Journal of Farayandno – Vol. 18 – No. 82 (2023): 24-37

**Research Article**

# Reducing Waste and Increasing Productivity in a Petrochemical Olefin Unit in the South of Iran with the Material Flow Costing Method

**Esmaeil Fatehifar [1*], Asadollah Karimi [2], Mohammad Mehdi Malek Mohammadi [1], Mohammad Daryani [1], Seyed Jafar Esmat Saatlo [3], Seyed Reza Mirsaidi [1]**

[1] Productivity and Sustainable Research Center, Faculty of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

[2] Associate Professor, University of Maragheh

[3] Director of the Environment Unit of Aria Sasol Polymer Company

**Received:** 31 Mar 2023 **Accepted:** 19 Jun 2023

## Abstract

In the challenge of chemical production, management will be successful if it has production waste and by-products in terms of mass and finance. The new method of material flow costing (MFCA) is using green productivity tools, which increases productivity with a mass and financial approach and increasing efficiency. This method saves money by initially identifying and then providing a scientific and practical way to prevent material loss (waste), energy, costs and $CO_2$ emissions. To achieve this goal, MFCA can be used to calculate the true costs of losses (hidden costs). Therefore, the purpose of this study is the production wastes in the olefin unit of a petrochemical company in the south of Iran and the cost characteristics of these wastes using the MFCA tool. Also, methodological solutions to reduce these wastes and increase productivity in this industrial unit have been presented. Based on the application of productivity improvement strategies, a 40% reduction in coke waste and a 10% increase in ethylene production are predicted in the process.

**Keyword:** Productivity, Material Flow Costing, Olefin, Waste Reduction.

* fatehifar@sut.ac.ir



**Please Cite This Article Using:**

Fatehifar, E., Karimi, A., Malek Mohammadi, M. M., Daryani, M., Esmat Saatlo, S. J., Mirsaidi, S. R., "Reducing Waste and Increasing Productivity in a Petrochemical Olefin Unit in the South of Iran with the Material Flow Costing Method", Journal of Farayandno – Vol. 18 – No. 82, pp. 24-37, In Persian, (2023).

مقاله پژوهشی

# کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری در یک واحد اولفین پتروشیمی در جنوب ایران با روش هزینه‌یابی جریان مواد

**اسماعیل فاتحی فر [1*]، اسداله کریمی [2]، محمد مهدی ملک محمدی [1]، محمد دریانی [1]، سید جعفر عصمت ساعتلو [3]، سید رضا میرسعیدی [1]**

[1] مرکز تحقیقات بهره‌وری و توسعه پایدار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

[2] دانشیار مهندسی شیمی، دانشگاه مراغه

[3] مدیر واحد محیط زیست شرکت پلیمر آریاساسول

**دریافت:** 1402/01/11 **پذیرش:** 1402/04/28

## چکیده

در چالش تولیدات مواد شیمیایی، مدیریتی موفق خواهد بود که درک خوبی از پسماندهای تولیدی و محصولات جانبی از نظر جرمی و مالی داشته باشد. روش نوین هزینه‌یابی جریان مواد (MFCA) از ابزارهای بهره‌وری سبز است که با دیدگاه فرآیندی، جرمی و مالی و بدست آوردن بهبود کارایی باعث افزایش بهره‌وری می‌شود. این روش در ابتدا با شناسایی و سپس ارائه علمی و عملی جلوگیری از تلفات مواد (ضایعات)، انرژی، هزینه‌ها و انتشار $CO_2$ باعث صرفه‌جویی می‌شود. برای دستیابی به این هدف می‌توان از MFCA برای محاسبه هزینه‌های واقعی تلفات (هزینه‌های پنهان) استفاده کرد. بنابراین هدف از این مطالعه شناسایی پسماندهای تولیدی در واحد اولفین یک شرکت پتروشیمی در جنوب ایران و تخصیص هزینه به این پسماندها با استفاده از ابزار MFCA می‌باشد. همچنین راهکارهای موثری برای کاهش این ضایعات و افزایش بهره‌وری در این واحد صنعتی ارائه شده است. بر اساس به‌کارگیری استراتژی‌های بهبود بهره‌وری، کاهش 40 درصدی ضایعات کک و افزایش 10 درصدی تولید اتیلن در فرآیند پیش‌بینی شده است.

**کلمات کلیدی:** بهره‌وری، هزینه‌یابی جریان مواد، اولفین، کاهش ضایعات.

* fatehifar@sut.ac.ir

## 1- مقدمه

پتروشیمی به عنوان یکی از بخش‌های اصلی صنعت نفت، از جمله صنایع مهم و مادر کشور است. این صنعت به عنوان یکی از گزینه‌های مهم صادرات غیر نفتی در جهت شکوفایی اقتصادی کشور، توسعه پایدار، بومی کردن فناوری و گسترش صنایع جانبی، اعم از صنایع پایین دستی و یا صنایع تامین کننده نیازهای فنی، مهندسی و تحقیقاتی در کشور نقش اساسی دارد. محصولات پتروشیمی مانند اتیلن، پروپیلن و بنزن عمدتا به عنوان مواد اولیه در گستره‌ای از صنایع لاستیک، پلاستیک، الکترونیک و بسته بندی استفاده می‌شوند. ایران با قدمت 50 ساله در این زمینه یکی از قطب‌های صنعت پتروشیمی در خاورمیانه است، اما این پیشرفت باعث استفاده مقدار زیادی انرژی و نیز ایجاد مشکلات زیست‌محیطی در کشور شده است [1].

تولید و بهره‌برداری از شرکت‌ها باعث اثرات منفی بر محیط زیست می‌شود. چالش‌های عمده زیست‌محیطی مانند تغییرات آب و هوا، تولید زباله و آلودگی محیط زیست عمدتاً به تصمیم‌های سودمحور اتخاذ شده توسط شرکت‌ها نسبت داده می‌شوند [4-2]. این تصمیمات می‌تواند منجر به تخریب مداوم محیط زیست شود که بر اکوسیستم‌های زمین و حفظ حیات تأثیر منفی می‌گذارد. در سال 2018، سازمان بهداشت جهانی پیشنهاد کرد که تقریباً 91 درصد از جمعیت جهان تا حدودی در معرض آلودگی محیطی قرار دارند [4] لذا حرکت به سوی استفاده کمتر از منابع انرژی و مراقبت از محیط زیست و ارتقاء بهره‌وری به نحوی که مانع تولید و پیشرفت این صنعت نشود، یک امر ضروری می‌باشد.

بهره‌وری از مفاهیم علم اقتصاد و مدیریت است و عبارتست از، بدست آوردن حداکثر سود ممکن، با بهره‌گیری و استفاده بهینه از نیروی کار، توان، استعداد و مهارت نیروی انسانی، زمین، ماشین، پول، تجهیزات، زمان، مکان و ... به منظور ارتقاء رفاه جامعه. بهبود بهره‌وری در بخش‌های مختلف اقتصاد با فرض افزایش ظرفیت تولید محصولات با کیفیت بالاتر و هزینه‌های کمتر، توانایی رقابت در بازارهای جهانی را فراهم می‌کند. بنابراین، برای ادامه بقاء و توسعه فعالیت‌های یک بخش اقتصادی، توجه به بهره‌وری یا به عبارتی رشد اقتصادی یک کشور اجتناب‌ناپذیر است. از زمان انقلاب صنعتی، مشکلات مصرف منابع و آلودگی محیط زیست به دلیل توسعه سریع صنعت تولید و افزایش کل اقتصادی به طور فزاینده‌ای جدی شده است. بنابراین، مسائل مربوط به منابع و زیست محیطی مورد توجه گسترده همه اقشار جامعه قرار گرفته است [6، 5، 2].

هزینه‌یابی جریان مواد یک ابزار مدیریتی است که برای حفاظت از محیط‌زیست، افزایش رقابت شرکت‌های بزرگ و توسعه روش‌های پیچیده طراحی شده است. روش هزینه‌یابی جریان مواد با استفاده از کاهش اثر محیط‌زیستی و کاهش هزینه‌ها به طور همزمان به عنوان ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران صنایع و مدیران سطوح بالا می‌باشد. در واقع این روش، با کاهش مواد زائد و دورریز، موجب کاهش هزینه‌ها و در نتیجه بهبود بهره‌وری تجاری می‌شود. ایده اولیه هزینه‌یابی جریان مواد از مؤسسه مدیریت و محیط زیست (IMU) آگزبرگ آلمان بوده است و در ژاپن تقسیم‌بندی مواد به مواد اولیه و منابع انرژی برای سهولت استفاده از طرح انجام شده است. علاوه بر این، MFCA این پتانسیل را دارد که با ارتباط با سایر تکنیک‌های ارزیابی و حفاظت از محیط‌زیست برای حفاظت از محیط‌زیست مؤثر باشد [8، 7، 2]. روش هزینه‌یابی جریان مواد، جریان و موجودی مواد را که شامل مواد اولیه (خام) و قسمت‌ها و اجزای فرآیند تولید است، در واحدهای فیزیکی و پولی اندازه‌گیری می‌کند. هزینه‌ها نیز در زیرمجموعه‌های هزینه مواد، هزینه

سیستم و هزینه انتقال و تصفیه مواد زاید مدیریت می‌شوند. هزینه‌های تلف شده در محصولات منفی (پسماندها و سایر مواد منتشر شده) با محاسبه مقدار آنها و شناسایی منابع تولیدکننده و تبدیل آنها به ارزش ریالی قابل ارزیابی است. به علاوه هزینه مواد اولیه، نیروی انسانی، استهلاک و سایر هزینه‌ها تحت هزینه هدررفت و پسماند با مفهوم هزینه تولید محاسبه می‌شود و این مسأله روشن می‌کند که چرا در هزینه‌یابی جریان مواد از واژه محصولات منفی استفاده می‌شود.

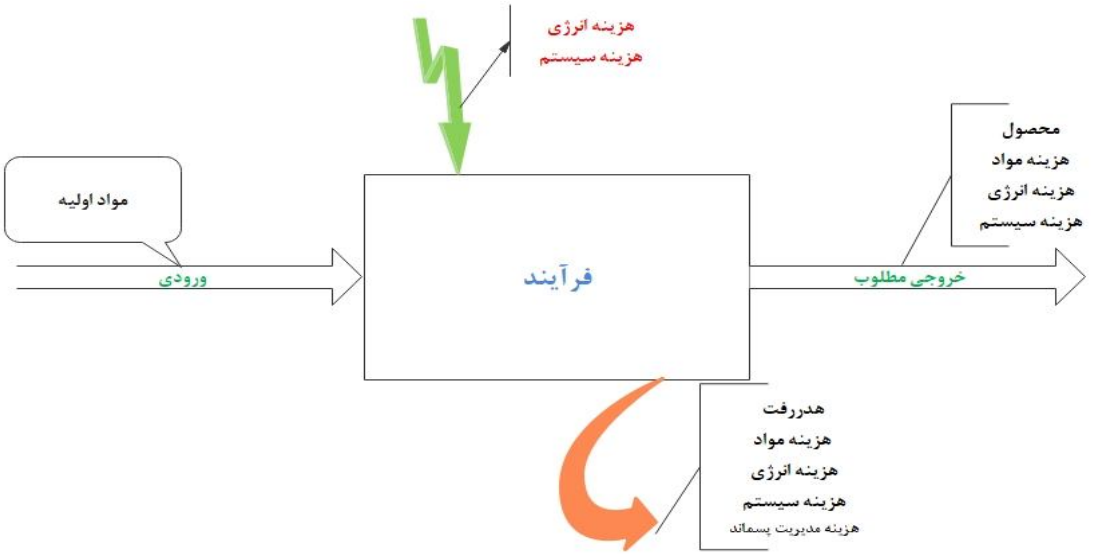
## 2- روش‌ها

### 2-1- مفهوم MFCA

MFCA به عنوان یکی از اساسی‌ترین ابزارهای حسابداری مدیریت زیست‌محیطی توصیف شده است که مطالعه موردی را مجموعه‌ای از مراکز داده به منظور برآورد ارزش واقعی محصولات و ضایعات و هزینه‌های مربوطه در نظر می‌گیرد. به عبارت دیگر، ارزش‌گذاری زیست‌محیطی و اقتصادی مهم‌ترین ویژگی MFCA است که صنایع را قادر می‌سازد تا ضایعات و هزینه‌های مواد خود را به طور موثر و دقیق برآورد کنند تا عملکرد فرآیندهای خود را بهبود بخشند و استفاده بهینه از منابع را بهینه کنند. محصولات MFCA از نظر اجرا در دو دسته محصولات مثبت و منفی طبقه بندی می‌شوند. محصولات مثبت محصولات مورد علاقه و محصولات منفی زباله و انتشار هستند [10، 9].

اهمیت MFCA با ایجاد استاندارد ISO 14051 سازمان بین المللی استاندارد در سال 2011 برای حسابداری بهای تمام شده جریان مواد معتبرتر شده است. ISO 14051 یک چارچوب کلی برای MFCA است. این تنها رویکرد استاندارد شده بین‌المللی با مشروعیت بالا است. با اجرای ماهرانه MFCA در واحدهای صنعتی، ناکارآمدی سیستم در هر دو واحد فیزیکی و پولی شناسایی می‌شود به طوری که اطلاعات مربوط به هزینه ضایعات را می‌توان به طور دقیق شناسایی کرد [11، 10].

MFCA برای محصولات تولیدی چهار نوع هزینه را در نظر می‌گیرد، از جمله: هزینه مواد (MC)، هزینه انرژی (EC)، هزینه سیستم (SC) و هزینه مدیریت زباله، که به صورت شماتیک در شکل 1 نشان داده شده است [13، 12، 10].




**شکل 1- ارزیابی MFCA در واحد پولی در فرآیند خاص**

به‌کارگیری هزینه‌یابی جریان مواد برای یک خط تولید، تصویر واضحی از مشکلات کارخانه را نمایان می‌سازد که با حل آنها شرکت می‌تواند میزان پسماند تولیدی را کاهش دهد و بهره‌وری کارخانه را بهبود بخشد؛ بنابراین هزینه‌یابی جریان مواد یک ابزار مدیریتی است که از ارتباط بین محیط‌زیست و اقتصاد حمایت می‌کند. فرآیندهای «استفاده مجدد» و «جریان برگشتی» انرژی مضاعفی (نیروی انسانی و سایر منابع) نیاز دارند و به تنهایی نمی‌توانند منجر به کاهش پسماند و به صفر رسیدن مواد منتشر شده شوند. «کاهش» بهترین راه‌حل است؛ چرا که سازمان‌ها نیازی به صرف هزینه‌های دیگر ندارند تا هیچ پسماندی تولید نشود. روش هزینه‌یابی جریان مواد بر روی جنبه‌های محیط‌زیستی با هدف کاهش قابل توجه هزینه تمرکز می‌کند. موادی که مواد زائد و گاز منتشرشونده را تولید می‌کنند، نباید به عنوان مواد اولیه استفاده شوند.

## 2-2- مدیریت پسماند

به طور کلی تلفات به سه بخش عمده تقسیم می‌شوند:

تلفات ناشی از طراحی (تئوریک): این نوع تلفات مواردی را شامل می‌گردد که به لحاظ تئوری نمی‌توان از آن‌ها اجتناب نمود و ناشی از طراحی سیستم هستند.

تلفات عادی/ نرمال: تلفاتی را شامل می‌شود که ناشی از کارکرد دستگاه‌ها بوده و به طور عادی وجود دارند و حتی با تنظیم دستگاه‌ها نیز از بین نمی‌روند.

تلفات غیرعادی: این تلفات از عملکرد بد دستگاه‌ها ناشی شده و غیرقابل قبول می‌باشند که با تعمیر و تنظیم دستگاه‌ها می‌توان از این نوع تلفات جلوگیری نمود.

در بحث مدیریت ضایعات (پسماند) روش‌های زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

مدیریت (دفع) ضایعات، بازیافت ضایعات، استفاده مجدد ضایعات، کاهش ضایعات

با توجه به اصول مهندسی محیط زیست، مدیریت (دفع) ضایعات بیشترین آثار مخرب را بر محیط‌زیست دارد و در رده‌های بعدی، بازیافت و مصرف مجدد ضایعات (با توجه به انرژی‌بر و هزینه‌بر بودن آنها) قرار دارند که به نسبت پیامدهای محیط‌زیستی کمتری را به دنبال دارند. (شکل2)

**شکل2- اولویت بر کاهش تولید ضایعات در روش هزینه‌یابی جریان مواد**

بر اساس اصول هزینه‌یابی جریان مواد، در میان این روش‌ها، موثرترین راه کاهش تلفات است، یعنی سعی شود ضایعات کمتری تولید شود تا نیاز به صرف هزینه و انرژی مجزا جهت دفع یا بازیافت آنها وجود نداشته باشد. طبق اصول هزینه‌یابی جریان مواد محصولی که واحد تولیدی جهت تولید آن طراحی شده است، به عنوان محصول مثبت و سایر

تولیدات اعم از محصولات جانبی تولید شده (حتی محصول با ارزش) و پساب و ضایعات و غیره همگی به عنوان محصول منفی (تلفات) طبقه‌بندی می‌شوند.

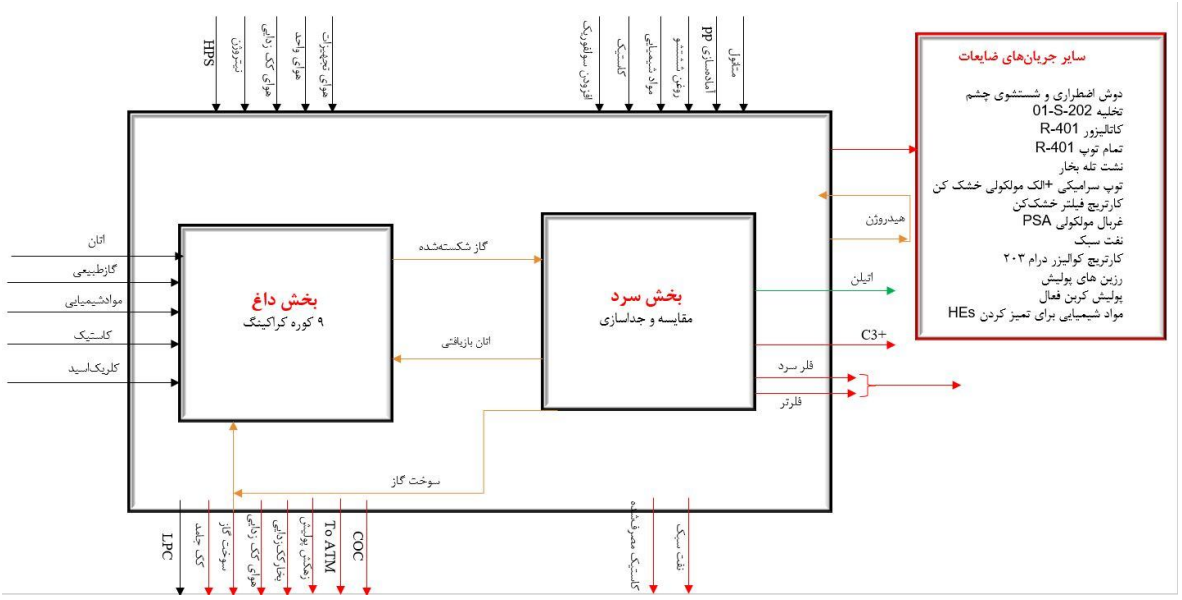
## 3- بحث و نتایج

### 3-1- شناخت واحد فرآیندی

واحد اولفین، تامین‌کننده خوراک واحدهای پلیمری می‌باشد. خوراک مجتمع (اتان) وارد کوره‌های شکست حرارتی شده و تبدیل به اتیلن و سایر ترکیبات آلی می‌گردد. واحد اولفین به دو بخش گرم و سرد تقسیم می‌شود. در بخش گرم خوراک مصرفی وارد کوره‌های شکست گردیده و با بخار آب (رقیق کننده) مخلوط می‌شود. در نهایت گاز شکسته شده پس از جداسازی ترکیبات سنگین وارد بخش کمپرسور شده و پس از فشرده‌سازی و خنک شدن وارد بخش سرد می‌شود. در این بخش گازهای هیدروژن، متان، اتیلن و برش سه‌کربنه به عنوان محصول جداسازی می‌گردند. اتیلن محصول اصلی واحد $C_2$ می‌باشند. سوخت مورد نیاز کوره‌های شکست از گاز سوخت تولیدی در خود واحد و گار ظبیعی تامین می‌گردد. عمده آلاینده تولید شده در این واحد آب فنل یا Tar Water (COC)، روغن سبک ( light oil / POC) و کاستیک مستعمل می‌باشد. گازهای خروجی از دودکش کوره‌ها نیز به عنوان گازهای گلخانه‌ای تقسیم-بندی می‌شود. با وجود مسیر به سوی مشعل فلر، میزان خروجی به سمت فلر تقریبا صفر می‌باشد و این شرکت جزو معدود شرکت‌هایی می‌باشد که میزان فلر خود را به صفر رسانده است.

### 3-2- موازنه جرم

اولین گام برای پیاده‌سازی هزینه‌یابی جریان مواد، درک مقدار جریان‌های ورودی و خروجی در فرآیند مورد بررسی می‌باشد. در شکل 3 نمودار جریان بلوکی برای فرآیند $C_2$ آورده شده است. قابل ذکر است که مقادیر شدت جریان جرمی ذکر شده برای هر کدام از جریان‌ها از سیستم کنترل واحد و اطلاعات واقعی امور حسابداری محاسبه شده‌اند.




**شکل 3- نمودار جریان بلوکی کل واحد $C_2$**

با توجه به اصول بالا و براساس بازدید میدانی از سایت، شبیه‌سازی فرآیند و نقشه‌ها و داده‌های فنی موجود در مجتمع کل اتلاف‌های واحد $C_2$ لیست و دسته‌بندی گردید. لیست تلفات واحد C2 در جدول 1 بصورت اجمالی گزارش شده است.

**جدول 1- لیست تلفات موجود در واحد C2**

| ردیف | نام اتلاف | نوع اتلاف | شکل تلفات |
|---|---|---|---|
| 1 | $C_3^+$ | تئوری | محصول جانبی |
| 2 | LPC (CONDENSATE Return) | تئوری | دورریز |
| 3 | H2 to Olefin User | تئوری | محصول جانبی |
| 4 | Fuel Gas to Furnace | تئوری | دورریز |
| 5 | Fuel Gas to B.L | تئوری | محصول جانبی |
| 6 | Caustic Eff. To B.L. | تئوری | دور ریز |
| 7 | Tar Water | تئوری | دور ریز |
| 8 | S.W. | نرمال | دورریز |
| 9 | Start-up & Shutdown | نرمال | دورریز |
| 10 | Solid Coke (Decoking Program) | نرمال | دورریز |
| 11 | Steam (Decoking Program) | نرمال | دورریز |
| 12 | Plant Air (Decoking Program) | نرمال | دورریز |
| 13 | Heat Releases from Isolations | نرمال | دورریز |
| 14 | ($NM^3$) N2 | نرمال | دورریز |
| 15 | Polisher Drain | نرمال | دورریز |
| 16 | Light Oil TK 805 | نرمال | دورریز |
| 17 | Emergency shower and eyewashes | نرمال | دورریز |
| 18 | To Flare from Cracked Gas (201) | نرمال | دورریز |
| 19 | Regeneration of Hydrogenation Reactor | نرمال | دورریز |
| 20 | Discharge of 01-S-202 | نرمال | دورریز |
| 21 | Catalyst/Al Balls of R-401 | نرمال | دورریز |
| 22 | Tar Water Excess | غیرنرمال | دورریز |
| 23 | PSV Popping | غیرنرمال | دورریز |
| 24 | spillage (steam traps, deaerator …) | غیرنرمال | دورریز |

در جدول 2 جریان‌های ورودی و خروجی و تقسیم‌بندی محصولات مثبت و منفی تولیدی در واحد اولفین قابل مشاهده است.

**جدول 2- جریانهای ورودی و خروجی و تقسیم بندی محصولات مثبت و منفی تولیدی در واحد C2**

| نام | مثبت/منفی | مقدار در طراحی (t/y) | مقدار در بهره برداری (t/y) | درصد انحراف (٪) |
|---|---|---|---|---|
| اتان | خوراک | ۱،۲۶۷،۵۰۰ | ۱،۱۵۶،۱۹۲ | -8,8 |
| مواد شیمیایی | ورودی | - | 3227,6 | - |
| بخار | ورودی | ۳۹۲،۸۳۲ | ۴۷۴،۰۴۲ | 20,67 |
| آب DM | ورودی | - | ۳۲۸،۱۰۲ | - |
| اتیلن | مثبت | ۱،۰۰۰،۰۰۰ | ۹۲۶،۹۶۹ | -7,3 |
| $C3^+$ | منفی | ۹۰،۰۰۰ | ۸۶،۸۰۳ | -3,5 |
| Light oil | منفی | - | 1159 | - |
| Fuel gas | منفی | - | ۱۳۱،۷۹۷ | - |
| Spent caustic | منفی | - | ۱۵،۸۴۰ | - |
| Tar water | منفی | - | ۱۸۵،۷۵۵ | - |
| Polisher Drain | منفی | - | 12000 | - |
| LPC | منفی | - | ۴۲۶،۶۳۸ | - |
| Flare | منفی | - | ۱۳،۲۸۸ | - |
| کک | منفی | * 300 | 40 | - |

در جدول 3 موازنه جرم کلی واحد اولفین بر اساس: الف) هیدروکربن‌ها و ب) کل مواد نشان داده شده است.

**جدول 3- الف- موازنه جرم کلی واحد اولفین بر اساس هیدروکربن‌ها**

| ورودی/خروجی/تلفات | طراحی | | بهره برداری | | درصد انحراف (٪) |
|---|---|---|---|---|---|
| | دبی جرمی | درصد از کل | دبی جرمی | درصد از کل | |
| **کل جرم ورودی (تن در سال)** | ۱،۲۶۷،۵۰۰ | 100 | ۱،۱۵۶،۱۹۲ | 100 | 0 |
| **کل محصول تولیدی (تن در سال)** | ۱،۰۰۰،۰۰۰ | 78,9 | ۹۲۶،۹۶۹ | 79,91 | -7,3 |
| **کل تلفات (تن در سال)** | ۲۶۷،۵۰۰ | 21,1 | ۲۲۹،۲۳۳ | 20,09 | -14 |

**جدول 3- ب- موازنه جرم کلی واحد اولفین بر اساس کل مواد**

| ورودی/خروجی/تلفات | طراحی | | بهره برداری | | درصد انحراف (٪) |
|---|---|---|---|---|---|
| | دبی جرمی | درصد از کل | دبی جرمی | درصد از کل | |
| **کل جرم ورودی (تن در سال)** | - | - | ۳،۴۵۲،۱۵۳ | 100 | - |
| **کل محصول تولیدی (تن در سال)** | ۱،۰۰۰،۰۰۰ | - | ۹۲۶،۹۶۹ | 27 | - |
| **کل تلفات (تن در سال)** | - | - | ۲،۵۲۵،۱۸۴ | 73 | - |

با تحلیل جدول 3 مشخص می‌شود که پروژه‌های اجرا شده در این شرکت که با هدف کاهش ضایعات و کمک به محیط‌زیست انجام شده است، موفق بوده و باعث کاهش محصولات منفی از مقدار طراحی شده است. با این وجود، مصرف آب در واحد بسیار بالا بوده و تلفات ناشی از آن مقدار قابل توجهی را نشان می‌دهد. این امر نشان دهنده آن است که این شرکت، اهداف و پروژه‌های آتی خود را بایستی در این زمینه متمرکز نماید.

## 3-3- محاسبات مالی

طبق اصول هزینه‌یابی جریان مواد، کلیه هزینه‌های انجام شده در واحد بایستی شناسایی گردند تا بتوان براساس موازنه جرم این هزینه‌ها را بر روی محصولات مثبت و منفی تقسیم نمود. با توجه به اینکه واحد $C_2$ بصورت یک مرکز هزینه در نظر گرفته شده است، هزینه سرویس‌های جانبی براساس توزیع درصد جرمی محاسبه شده است. هزینه‌ها به سه بخش هزینه مستقیم، غیر مستقیم و هزینه‌های دوره‌ای تقسیم شده است. در محاسبات هزینه‌یابی جریان مواد، هزینه مدیریت پسماند برای محصولات منفی در نظر گرفته می‌شود و برای محصولات مثبت هزینه مدیریت پسماند صفر می‌باشد. تقسیم بندی هزینه‌های کل بر روی محصولات مثبت و منفی در واحد اولفین در جداول 4 الف و ب ارائه شده است.

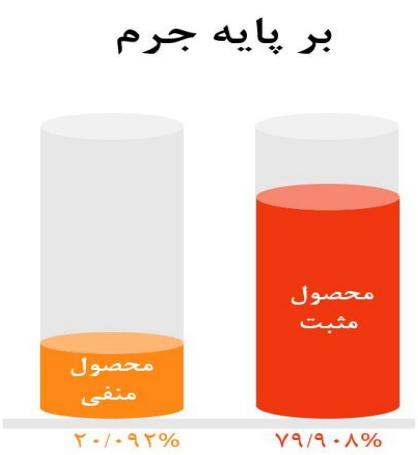
**جدول 4- الف- هزینه‌های کل واحد اولفین**

| ردیف هزینه | هزینه کل (mr/y) | هزینه محصولات مثبت (mr/y) | هزینه محصولات منفی (mr/y) |
|---|---|---|---|
| هزینه مواد | ۸،۷۴۴،۷۹۴ | ۶،۹۸۷،۷۸۹ | ۱،۷۵۷،۰۰۵ |
| هزینه انرژی | ۱،۳۸۳،۹۸۶ | ۱،۱۰۵،۹۱۵ | ۲۷۸،۰۷۱ |
| هزینه سیستم | ۲،۶۳۹،۷۳۴ | ۲،۱۰۹،۳۵۸ | ۵۳۰،۳۷۶ |
| هزینه مدیریت پسماند | ۴۱،۶۷۲ | 0 | ۴۱،۶۷۲ |
| **هزینه کل** | **۱۲،۸۱۰،۱۸۶** | **۱۰،۲۰۳،۰۶۲** | **۲،۶۰۷،۱۲۴** |
| درصد محصول مثبت جرمی | 79,908 | - | - |
| درصد محصول منفی جرمی | 20,092 | - | - |
| نسبت محصول مثبت به منفی | 3,977 | - | - |

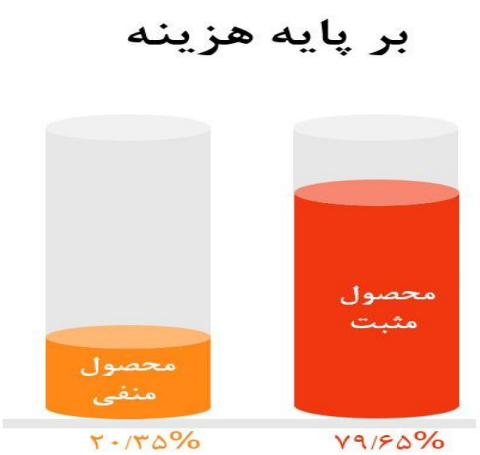
**جدول 4- ب- توزیع درصدی ردیف هزینه‌ها**

| ردیف هزینه | % از هزینه کل | % هزینه محصولات مثبت | % هزینه محصولات منفی |
|---|---|---|---|
| هزینه مواد | 68,26 | 54,55 | 13,72 |
| هزینه انرژی | 10,80 | 8,63 | 2,17 |
| هزینه سیستم | 20,61 | 16,47 | 4,14 |
| هزینه مدیریت پسماند | 0,33 | 0 | 0,325 |
| **جمع** | **100** | **79,65** | **20,35** |

با مقایسه جدول 3- ب با درصد توزیع جرمی محصولات ملاحظه شدکه، درصد محصولات مثبت و منفی از نظر جرمی و مالی با هم متفاوت هستند. در شکل 4 الف و ب این مساله قابل مشاهده است.



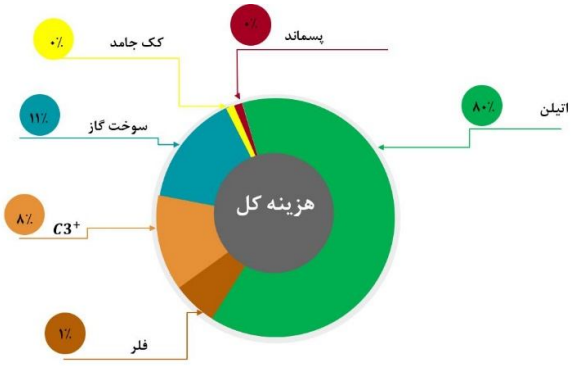

**شکل 4-الف- نسبت محصولات مثبت و محصولات منفی بر اساس جرم**



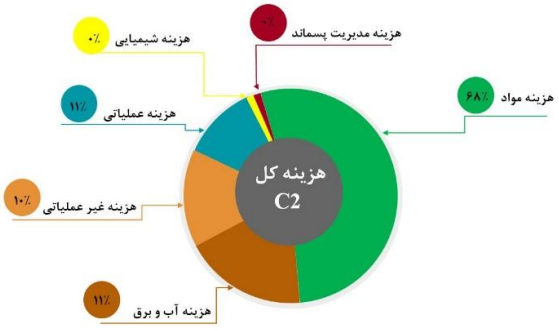

**شکل 4-ب- نسبت محصولات مثبت و محصولات منفی بر اساس هزینه**

## 4-3- استقرار MFCA در واحد اولفین

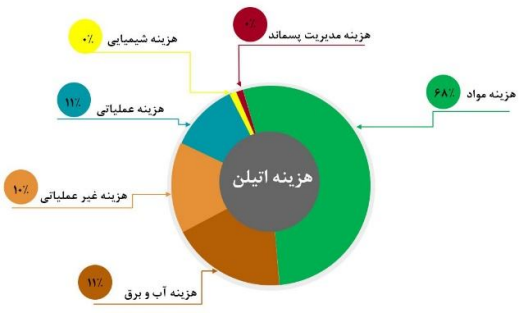
جهت شروع اجرای استاندارد ایزو 14051 در واحد اولفین و آغاز محاسبات هزینه‌یابی جریان مواد ابتدا بایستی محصولات مثبت و منفی تعیین گردد. بدین منظور دو محصول اتیلن و پروپیلن به عنوان محصولات مثبت و سایر محصولات تولیدی در فرایند، به عنوان محصولات منفی در نظر گرفته می‌شود. در ادامه در شکل‌های 5-1 تا 5-6 نسبت توزیع هزینه خوراک، سیستم، انرژی و مدیریت پسماند بر روی محصولات ارائه شده است.

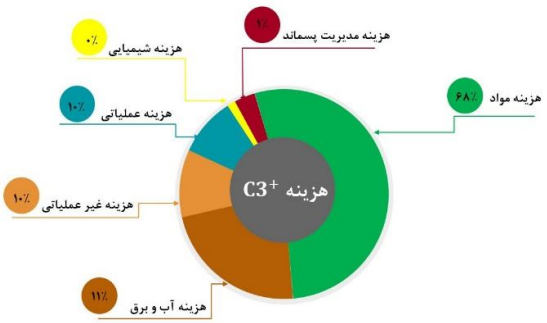



**شکل 5-1-تخصیص هزینه‌کل به محصولات مثبت‌ومنفی**

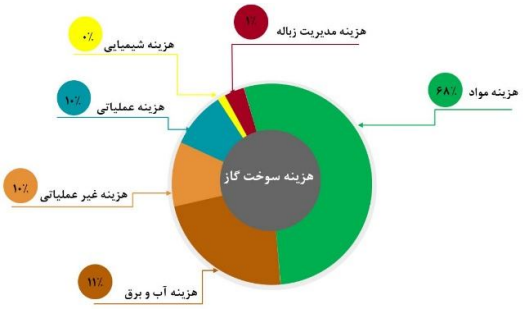



**شکل 5-2- سهم انواع هزینه‌ها در واحد $C_2$**

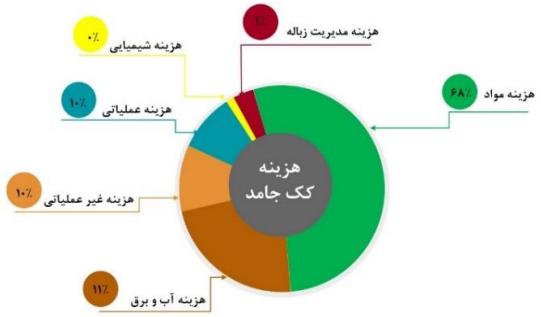


**شکل 5-3- تخصیص انواع هزینه به اتیلن**




**شکل 5-4- تخصیص انواع هزینه به $C_3^+$**




**شکل 5-5- تخصیص انواع هزینه به Fuel Gas**

**شکل 5-6- تخصیص انواع هزینه به Solid Coke**

## 5-3-پیشنهادات بهبود و نتایج به‌دست آمده

1- ایجاد پوشش غیرکاتالیستی بر روی جداره داخلی تیوب‌های کوره با هدف کاهش تشکیل کک، افزایش زمان کارکرد بین دو مرحله کک‌زدایی و کاهش مصرف انرژی ناشی از ضخامت کک که نتیجه این است که زمان عملکرد بین دو کک‌زدایی تقریبا دو برابر شده است و افت فشار درون کویل تا 50 درصد کاهش را نشان می‌دهد. در شبیه-سازی‌های انجام شده، با در نظر گرفتن 40 درصد کاهش تولید کک و با جریان خوراک 25 تن بر ساعت اتان، شبیه‌سازی نشان داد که تولید سالانه اتیلن می‌تواند تا 10درصد افزایش یابد.

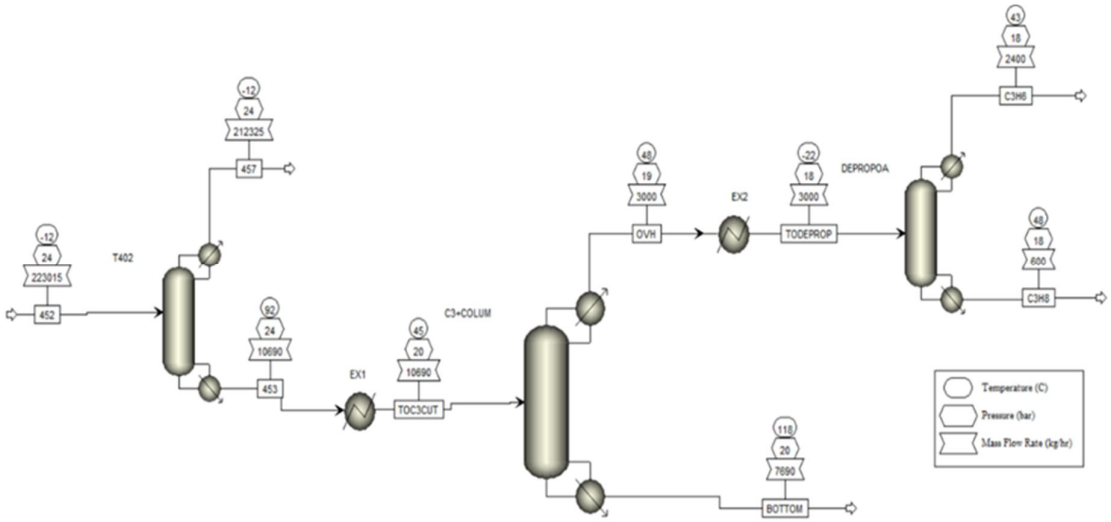
2- استفاده از کاتالیست‌های نسل سوم در راکتور R-401 A/B با هدف افزایش درصد تبدیل استیلن به اتیلن (محصول مثبت)، با توجه به حاشیه بازار اتیلن و اتان، سود اقتصادی حاصل از افزایش تولید اتیلن به علت افزایش 20 درصدی انتخاب‌پذیری ناشی از کاتالیزور نسل سوم برای یک کارخانه با ظرفیت 1000 کیلو تن در سال با استفاده از پارامترهای تولید به طور متوسط محاسبه شد. سود حاصل فقط از افزایش اتیلن در سال اول تقریبا دو میلیون دلار است.

3- جدا کردن قیر و کک از آب quench tower توسط پکیج تجاری و استفاده مجدد از آب با هدف کاهش آلودگی محیط‌زیستی و کاهش مصرف آب که استفاده از این سیستم بازده واحد اتیلن را افزایش و هزینه‌های فرآیندی و تاثیرات سوء محیط‌زیستی را کاهش می‌دهد و باعث افزایش عمر تجهیزات و فاصله زمانی بین دو توقف فرآیند می‌شود.

4- اضافه کردن مقدار محدود $O_2$ به خوراک که این امر نشان می‌دهد که با استفاده از این روش تبدیل اتان به اتیلن با درصد تبدیل اتان بالا (بیش از 60 درصد) و با انتخاب‌پذیری بالا (بیش از 80 درصد) امکان‌پذیر می‌باشد و این روش با کاهش بسیار زیاد مصرف انرژی همراه است.

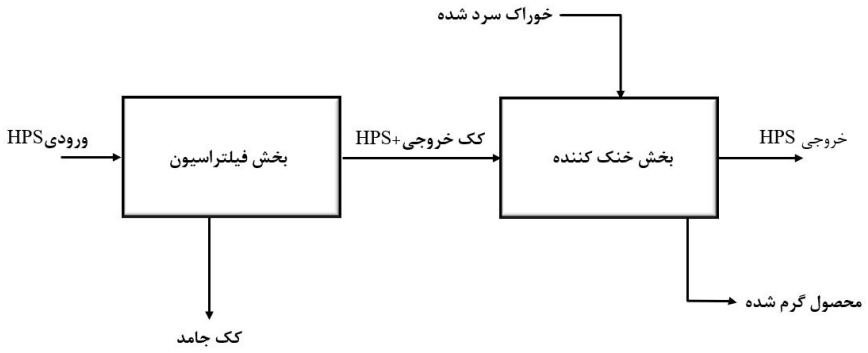
5- اضافه کردن دو برج جدید در مسیر خروجی پایین برج T-402 برای جداسازی پروپیلن و استفاده از آن، جداسازی 1و3- بوتادین و جداسازی بنزین، بدین منظور در مسیر خروجی پایین برج T-402، ابتدا یک برج قرار می‌گیرد که در آن پروپیلن و پروپان از 1-3 بوتادین و بنزین جدا می‌شوند. با توجه به نتایج شبیه‌سازی این دو برج که در نرم افزار اسپن انجام شده است، خروجی بالای این برج 3 تن در ساعت مخلوط 89 درصد پروپیلن و 11 درصد پروپان خواهد بود. خروجی پایین این برج حاوی 40 درصد 1-3 بوتادین و 60 درصد بنزین می‌باشد که امکان جداسازی این دو و فروش آنها نیز وجود دارد. در برج دوم که در مسیر خروجی بالای برج اول قرار می‌گیرد، پروپیلن و پروپان از

یکدیگر جدا می‌شوند. با مقدار خوراک 3 تن بر ساعت، خروجی بالای برج 2,4 تن بر ساعت پروپیلن با خلوص 96 درصد خواهد بود، که در واحد LDPE قابل قابل کاربرد است. خروجی پایین برج پروپان می‌باشد که به عنوان سوخت قابل استفاده است. شکل 6 نمایی از شبیه‌سازی برج‌ها در نرم افزار اسپن را نشان می‌دهد. در نهایت تاثیر اقتصادی بهینه سازی برج T-402 و اضافه کردن این دو برج جدید چشمگیر بوده و پس از محاسبات مال مشخص گردید که در یک سال، سود حاصل از فروش پروپیلن، از هزینه ساخت دو برج بسیار بیشتر می‌باشد.




**شکل 6- نمایی از شبیه‌سازی برج‌ها**

6- استفاده مجدد از بخار کک زدایی با هدف جلوگیری از هدر رفت بخار و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و آب، در فرآیند کک زدایی مقادیر زیادی بخار آب (DLS) و هوای فشرده استفاده می‌شود. این بخار پس از خروج از کوره وارد اتمسفر گردیده و هیچ استفاده‌ای از آن نمی‌شود. در نتیجه علاوه بر جرم بخار از دست رفته، مقدار زیادی انرژی توسط بخار به محیط تخلیه می‌شود. می‌توان با استفاده از روش‌های متداول مبدل‌های حرارتی و نصب فن و پمپ، انرژی بخار را استفاده کرده و سپس بخار را به مایع تبدیل نموده و کندانس حاصل را برای تولید DLS استفاده نمود. فرآیند پیشنهادی برای این عملیات در شکل 7 قابل مشاهده می‌باشد. برای بررسی تاثیرگذاری بازیابی بخار مورد استفاده در مرحله کک‌زدایی کوره‌ها از دو دیدگاه باید به موضوع پرداخته شود: الف) ارزش حرارتی بخار ب) ارزش جرمی. در محاسبه ارزش جرمی فرض بر این است که بخار مورد استفاده در کک‌زدایی بعد از عبور مراحلی مانند فیلتراسیون و مبدل‌های حرارتی به آب کندانس تبدیل شود که ارزش این آب کندانس معادل با آب DM است.




**شکل 7- فرآیند پیشنهادی برای بازیابی بخار فشار بالای مراحل کک‌زدایی**

## 4- نتیجه‌گیری

در این تحقیق محصولات منفی و مثبت در واحد اولفین پتروشیمی شناسایی و ارزش واقعی به ضایعات و محصولات اختصاص داده شد. به منظور افزایش بهره‌وری، راهکارهایی برای بهبود فرآیندها ارائه شد. با اجرای سیستم MFCA مشخص شد که بیشترین ضایعات شناسایی شده در واحد مورد مطالعه مربوط به کاهش هزینه‌های ناشی از، برای جداسازی پروپیلن بوده است. به منظور افزایش بهره‌وری، بر اساس نتایج MFCA، ایجاد پوشش غیرکاتالیستی بر روی جداره داخلی تیوب های کوره با هدف کاهش تشکیل کک، اضافه کردن مقدار محدود $O_2$ به خوراک و استفاده مجدد از آب با هدف کاهش آلودگی محیط زیست و کاهش مصرف آب برای بهبود فرآیندها ارائه شد. با اجرای راهکارهای مناسب، میزان محصولات منفی کاهش می‌یابد و این امر درصد محصولات مثبت را افزایش می‌دهد. کاهش اتلاف انرژی نیز جنبه مثبت استفاده از سیستم MFCA است که علاوه بر کاهش آلودگی زیست‌محیطی، به حفظ منابع طبیعی نیز کمک می‌کند. MFCA با شناسایی ضایعات پنهان به تولیدکنندگان کمک می‌کند تا در وهله اول از ضررهای مالی و مادی کارخانه خود آگاه شوند و سپس اطمینان حاصل کنند که می‌توانند این تلفات را کاهش دهند و بهره‌وری خود را افزایش دهند.

## 5- منابع

[1] اسماعیل. فاتحی‌فر، هزینه‌یابی جریان مواد با هدف کاهش و مدیریت ضایعات فرایندی بر اساس استاندارد ایزو 14051 در شرکت پلیمر آریاساسول، 1397.

[2] 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.

[3] P.J. Landrigan, R. Fuller, N.J.R. Acosta, O. Adeyi, R. Arnold, N. (Nil) Basu, A.B. Baldé, R. Bertollini, S. Bose-O'Reilly, J.I. Boufford, P.N. Breysse, T. Chiles, C. Mahidol, A.M. Coll-Seck, M.L. Cropper, J. Fobil, V. Fuster, M. Greenstone, A. Haines, D. Hanrahan, D. Hunter, M. Khare, A. Krupnick, B. Lanphear, B. Lohani, K. Martin, K. V. Mathiasen, M.A. McTeer, C.J.L. Murray, J.D. Ndahimananjara, F. Perera, J. Potočnik, A.S. Preker, J. Ramesh, J. Rockström, C. Salinas, L.D. Samson, K. Sandilya, P.D. Sly, K.R. Smith, A. Steiner, R.B. Stewart, W.A. Suk, O.C.P. van Schayck, G.N. Yadama, K. Yumkella, M. Zhong, "The Lancet Commission on pollution and health", *The Lancet*. vol. 391, pp. 462–512, 2018.

[4] E.E. Welbeck, "The influence of institutional environment on corporate responsibility disclosures in Ghana", *Meditari Accountancy Research*, vol. 25, pp. 216–240, 2017.

[5] P. Yadav, J. Singh, D.K. Srivastava, V. Mishra, "Environmental pollution and sustainability, in:

Environmental Sustainability and Economy, *Elsevier Inc.*, pp. 111–120, 2021.
[6] P. Young, G. Byrne, M. Cotterell, "Manufacturing and the environment", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing,vol.* 13, pp. 488–493, 2012.
[7] E. Guenther, C. Jasch, M. Schmidt, B. Wagner, P. Ilg., "Material flow cost accounting - Looking back and ahead", *Journal of Cleaner Production*, vol. 108, pp. 1249–1254, 2015.
[8] M. Schmidt. "The interpretation and extension of Material Flow Cost Accounting (MFCA) in the context of environmental material flow analysis", *Journal of Cleaner Production*, vol. 108, pp. 1310–1319, 2015.
[9] S. Schaltegger, M. Wagner., "Current Trends in Environmental Cost Accounting — and Its Interaction with Ecoefficiency Performance Measurement and Indicators, in: Implementing Environmental Management Accounting: Status and Challenges", pp. 45–62, 2005.
[10] E. Mahmoudi, N. Jodeiri, E. Fatehifar, "Implementation of material flow cost accounting for efficiency improvement in wastewater treatment unit of Tabriz oil refining company",vol. 165, pp. 530–536, 2017.
[11] C. Bux, V. Amicarelli, "Material flow cost accounting (MFCA) to enhance environmental entrepreneurship in the meat sector : Challenges and opportunities", vol. 313, 2022.
[12] R. Kerbachi, M. Boughedaoui, L. Bounoua, M. Keddam, "Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers", *Atmospheric Environment*, vol. 40, pp. 3995–4003, 2006.
[13] S. Seuring, M. Müller, "Integrated chain management in Germany - identifying schools of thought based on a literature review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, pp. 699–710, 2007.