pp. 1365–1374, 2015.
- [18] M. Strobel, C. Redmann, Flow Cost Accounting, an Accounting Approach Based on the Actual Flows of Materials, *Environ. Manag. Account. Informational Institutional Dev.* pp. 67–82, 2005.
- [19] E. Mahmoudi, N. Jodeiri, E. Fatehifar, Implementation of material flow cost accounting for efficiency improvement in wastewater treatment unit of Tabriz oil refining company, *J. Clean. Prod.* 165, pp. 530–536, 2017.
- [20] S. Dierkes, D. Siepelmeyer, Production and cost theory-based material flow cost accounting, *J. Clean. Prod.* 235, pp. 483–492, 2019.
- [21] M. Dekamin, M. Barmaki, Implementation of material flow cost accounting (MFCA) in soybean production, *J. Clean. Prod.* 210, pp. 459–465, 2019.
- [22] V.A.P. Aaiysha F. Khursheed, Carol A. Mansfield, Brooks M. Depro, The Chlorine Industry, *Res. Triangle Inst. Cent. Econ. Process .USA*, 2000.



- [23] K. Rajagopal, S.N. Balakrishnan, J.R. Busemeyer, Neural Network-Based Solutions for Stochastic Optimal Control Using Path Integrals, *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.* 28, pp. 534–545, 2017.
- [24] R. Maroofiazar, M. Daryani, A.R Vakhshouri, Numerical Investigation of Ferrofluid Sloshing by Applying MHD Magnetic Field :, *Eur. J. Comput. Mech.* 28, pp. 351–372, 2019.