امکان‌سنجی کاهش ضایعات در واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز با بهره‌گیری از روش هزینه‌یابی جریان مواد

نیلوفر چرچی[1]، اسماعیل فاتحی‌فر[2]، نعیمه جدیری[3*]

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند

۲- استاد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند

۳- استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند

پیام‌نگار: njodeiri@sut.ac.ir

چکیده

در پی پیش آمدن مسائل زیست‌محیطی و مشکلات ناشی از تولید بیش از حد ضایعات، نهادهای حفاظت از محیط زیست، محدودیت‌ها و قوانینی را بر فعالیت‌های مختلف صنعتی اعمال می‌کنند که مستلزم فعالیت بخش‌های حسابداری، ارزیابی زیست‌محیطی، شناسایی و حل مشکلات است. در این مقاله، واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز با بهره‌گیری از روش نوین هزینه یابی جریان مواد مورد بازنگری اقتصادی قرار گرفته است .نتایج حاصل در این واحد نشان می‌دهد که ۷۳ درصد از خروجی‌های واحد محصول مثبت، یعنی بنزین و هیدروژن است و مابقی که بالغ بر ۲۷ درصد خروجی‌هاست، محصولات منفی واحد را تشکیل می‌دهد که هزینه‌ای معادل ۱۳۵۰ میلیارد ریال در سال را دربر می‌گیرد. به منظور کاهش هزینه‌ها در این واحد، به‌کارگیری سیستم بازمصرف گرمای گازهای خروجی از دودکش کوره‌ها، نشان داد که با این روش از به هدر رفتن ۵۶۲ میلیون کیلوژول انرژی و حرارت در هر دقیقه به جوّ جلوگیری خواهد شد. همچنین، استفاده از انتقال نیروی الکتریکی دور متغیر در الکتروموتورهای موجود در واحد نشان داد که با به‌کارگیری انتقال نیروی الکتریکی دور متغیر، میزان هزینه مصرفی انرژی در واحد ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت که مبلغی معادل ۷۶۳ میلیون ریال در سال است.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۰۲

شماره صفحات: ۵۰ تا ۶۳

کلیدواژه ها: هزینه یابی جریان مواد، واحد بنزین‌سازی، شرکت پالایش نفت تبریز.

۱. مقدمه

گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی و بهره‌گیری بیش از حد از منابع طبیعی، موجب آلودگی محیط‌زیست و کاهش این منابع می‌شود. ورود آلاینده‌ها به محیط زیست، به انسان‌ها، جانوران و گیاهان زیان‌های متنوعی می‌رساند که در نهایت می‌تواند به مرگ و میر آن‌ها انجامد. در صنایع ایران، به دلایلی چون فناوری قدیمی، ارزان بودن انرژی، فقدان بازنگری فرایندهای تولید و فقدان راهکارهایی در جهت افزایش بهره‌وری، استفاده بهینه از منابع

* تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی شیمی، مرکز تحقیقات مهندسی محیط‌زیست

طبیعی صورت نمی‌گیرد. حسابداری هزینهٔ جریان مواد و انرژی که به کاهش جریان‌های مواد و انرژی مصرفی در فرایندهای تولیدی و کاهش ضایعات در این مسیر و در نهایت بهبود شرایط زیست‌محیطی منجر می‌شود، می‌تواند نقش مؤثری در بهبود شرایط اقتصادی و محیط‌زیست ایفا کند[۱].

سیستم هزینه‌یابی جریان مواد (MFCA)[1] از جمله ابزارهای حسابداری زیست محیطی است که در افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و پایداری تولید و مصرف اهمیت بسزایی دارد. مفهوم بهبود فرایند ساخت معمولاً بر کاهش زمان فرایند، کاهش هدررفت منابع و افزایش تولیدات هر خط تولیدی متمرکز است. در این راستا، کاربرد روش حسابداری و هزینه‌یابی جریان مواد با مشخص کردن ضایعات در فرایند تولید و تبدیل آن‌ها به مقادیر فیزیکی و مالی می‌تواند به طور چشمگیری در جهت حصول این اهداف گام بردارد. با شفاف سازی تمامی هزینه های مثبت و منفی، زمینه برای تدوین و اولویت‌بندی راهبردهای مناسب به منظور به حداقل رساندن هزینه‌های منفی و افزایش بهره‌وری تولید مهیا می‌شود[۲]. مزیت عمده این روش نسبت به روش‌های متداول حسابداری هزینه این است که در روش‌های متداول حسابداری، هزینه هدرر رفت مواد و انرژی و میزان تبدیل مواد اولیه به محصولات معمولاً محاسبه نمی‌شود و در بهترین حالت، هزینه‌های استاندارد محاسبه می‌شود. اما در روش MFCA این هزینه به صورت مجزا در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه از هیچ جزئی چشم نمی‌پوشند و تمامی هدررفت‌ها به شکل هزینه‌های مثبت و منفی شفاف‌سازی می‌شوند[۳].

به دلیل مقیاس‌پذیری و سادگی MFCA بسیاری از سازمان‌ها و صنایع به بهره‌گیری از آن مشتاق‌اند زیرا اولین گام در اجرای آن با اندکی تلاش به نتیجه خواهد رسید[۴]. MFCA یک استاندارد بین‌المللی است که به عنوان استاندارد ایزو ۱۴۰۵۱ در سپتامبر ۲۰۱۱ همگام با استاندارد ایزو ۹۰۰۰ به دنیا ارائه شده است. استاندارد ایزو ۱۴۰۵۱ چارچوب، اصول و گام‌های ابتدایی لازم برای اجرای MFCA را فراهم می‌آورد. با استناد به ساختار کلی استاندارد ایزو ۱۴۰۵۱ هدف از MFCA حمایت از تلاش سازمان‌ها به منظور ارتقای عملکرد مالی و زیست‌محیطی در قالب مدیریت مصرف ماده و انرژی مورد استفاده است[۵]. در واقع MFCA روشی ساده و استاندارد برای کاهش آثار نامطلوب زیست‌محیطی، ارتقای بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها و بهبود بازده انرژی بوده و دربرگیرنده توام اقتصاد و محیط زیست است. این روش بر انتشار ضایعات تمرکز دارد و بخشی از سود را در ضایعات می‌بینند و به دنبال شفاف‌سازی آنهاست. استفاده از این روش منجر به ارتقای بهره‌وری مواد، ارتقای بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه‌های جاری می‌شود که، به ترتیب، باعث تولید پسماند کمتر، مصرف انرژی کمتر و قیمت پایین‌تر محصول می‌شود. بنابراین، هزینه‌یابی جریان مواد نه‌تنها به کشف مواد هدررفته، که با روش‌های معمولی تشخیص داده نمی‌شوند، می‌پردازد، بلکه ابزاری مدیریتی با هدف افزایش بهره‌وری ماده است. اساس کار روش MFCA از این قرار است که جریان و ذخیره ماده در فرایندهای تولیدی را هم بر اساس مقدار ماده و هم بر اساس ارزش مالی آن اندازه‌گیری می‌کند. ارزش‌های مالی و هزینه‌ها در MFCA به چهار دسته هزینه‌های مواد، انرژی، سیستم و ارسال و دفع تقسیم می‌شوند. هزینه‌های مالی به دو دسته هزینه محصولات مثبت و هزینه محصولات منفی دسته‌بندی می‌شوند.

در واقع، از دیدگاه MFCA دو دسته محصول وجود دارد: محصولات مثبت[2] و محصولات منفی[3]، که هزینه‌ها برای آن‌ها محاسبه می‌شوند. می‌شوند. منظور از محصولات مثبت محصولات مطلوب‌اند که به صورت خروجی به مرحله بعد انتقال می‌یابند و محصولات منفی به مواد زائد یا مواد برگشتی اطلاق می‌شود.

مفهوم اولیه MFCA دارای بیشینهٔ تاریخی است. در اواخر سال‌های ۱۹۸۰ و اوایل دههٔ ۱۹۹۰ مفاهیمی مربوط به مسائل زیست‌محیطی در ادبیات آلمان و انگلیس ظاهر شد که مدیریت زیست‌محیطی، تولید محصولات سازگار با محیط‌زیست و حسابداری زیست‌محیطی، از جمله مفاهیم اساسی آن‌ها به شمار می‌آمدند[۶].

MFCA از سال ۲۰۰۰ به‌طور گسترده‌ای در ژاپن به‌کار گرفته شد و در سال ۲۰۱۱ در سطح بین‌المللی به‌عنوان ایزو ۱۴۰۵۱ استانداردسازی و تا سال ۲۰۱۳ در بیش از ۳۰۰ شرکت در جهان پیاده‌سازی شد[۷]. مثلاً، یکی از شرکت‌هایی که MFCA در آن اجرا شد، شرکت تولید فوم‌های آتشنشانی آذرکاوین در ایران بود که نتایج تحقیقات نشان داد کل میزان هدررفت مواد در دورهٔ مورد بررسی، ۹۷ تن و هزینهٔ هدررفت مواد حدود ۹۸۴ میلیون ریال بوده است[۴].

1. Material Flow Cost Accounting

2. Positive Product
3. Negative Product

شرکت تولیدات شیمیایی انحصاری سکیسوی نیز در سال ۲۰۰۸ توانست با اجرای MFCA هزینه‌های مربوط به ضایعات را تا سقف ۵ میلیارد ین ژاپن کاهش دهد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که اتلاف‌های پردامنه‌ای در واحدهای فرایندی قابل شناسایی بوده و با اعمال روش‌های کاهش و کنترل می‌توان در خصوص کاهش تولید ضایعات و حفظ محیط‌زیست گام‌هایی برداشت. در ادامه، راهکارهای عملی برای کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری سیستم ارائه شد[۸].

در سال ۱۳۹۱، برای اولین بار در ایران اجرای این سیستم مدیریتی در مقیاس صنعتی و در مجتمع‌های پالایشگاهی از جانب گروه دکتر فاتحی‌فر در مرکز تحقیقات مهندسی محیط‌زیست دانشگاه صنعتی سهند و شرکت پالایش نفت تبریز به صورت آزمایشی در قالب پروژه‌ای تحت عنوان «*استقرار استاندارد ایزو ۱۴۰۵۱ برای هزینه‌یابی جریان مواد (MFCA) واحد آمین شرکت پالایش نفت تبریز*» به انجام رسید[۹]. در همین راستا، MFCA به واسطهٔ همین گروه در طول سال‌های ۹۱ تا ۹۵ در واحدهای دیگر پالایشگاه تبریز مانند واحد بازیافت، تقطیر در خلأ، مرآکس و واحد کاهش گرانروی نیز به اجرا درآمد که نتایج مطلوبی در پی داشت[۱۳-۱۰].

هدف از انجام این تحقیق اجرای MFCA و استقرار استاندارد ایزو ۱۴۰۵۱ در واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز است، زیرا مصرف سوخت‌های فسیلی با تولید آلاینده‌ها مشکلات متعددی را برای محیط زیست پیش می‌آورد که می‌توان با انجام اقداماتی در جهت بهبود کیفیت سوخت همراه با کاهش هزینه‌های مصرفی این شرایط را به نفع آدمی و زمین تغییر داد.

۲. هزینه‌یابی جریان مواد

نخستین گام برای اجرای MFCA در هر واحد، تعیین پایگاه‌های داده است. پایگاه‌های داده عبارت‌اند از واحدهای عملیاتی که به نوعی با جریان مواد در ارتباط‌اند. هر پایگاه داده شامل ورودی و خروجی‌هایی است که می‌توان آن‌ها را به‌صورت محصولات مثبت و منفی تفکیک و هزینه‌هایی را که صرف تولید این محصولات می‌شود محاسبه کرد. هر محصول تولید شده که هدف واحد نباشد، بسته به نظر کارفرما به‌عنوان محصول منفی درنظر گرفته می‌شود.

۳. محاسبات MFCA

در محاسبات MFCA مقدار کل مواد ورودی به هر پایگاه داده، مقدار محصولات مورد نظر و مقدار ضایعات تولیدی، به ترتیب، با $M_{pi,wi(in)}$، $M_{,pi(in)}$ و $M_{,wi(in)}$ نشان داده می‌شوند. موازنه جرمی سالیانه برای هر پایگاه داده به کمک رابطهٔ (۱) قابل محاسبه است.

$$\sum Mpi,wi(in) = \sum_{i=1}^{p} M,pi(in) + \sum_{i=1}^{w} M,wi(in) \qquad (۱)$$

همچنین محاسبه هزینه‌های کلی هر پایگاه داده به کمک رابطه (۲) امکان‌پذیر است:

$$Cost_i^{PC} = Cost_i^{MAT} + Cost_i^{ENGY} + Cost_i^{SYS} \qquad (۲)$$

منظور از $Cost_i^{pc}$ هزینه فرایند[1] است که مجموعی از هزینه‌های مربوط به مواد اولیه (MAT)، هزینه انرژی (ENGY) و هزینه سیستم (SYS) به شمار می‌آید.

$$Cost_i^{MAT} = \sum_{m=1}^{M} Cost_{im} M_{i,m} \qquad (۳)$$

منظور از $Cost_{i,m}$ در رابطه (۳)، بهای واحد ماده خام ورودی m و $M_{i,m}$، مقدار مورد نیاز از ماده m در فرایند i است. به همین ترتیب، $Cost_i^{ENGY}$ به کمک رابطه (۴) قابل محاسبه است:

$$Cost_i^{ENGY} = \sum_{e=1}^{E} Cost_{i,e} E_{i,e} \qquad (۴)$$

منظور از $Cost_{i,e}$ در رابطه (۴)، بهای واحد انرژی e و $E_{i,e}$، مقدار انرژی e مورد نیاز در طول فرایند i است و نیز به طور مشابه $Cost_i^{sys}$ به کمک رابطهٔ (۵) قابل محاسبه است که در آن منظور از $Cost_{i,l}$، بهای واحد نیروی انسانی و $L_{i,l}$، نیروی انسانی L مورد نیاز در طول فرایند i است[۱۴].

1. Processing Cost

$$Cost_i^{SYS} = \sum_{L=1}^{L} Cost_{i,l} L_{i,l} \quad (۵)$$

روابط بالا به منظور محاسبه هزینه‌های مختلف در شرکت پالایش نفت تبریز به کار رفتند. باید گفت که اخذ فهرست این هزینه‌ها به طور مستقیم از شرکت پالایش نفت امکان‌پذیر نبود، زیرا سیستم مدیریت فعلی پالایشگاه برای جریان‌های ورودی به هر واحد هزینه‌ای را در نظر نمی‌گیرد و فقط بهای محصول خروجی را بر اساس بها، خوراک ورودی برآورد می‌کند، در حالی که در این پروژه با بهره‌گیری از محاسبات MFCA، هزینهٔ تک تک جریان‌های ورودی به واحد بنزین‌سازی پالایشگاه تبریز محاسبه شده و بر اساس آن بهای محصولات خروجی به دست آمده است. به بیان دیگر، با سودجستن از این روش، ارزش واقعی محصولات بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۵۱ مشخص شده است.

در ادامه شرح مختصری از این شرکت ارائه می‌شود.

۴. واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز

واحد بنزین‌سازی شامل دو زیر مجموعهٔ تصفیه هیدروژنی نفتا (NHT)[1] و تبدیل کاتالیستی (CRU)[2] است. ورودی واحد بنزین‌سازی نفتای به دست آمده از واحد تقطیر و ایزوماکس است که ابتدا در واحد گوگردزدایی نفتا تصفیه و ناخالصی‌هایی از قبیل گوگرد، اکسیژن، نیتروژن، و فلزاتی مانند سرب از خوراک تبدیل کاتالیستی جدا می‌شود. سپس، به منظور افزایش عدد اکتان وارد واحد تبدیل کاتالیستی شده و تحت تأثیر واکنش‌هایی نظیر ایزومریزاسیون، حلقوی شدن و یا هیدروکراکینگ، عدد اکتان آن افزایش می‌یابد و در نهایت بنزین مرغوب حاصل می‌شود. محصولات این واحد علاوه بر بنزین، گاز هیدروژن و سوخت مایع (LPG)[3] است. گاز هیدروژن تولیدی در واحد تبدیل کاتالیستی خود به سه قسمت تقسیم می‌شود. بخشی از آن در خود واحد به‌منظور جلوگیری از کک بستن کاتالیست‌های راکتور، به خوراک ورودی به راکتور اضافه می‌شود. قسمتی از آن نیز به واحد گوگردزدایی نفتا برگشت داده می‌شود تا با خوراک ورودی که همان نفتای به دست‌آمده از واحد تقطیر است، مخلوط شود. هیدروژن اضافی به واحد تولید هیدروژن فرستاده می‌شود[۱۵].

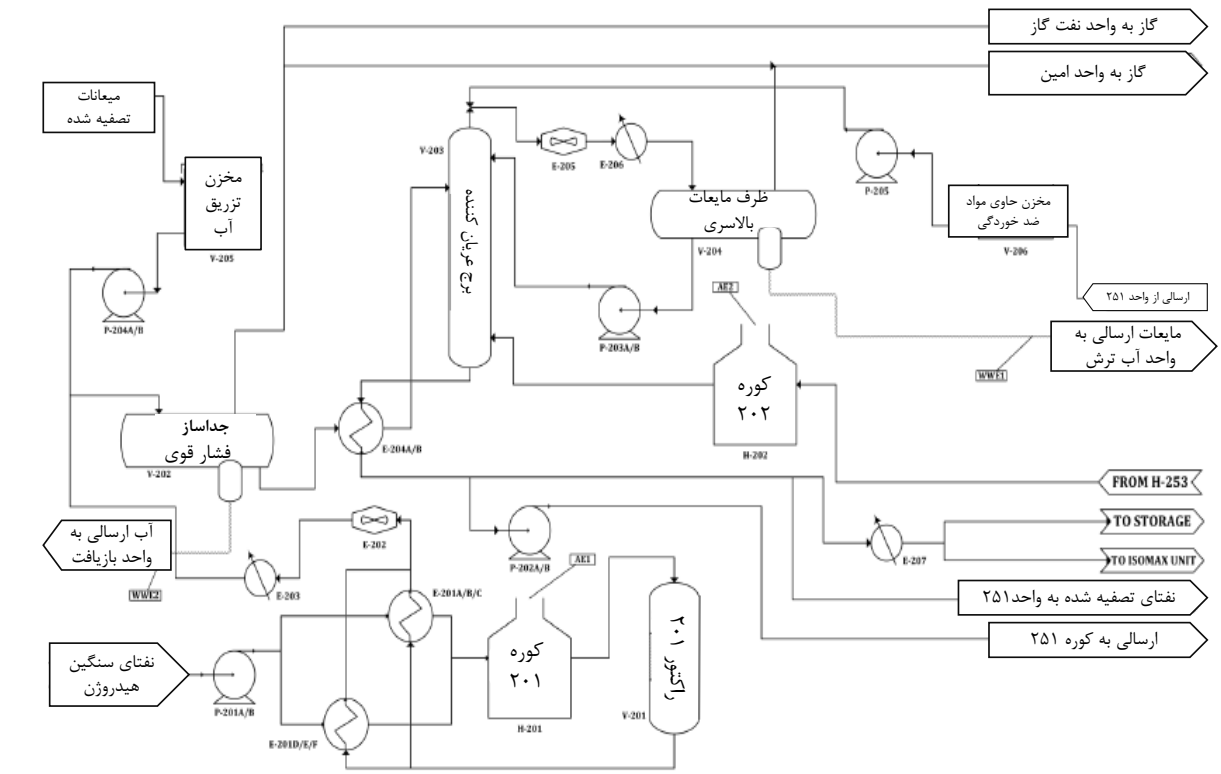
۵. مواد و روش‌ها

در این مقاله، ابتدا واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز به‌صورت کامل مطالعه شده و بعد از آشنایی کلی با آن از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و مطالعهٔ نقشهٔ واحد (PFD)[4]، پایگاه‌های داده تعیین شدند. پایگاه‌های داده که به نوعی با جریان‌های مواد در ارتباط‌اند، هرچقدر کوچکتر در نظر گرفته شوند، موازنه جرم و محاسبات دقیق‌تر خواهد بود. این پایگاه‌های داده با توجه به دسترس‌پذیری میزان دبی جریان ورودی و خروجی از آن پایگاه داده انتخاب می‌شوند. سپس تلفات واحد شناسایی می‌شود و نقاطی را که می‌توان در آنجا اندازه‌گیری‌های لازم را انجام داد، مشخص می‌کنند. در گام بعدی، داده‌های مورد نیاز سال ۱۳۹۳ از بخش مهندسی پالایش تهیه و موازنه جرم و انرژی انجام شد. بعد از شناسایی تلفات و انجام موازنه‌جرم و انرژی، مقدار عددی ورودی‌ها، خروجی‌ها، تلفات و نشتی‌ها در هر پایگاه داده مشخص شد. در مرحله بعدی هزینه‌یابی برای پایگاه داده انجام شده و ارزش تمام شدهٔ محصول نهایی، محصولات جانبی و تلفات تعیین و در گام نهایی راهکارهای عملی به همراه ارزیابی اقتصادی بررسی شد.

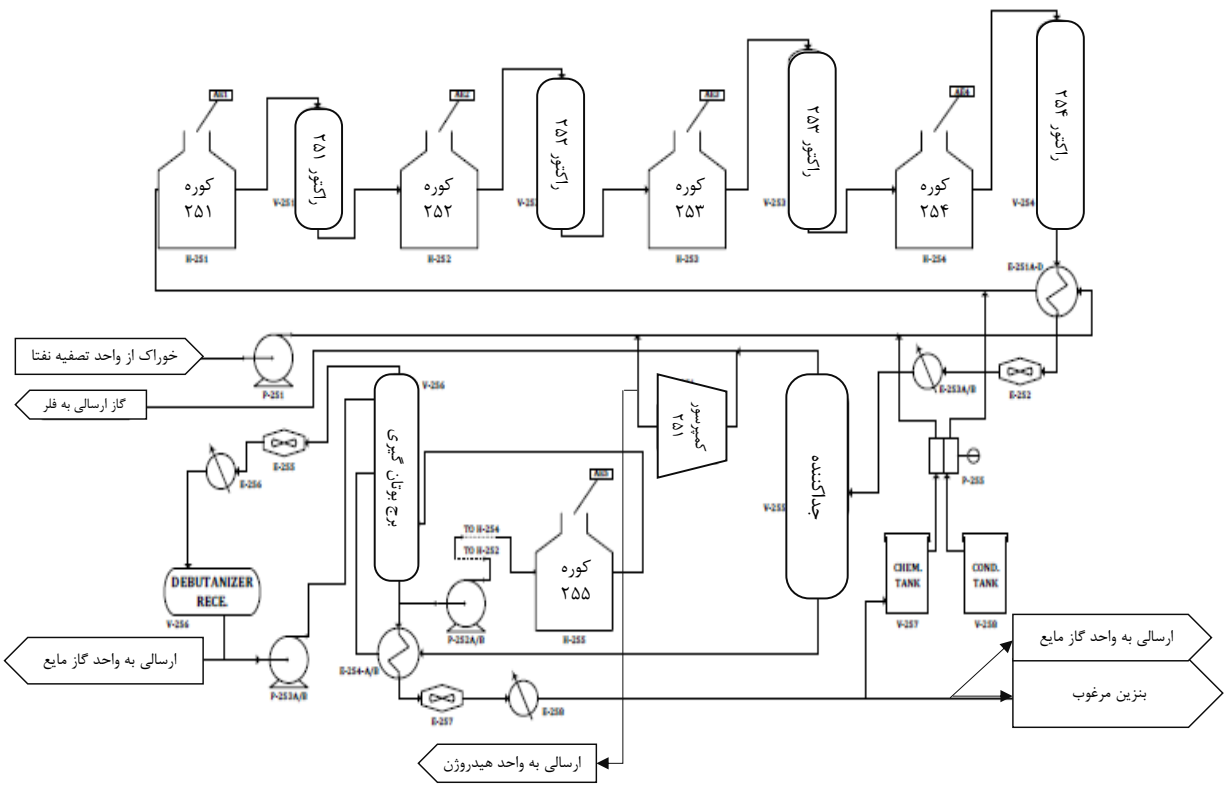
۶. تعیین پایگاه‌های داده

در هر واحد پالایشگاه تعدادی جریان‌سنج وجود دارد که عمدتاً این جریان‌سنج‌ها در ابتدا و انتهای فرایند قرار دارند. مثلاً، یک کوره، خود می‌تواند به عنوان یک پایگاه داده در نظر گرفته شود اما دبی جریان ورودی و خروجی از کوره در دسترس نیست و در طول مسیر ورودی به یک کوره و یا در طول مسیر خروجی از آن جریان‌سنجی وجود ندارد. بر پایهٔ مطالب ذکر شده واحد بنزین‌سازی قدیم به صورت دو پایگاه داده در نظر گرفته می‌شود و محصولات مثبت و منفی در آن مشخص می‌شود. برای آشنایی بیشتر با این پایگاه داده، در شکل (۱) نقشه فنی پایگاه دادهٔ ۱ و در شکل (۲) نقشه فنی پایگاه داده ۲ تهیه شده از پالایشگاه تبریز آورده شده است.

1. Naphtha Hydrotreater
2. Catalytic Reforming Unit
3. Liquefied Petroleum Gas
4. Plot Flow Diagram



شکل ۱. نقشه فنی پایگاه دادهٔ ۱ واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز.

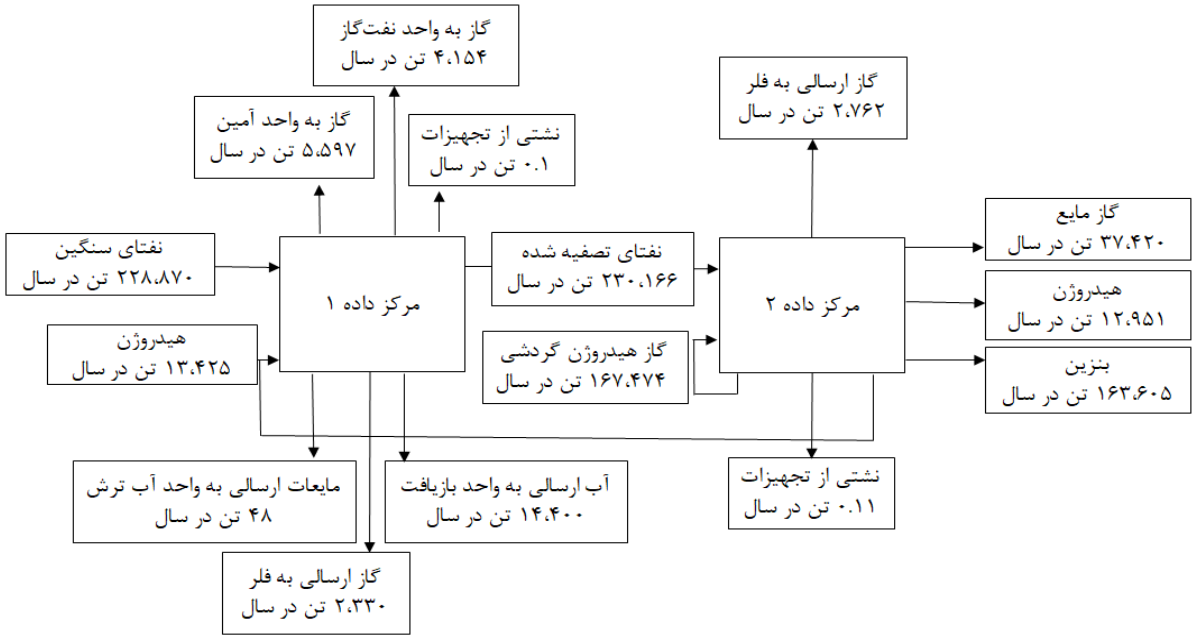


شکل ۲. نقشه فنی پایگاه دادهٔ ۲ واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز.

برای اجرای MFCA در هر پایگاه داده، در گام اول لازم است تمامی اطلاعات مربوط به جریان مواد و قیمت مواد خام ورودی برای مشخص کردن هزینه‌های محصولات خروجی و هدررفت به‌صورت کاملاً دقیق جمع‌آوری شود. هر پایگاه داده شامل تعدادی خوراک ورودی و محصول خروجی است اما همهٔ این خروجی‌ها از دیدگاه MFCA محصول مثبت نیستند، مانند گازهای شامل هیدروکربن‌های سبک ارسالی به واحد آمین در واحد تصفیهٔ هیدروژنی نفتا که هدف آن تولید نفتای سبک است. بنابراین، این محصول جانبی به‌عنوان محصول منفی درنظر گرفته می‌شود. در ادامه، پس از انجام محاسبات مربوطه پایگاه‌های داده به همراه مقادیر تن در سال ۹۳ ورودی‌ها و خروجی‌ها به هر پایگاه داده در شکل (۳) مشاهده می‌شود.

۷. انتشار و یا نشتی جریان از تجهیزات

به طور کلی، نشت از تجهیزات، از جمله دریچه‌ها و اتصالات، پمپ‌ها، کمپرسورها و سوپاپ‌های فشارشکن، بزرگ‌ترین منابع انتشار ترکیبات آلی فرار (VOCs)[1] از پالایشگاه‌های نفت و کارخانجات پتروشیمی محسوب می شوند. تعیین مقادیر انتشار از منابع نقطه‌ای (همچون دودکش‌ها) با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم غلظت ترکیبات آلی فرار و دبی انتشار امکان‌پذیر است. با این حال، اندازه‌گیری مقادیر انتشار این ترکیبات از منابع دیگر، از جمله اتصالات، پمپ‌ها و کمپرسورها به روش مستقیم امکان‌پذیر نخواهد بود. به این منظور باید برای تخمین مقادیر انتشار از یک روش استاندارد استفاده کرد. از روش‌های معمول برآورد مقادیر انتشار از منابع دارای قابلیت نشت می‌توان به روش‌های موجود در سند AP-42 اشاره کرد که سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا (U.S. EPA)[2] آن را تدوین کرده است[۱۶]. در این مقاله، هدف، شناسایی اتلاف‌های واحد بنزین‌سازی قدیم پالایشگاه تبریز، تعیین مقادیر آن‌ها و هزینه‌یابی این تلفات است. به این منظور، لازم است این اتلاف‌ها که بخشی از آن‌ها مربوط به نشتی از تجهیزات واحد است، شناسایی شود و مقادیر آن‌ها مشخص و هزینه‌یابی شوند. در جدول (۱) ضرایب انتشار تجهیزات مورد استفاده در پالایشگاه موجود در سند موسوم به AP-42 درج شده است.



شکل ۳. مقادیر جریان‌های ورودی و خروجی به مراکز داده واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز.

1. Volatile Organic Compounds2. United States Environmental Protection Agency

جدول ۱. میانگین ضرایب انتشار عملیات تولید نفت و گاز[۱۶].

نوع تجهیزات	نوع سیال عبوری	ضریب انتشار (Kg/hr/source)
پمپ	گاز	۰/۰۰۲۴
	روغن سنگین	-
	روغن سبک	۰/۰۱۳
	آب- روغن	۰/۰۰۰۰۲۴
کمپرسور	گاز	۰/۰۰۸۸
	روغن سنگین	۰/۰۰۰۰۳۲
	روغن سبک	۰/۰۰۷۵
	آب- روغن	۰/۰۱۴

این جدول در مورد تمام جریان‌های حاوی ترکیبات آلی فرار شامل non-VOCs مانند متان و اتان نیز، صادق است.

به‌منظور انجام این پژوهش، اطلاعات مورد نیاز در دو بخش کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری شد. در بخش کتابخانه‌ای، با استفاده از نقشه پی‌اف‌دی واحد و کتابچه طراحی واحد، اطلاعات مورد نیاز در خصوص فرایند تولید بنزین، نوع و میزان مواد اولیه مصرفی واحد مطالعه و جمع‌آوری شد و سپس در بازدید میدانی، منابع احتمالی انتشار و نشتی جریان شناسایی شدند. این منابع انتشار به دو دسته پمپ‌ها و کمپرسورها طبقه‌بندی شدند. از میان منابع شناسایی شده ۵ پمپ و ۱ کمپرسور با توجه به محتوای جریان عبوری به‌عنوان منابع اصلی نشتی انتخاب و مطالعه شدند. سپس، میزان نشتی و یا انتشار گازها و مایعات از تجهیزات این واحدها با بهره‌گیری از ضرایب انتشار مندرج در جدول محاسبه شد. نتایج محاسبات انجام شده در جدول (۲) درج شده است. باید گفت که اعداد جدول (۲) از حاصلضرب مقادیر ضرایب انتشار برای هر پمپ یا کمپرسور در ۲۴ ساعت در ۳۶۵ روز به دست آمده است.

به منظور اجرای MFCA در هر واحد، لازم بود ابتدا تمامی اطلاعات مربوط به قیمت مواد خام ورودی به واحد در طول سال ۱۳۹۳ مشخص شود. سپس با نوشتن موازنهٔ جرمی، انرژی و پولی برای هر یک از پایگاه‌های داده واستفاده از روابط ۱ الی ۵ مربوط به محاسبات MFCA، تمامی هزینه‌های مربوط به خروجی‌های واحد در آن سال محاسبه شد. در جدول (۳)، نتایج نهایی محاسبات مربوط به هزینه‌یابی جریان مواد خروجی و سهم محصولات از تمام هزینه‌های موجود در واحد درج شده است.

جدول ۲. مقادیر اتلاف‌های از تجهیزات واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز در سال ۱۳۹۳.

نام دستگاه	واحد عملیاتی	کیلوگرم در سال
TMP-202A, TMP-203, TMP-206A[1]	گوگردزدایی نفتا	۱۳۶
TMP-251A, TMP-252A	تبدیل کاتالیستی	۷۴
TC-251[2]	تبدیل کاتالیستی	۴۲

منظور از هزینه‌های غیرعملیاتی، عبارت است از هزینه‌های نیروی انسانی، استهلاک، تعمیرات، نگهداری، رستوران، هزینه‌های سرشکن، آب‌های مصرفی غیر عملیاتی مانند آب آشامیدنی و غیره. هزینهٔ مدیریت پسماند نیز فقط برای پسماند واحد که آب ارسالی به واحد بازیافت است، در نظر گرفته می‌شود.

۱. منظور از TMP، پمپ الکتریکی واحد است.
۲. منظور از TC، کمپرسور توربینی واحد است

جدول ۳. هزینه‌های مربوط به خروجی‌های واحد بر حسب میلیون ریال در سال ۱۳۹۳.

خروجی	میزان تولید سالیانه (تن)	هزینه مواد اولیه (م.ریال)	هزینه عملیاتی (م.ریال)	هزینه غیرعملیاتی (م.ریال)	هزینه مدیریت پسماند (م.ریال)	قیمت نهایی (م.ریال بر کیلوگرم)
گاز به واحد امین	۵،۵۹۷	۱۰۷،۱۷۱	۱،۰۲۴	۱،۰۸۲	۰	۱۹/۵۲
گاز به واحد نفت گاز	۴،۱۵۴	۷۹،۵۴۸	۷۶۰	۸۰۳	۰	۱۹/۵۲
گاز مایع	۳۷،۴۲۰	۷۳۹،۷۶۴	۶۸،۳۹۱	۸،۰۷۱	۰	۲۱/۸۱
گاز هیدروژن به واحد هیدروژن	۱۲،۹۵۱	۲۵۶،۰۴۶	۲۳،۶۷۵	۲،۷۹۳	۰	۲۱/۸۱
گاز هیدروژن به واحد گوگردزدایی نفتا	۱۳،۴۲۵	۲۶۵،۴۱۲	۲۴،۵۴۱	۲،۸۹۶	۰	۲۱/۸۱
بنزین مرغوب	۱۶۳،۶۰۵	۳،۲۳۴،۳۴۱	۲۹۹،۰۶۴	۳۵،۲۸۸	۰	۲۱/۸۱
مایعات ارسالی به واحد تصفیه آب ترش	۱۴،۴۰۰	۲۷۵،۷۱۰	۲،۶۳۴	۲،۷۸۴	۰	۱۹/۵۲
ارسالی به فلر واحد گوگردزدایی نفتا	۲،۳۷۸	۴۴،۶۱۸	۴۲۶	۴۵۰	۰	۱۹/۵۲
ارسالی به فلر واحد تبدیل کاتالیستی	۲،۷۶۲	۱۸،۲۵۱	۱،۶۸۷	۱۹۹	.	۲۱/۸۱
آب ارسالی به بازیافت	۴۸	۹۱۹	۸/۷	۹/۳	۹۵۷	۱۹/۵۲
نشتی از تجهیزات واحد گوردزدایی نفتا	۰/۱	۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۱۹/۵۲
نشتی از تجهیزات واحد تبدیل کاتالیستی	۰/۱۱	۲	۰/۲	۰/۰۲	.	۲۱/۸۱

۸. بحث و نتایج

واحد بنزین‌سازی قدیم شرکت پالایش نفت تبریز به دلیل تولید بنزین، به ایجاد مشکلات زیست‌محیطی بسیاری انجامید. با اجرای MFCA در این واحد، در گام اول، واحد و فرایند تولید بنزین مطالعه شد. در گام بعدی میزان و ارزش واقعی اتلاف‌ها و هدررفت در طول مسیر فرایند و یا از تجهیزات واحد مشخص شده و در نهایت راهکارهای اجرایی به منظور کاهش این تلفات ارائه گردید. همانطور که گفته شد، در هر واحد صنعتی و غیرصنعتی تمامی محصولات تولیدی تحت عنوان محصولات مثبت و منفی دسته‌بندی می‌شوند. در جدول (۴) خروجی‌های واحد بنزین‌سازی قدیم و نوع این خروجی‌ها، از دیدگاه MFCA را مشاهده می‌کنید.

.

جدول ۴. خروجی‌های واحد بنزین‌سازی قدیم.

لیست محصولات تولیدی	نوع محصول
گاز ارسالی به واحد آمین	منفی
گاز ارسالی به واحد نفت گاز	منفی
گاز مایع	منفی
گاز هیدروژن به واحد هیدروژن	منفی
گاز هیدروژن به واحد گوگردزدایی نفتا	مثبت
بنزین مرغوب	مثبت
گازهای ارسالی به فلر	منفی
مایعات ارسالی به واحد آب ترش	منفی
آب ارسالی به واحد بازیافت	منفی
نشتی از تجهیزات	منفی

مطابق جدول (۴)، بنزین تولیدی در واحد و نیز بخشی از گاز هیدروژن تولیدی در واحد که در خود واحد مصرف می‌شود، محصولات مثبت تلقی می‌شوند و مابقی، محصولات منفی واحد به شمار می‌آیند. با توجه به میزان تولید سالیانه محصولات مندرج در جدول (۵) و نوع این محصولات که آن هم در جدول (۵) مشخص شده است، میزان محصولات مثبت واحد ۷۳٪ و میزان محصولات منفی ۲۷٪ محاسبه شد.

در جدول (۵)، ارزش سالیانه محصولات تولیدی که از حاصلضرب میزان تولید سالیانه محصولات خروجی و قیمت نهایی آن‌ها به ازای هر کیلوگرم محاسبه شده است (جدول (۵))، آورده شده است.

با توجه به جدول (۵)، بخشی از اتلاف‌ها نظیر نشتی از تجهیزات، با تعمیر تجهیزات فرسوده و یا جایگزینی آن‌ها با تجهیزات نو قابل کنترل است و می‌توان با نظارت و کنترل مناسب آن را به حداقل رساند و یا گازهای ارسالی به فلر که از جملهٔ محصولات منفی تلقی می‌شوند، خود ارزشی معادل شش میلیارد و پانصد میلیون تومان در سال دارند که با تنظیم شدت جریان عبوری قابل کنترل است. بخشی از محصولات منفی نیز مانند آب‌های ارسالی به واحد آب ترش با ارزشی معادل بیست و هشت میلیارد تومان در سال، غیر قابل کنترل است زیرا در هر صورت در گیرندهٔ برج‌های تفکیک و تثبیت‌کننده عمل تخلیه مایعات انجام می‌شود. در هر صورت، محصول منفی بوده و محصول مطلوب نیست اما باید تلاش‌هایی به‌منظور کاهش محصولات منفی صورت گیرد. نتایج حاصل از ارزش‌گذاری محصولات تولیدی در واحد بنزین‌سازی قدیم حاکی است که تمامی محصولات تولیدی در این واحد دارای ارزش مشخصی‌اند. با مشاهده جدول (۳)، مشخص می‌شود که ۷۳٪ از هزینه تولید محصولات واحد صرف تولید محصول مثبت، یعنی بنزین و هیدروژن مصرفی در خود واحد و ۲۷٪ از آن که رقمی معادل صد و سی و پنج میلیارد تومان در سال است، صرف تولید محصولات منفی خواهد شد. به عنوان پیشنهاد به منظور کاهش اتلاف‌های انرژی و مواد، می‌توان به بازمصرف گرمای گازهای خروجی از دودکش کوره‌ها و استفاده از انتقال‌دهنده‌های نیروی دور متغیر برای الکتروموتورهای موجود در واحد اشاره کرد.

جدول ۵. ارزش سالیانه محصولات تولیدی در واحد بنزین‌سازی قدیم در سال ۱۳۹۳.

محصول تولیدی	ارزش سالیانه (م.ریال)
بنزین مرغوب	۳،۵۶۸،۶۹۴
گاز مایع	۸۱۶،۲۳۸
گاز هیدروژن به واحد گوگردزدایی نفتا	۲۹۲،۸۴۹
گاز هیدروژن به واحد هیدروژن	۲۸۲،۵۱۵
گاز به واحد امین	۱۰۹،۲۷۷
گاز به واحد نفت گاز	۸۱،۱۱۲
مایعات ارسالی به واحد تصفیه آب ترش	۲۸۱،۱۲۹
ارسالی به فلر	۶۵،۶۳۳
آب ارسالی به بازیافت	۱،۸۷۴
نشتی از تجهیزات	۴/۳

۹. بازمصرف گرمای خروجی از دودکش کوره‌ها

بهینه‌سازی مصرف انرژی در کوره‌های صنایع نفت، گاز و پتروشیمی به‌عنوان یکی از تجهیزات بزرگ مصرف سوخت، در این صنایع همواره مورد توجه بوده است. متأسفانه در واحد بنزین‌سازی قدیم پالایشگاه تبریز کوره‌های واحد به نحوی کاملاً ابتدایی طراحی شده‌اند که سیستم‌هایی چون پایین آورندهٔ مصرف و کنترل هوای اضافی ندارند. چون تعویض کوره‌ها با کوره‌هایی با فناوری پیشرفته هزینه زیادی برمی‌دارد و نیز تعویض این کوره‌ها زمانی طولانی را می‌بَرَد، پیشنهاد می‌شود کل گازهای سوخته شده تمامی کوره‌ها به یک محفظه[1] هدایت شود تا در آن محفظه از حرارت گازها برای گرمایش مورد نیاز واحد استفاده شود و گازهای خروجی با دمای حدود ۱۴۰ درجه سلسیوس به جوّ فرستاده شود. به این ترتیب، نه‌تنها از ورود گازهایی با دمای بسیار بالای حدود ۶۳۲ درجه سلسیوس به جو جلوگیری می‌شود، بلکه می‌توان از این گرما به منظور گرمایش سیالات فرایندی (جریان‌های اصلی واحد)، گرم کردن آب، فوق داغ کردن بخار آب و نیز پیش گرمایش هوای مورد نیاز در کوره‌ها بهره گرفت.

با بررسی و گردآوری داده‌های مورد نیاز مربوط به سوخت مصرفی کوره‌های واحد بنزین‌سازی قدیم پالایشگاه تبریز در سال ۱۳۹۳ و با مشخص شدن مقدار گازهای سوخته شده در کوره و دمای آن‌ها، مقدار کل گرمای قابل جذب با استفاده از ظرفیت حرارتی متوسط گازهای حاصل از سوخت و اختلاف دمای گازها تا ۱۴۰ درجه سلسیوس به دست می‌آید که نتایج در جدول (۶) درج شده‌اند. لازم به توضیح است که داده‌های ستون‌های اول تا سوم این جدول از طریق پرسنل واحد به دست آمده است.

جدول ۶. میزان سالیانه گازهای حاصل از احتراق کوره‌های واحد بنزین‌سازی قدیم در سال ۱۳۹۳.

کوره	تن در سال سوخت مصرفی	تن در سال گازهای حاصل از سوخت	دمای دودکش	حرارت گازهای سوخته شده (KJ)۱۲E+۱۰
۲۰۱	۸۰۶،۴۰۰	۱۷،۷۴۰،۸۰۰	۴۸۲	۷/۸۳
۲۰۲	۴۷۰،۴۰۰	۱۰،۳۴۸،۸۰۰	۶۳۲	۶/۵۱
۲۵۱	۳،۳۶۰،۰۰۰	۷۳،۹۲۰،۰۰۰	۷۴۹	۵۷/۴۲
۲۵۲	۳،۸۶۴،۰۰۰	۸۵،۰۰۸،۰۰۰	۵۶۰	۴۵/۸۷
۲۵۳	۱،۷۸۰،۸۰۰	۳۹،۱۷۷،۶۰۰	۷۶۰	۳۰/۹۷
۲۵۴	۵۳۷،۶۰۰	۱۱،۸۲۷،۲۰۰	۶۰۴	۷/۰۳
۲۵۵	۴۳۶،۸۰۰	۹،۶۰۹،۶۰۰	۶۴۳	۶/۱۸
جمع کل	۱۱،۲۵۶،۰۰۰	۲۴۷،۶۳۲،۰۰۰		۱۶۱/۸۱

1. Duct

با توجه به جدول (۶)، مشاهده می‌شود که سالیانه حدود ۲۴۷ میلیون تن گازهای حاصل از احتراق سوخت[1] در کوره‌ها با دمای متوسط ۶۳۲ درجهٔ سلسیوس از طریق دودکش‌ها به داخل جوّ وارد می‌شود و مقدار ۱٫۶E+۱۴ کیلوژول انرژی و حرارت از این طریق هدر می‌رود و بدون بهره‌برداری از انرژی گرمایی آن در محیط رها می‌شود. گرمای بسیار زیاد حاصل از احتراق سوخت در کوره‌ها که بدون در نظر گرفتن انرژی قابل مصرف آن در جوّ رها می‌شود، خود قابل توجه است. سرانجام، پس از در نظر گرفتن تمام نکات بالا و گرداوری داده‌های مورد نیاز، هزینه‌های لازم به منظور نصب و راه‌اندازی سیستم مورد نظر از جانب کارشناسان و متخصصان طرح‌ها و نیز با توجه به خریدهای قبلی پالایشگاه برآورد شد که در جدول (۷) درج شده است.

جدول ۷. هزینه‌های برآورد شده در سال ۱۳۹۳ برای نصب سیستم بازمصرف ازحرارت گازهای خروجی از دودکش کوره‌ها.

تجهیزات	هزینه (میلیون ریال)
ID FAN	۲۰،۰۰۰
DUCT[2]	۵،۰۰۰
STACK	۱،۰۰۰
نصب و راه‌اندازی	۲،۵۰۰
جمع کل	۲۸،۵۰۰

با توجه به جدول (۷)، هزینه کل برآوری برای به‌کارگیری سیستم پیشنهادی بازمصرف حرارت گازهای خروجی دودکش کوره‌های واحد بنزین‌سازی قدیم پالایشگاه تبریز، بیست و هشت میلیارد و پانصد میلیون ریال است که در مقابل هزینه‌های کلان واحد بنزین‌سازی ناچیز است و با این مقدار هزینه می‌توان از هدررفت انرژی که دغدغهٔ تمامی صنایع است، جلوگیری کرد.

۱۰. استفاده از نیروی الکتریکی دور متغیر برای الکتروموتورهای موجود در واحد

از دیگر راهکارهای پیشنهادی استفاده از انتقال‌دهنده‌های نیروی الکتریکی دور متغیر به جای الکتروموتورهای AC متداول در تجهیزاتی مانند پمپ‌ها، کمپرسورها و یا هواکش‌های موجود در واحد است. بخش چشمگیری از انرژی در صنایع با استفاده از انتقال‌دهنده‌های نیرو با سرعت متغیر و از طریق کاهش بار هواکش و یا پمپ قابل صرفه‌جوئی است. یکی از اقدامات پر بازده برای صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در پالایشگاه‌ها کاهش مصرف پمپ‌ها و کمپرسورها و هواکش‌های واحدهای عملیاتی از قبیل هواکش‌های آی‌دی، هواکش‌های اف‌دی[3]، هواکش‌های برج خنک‌کننده و هواکش‌های هوایی واحد از طریق نصب انتقال‌دهندهٔ نیروی الکتریکی با دور متغیر در مسیر تغذیه الکتروموتورهاست. تحقق این امر، کاهش مصرف داخلی و افزایش بهره‌وری پالایشگاه‌ها را در پی خواهد داشت[۱۷].

هزینه تعویض و میزان تأثیرگذاری این راهکار به‌منظور به‌کارگیری روش پیشنهاد شده در جدول (۸) درج شده است. قابل ذکر است که تجهیزاتی که توان مصرفی بالایی دارند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به منظور محاسبه میزان برق مصرفی فعلی، گزارشی از توان مصرفی تجهیزات الکتریکی واحد و ساعات کارکرد آنها در طی سال ۱۳۹۳ تهیه شد و برآورد ۳۰ درصدی کاهش مصرف برق توسط سیستم پیشنهادی با استفاده از منحنی کارکرد پمپ و کمپرسور مورد نظر توسط کارشناسان واحد به دست آمد.

همانطور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، هزینه برق مصرفی تجهیزات واحد و نیز میزان برق مصرفی این تجهیزات بعد از استفاده از انتقال‌دهنده‌های نیرو با دور متغیر به میزان چشمگیری کاهش یافته است. در ادامه در جدول (۹) هزینهٔ برآورد شدهٔ سرمایه‌گذاری اولیه سیستم پیشنهادی آورده شده است. برآورد هزینه تجهیزات به کمک کارشناس تدارکات داخلی واحد انجام گرفته است.

1. Flue Gas

۲. هزینه داکت به همراه هزینه مبدل پره‌دار جاگذاری شده در آن می‌باشد.

3. FD FAN

جدول ۸. هزینه‌های عملیاتی سیستم پیشنهادی انتقال‌دهنده‌های نیروی الکتریکی با دور متغیر.

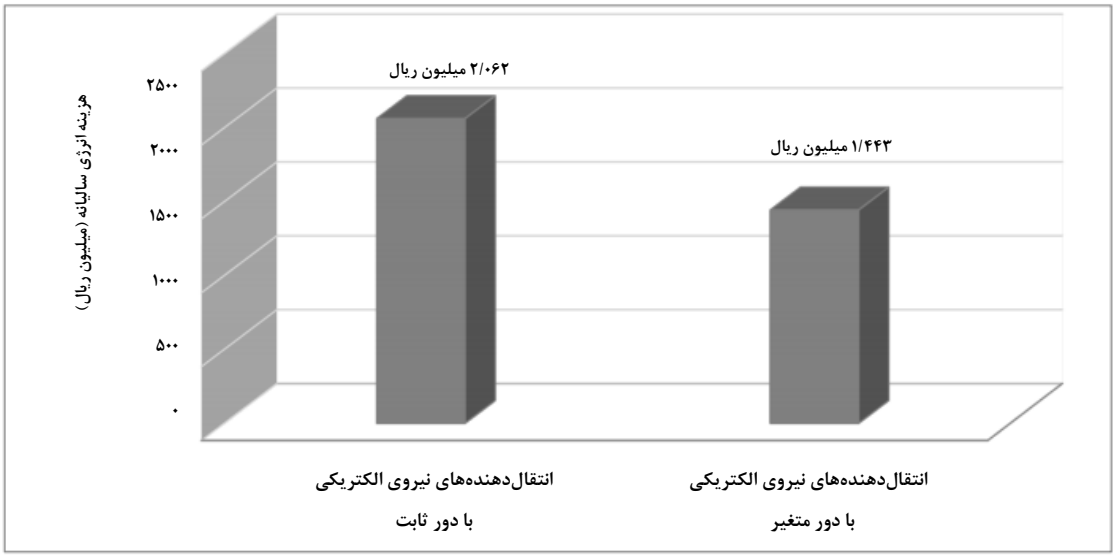
نام دستگاه	مصرف برق فعلی MW	مصرف برق سیستم پیشنهادی MW	هزینه مصرف سالانه فعلی (میلیون ریال)	هزینه مصرف سالانه آینده (میلیون ریال)
TMP-202 A	۳۶۰	۲۵۲	۳۷۵	۲۶۳
TMC-201A[1]	۶۳۳	۴۴۳	۶۶۱	۴۶۳
TMP-252A	۲۶۴	۱۸۵	۲۷۵	۱۹۲

جدول ۹. هزینهٔ برآورد شدهٔ سرمایه‌گذاری اولیه انتقال‌دهنده‌های نیروی الکتریکی با دور متغیر در سال ۱۳۹۳.

نام دستگاه	مشخصات	تعداد	هزینه (میلیون ریال)
مبدل	جهت الکتروموتور ۱۳۲ کیلووات	۲	۷۰
مبدل	جهت الکتروموتور ۷۵ کیلووات	۲	۵۵
مبدل	جهت الکتروموتور ۵۵ کیلووات	۲	۵۰
تابلو کنترل	-	۱	۱۰
کابل قدرت	-	۱	۱۵
کابل کنترل	-	۱	۱۵
نصب و راه‌اندازی	-	-	۳۰۰
جمع کل			۵۱۵

با توجه به جدول (۹) هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به منظور جایگزینی انتقال‌دهنده‌های نیروی الکتریکی دور متغیر با انتقال‌دهنده‌های نیروی الکتریکی دور ثابت برای سه عدد از الکتروموتورهای موجود در واحد، پانصد و پانزده میلیون ریال است. با توجه به نتایج، اگر بتوان این سیستم را برای تمامی الکتروموتورهای موجود در واحد به کار برد، میزان مصرف انرژی به طور چشمگیری کاهش خواهد یافت که خود باعث کاهش هزینه‌های مصرفی خواهد بود. برای وضوح بیشتر، در شکل (۴) مقایسه هزینه‌ها در حالت عملیاتی و حالت به کارگیری سیستم پیشنهادی آورده شده است.

۱. منظور از TMC کمپرسور واحد است که توان مصرفی بالاتری نسبت به سایر کمپرسورهای واحد دارد.



شکل ۴. مقایسه هزینهٔ انرژی مصرفی در صورت نصب انتقال‌دهندهٔ نیروی الکتریکی با دور متغیر با انتقال‌دهندهٔ نیروی الکتریکی با دور ثابت بر حسب میلیون ریال در سال.

با توجه به شکل (۴)، میزان هزینه مصرفی انرژی در واحد با به‌کارگیری انتقال‌دهنده‌های نیروی الکتریکی با دور متغیر، ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت که مبلغی معادل ۷۶۳ میلیون ریال در سال است.

۱۱. نتیجه‌گیری کلی

با توجه به تحقیقات انجام شده در زمینه بهره‌گیری از روش نوین هزینه‌یابی جریان مواد برای کاهش ضایعات در واحد بنزین‌سازی قدیم در مقالهٔ حاضر، پی برده شد که واحد بنزین‌سازی قدیم هزینه‌های زیاد و مسائل زیست‌محیطی بسیاری را به دنبال دارد به طوری که سالیانه مبلغ ۱۳۵ میلیارد ریال صرف تولید محصولات منفی واحد شده که هدف اصلی واحد بنزین‌سازی نیستند. با اجرای نظام مدیریتی جدید این مسائل مشخص شده و راهکارهای مناسبی نظیر استفاده از انتقال‌دهنده‌های نیروی الکتریکی دور متغیر به جای الکتروموتورهای موجود در واحد ارزیابی اقتصادی شد که حاکی از آن است که با استفاده از این روش، مصرف انرژی در واحد بنزین‌سای قدیم ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت که مبلغی معادل ۷۶۳ میلیون ریال در سال است. همچنین، بررسی به‌کارگیری سیستم بازمصرف گرمای خروجی از دودکش ها نشان داد که با این روش از هدر رفتن ۵۶۲ میلیون کیلوژول انرژی و حرارت در هر دقیقه به داخل جوّ جلوگیری خواهد شد.

مراجع

[۱] خوشبخت، ف. ز.، عابدی، ز.، داداشیان، ف.؛ و هیبتی، م. "اجرای حسابداری هزینه جریان مواد و انرژی به عنوان راهکاری برای کاهش مصرف انرژی"، چهارمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، (۱۳۹۳).

[۲] عابدی، ز.، رحمت آبادی، د. ی.، "سیستم حسابداری هزینه یابی جریان مواد و انرژی – ابزاری مناسب جهت نیل به توسعه پایدار در فرایند تولیدات کارخانه ای مورد بررسی: شرکت آذرکاوین"، سومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، (۱۳۹۲).

[3] Kokubu, K., Campos, M. K. S., Furukawa, Y., Tachikawa, H., "Material flow cost accounting with ISO 14051", ISO Management Systems, 9(1), p: 15-18, (2009).

[4] Kasemset, C., Chernsupornchai, J., Pala-ud, W., "Application of MFCA in waste reduction: case study on a small textile factory in Thailand", Journal of Cleaner Production, 108(Part B): p. 1342-1351, (2015).

[۱۳] عباسیان، م.، فاتحی فر، ا.، کاه فروشان، د.، "کاهش هزینه ها و اثرات زیست محیطی واحد کاهش گرانروی شرکت پالایش نفت تبریز با استفاده از روش نوین مدیریتی هزینه یابی جریان مواد و انرژی"، دومین کنفرانس علوم، مهندسی و فناوری های محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، (۱۳۹۵).

[14] Wan, Y. K., "Material flow cost accounting (MFCA)–based approach for prioritisation of waste recovery", Journal of Cleaner Production", 107(Supplement C): p. 602-614, (2015).

[۱۵] "راهنمای عملیاتی دستگاه تبدیل کاتالیستی، شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران"، شرکت پالایش نفت تبریز، ص ۲-۸، شهریور (۱۳۵۹).

[16] Hausle, K. J., "Protocol for equipment leak emission estimates", A report prepared by Radian International for U.S. EPA, report number PB93-229219, 250 pp., (1993).

[۱۷] آهن‌چیان، م.، غلامی، ا.، "بهینه سازی الکتروموتورها در صنعت در راستای کاهش اثرات گلخانه ای بر مبنای مکانیزم های توسعه پاک جهانی"، دومین همایش ملی و تخصصی پژوهشهای محیط زیست ایران، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه، همدان، (۱۳۹۳).

[5] Christ, K. L., Burritt, R. L., "Material flow cost accounting: a review and agenda for future research", Journal of Cleaner Production, 108(Part B): p. 1378-1389, (2015).

[6] Wagner, B., "A report on the origins of Material Flow Cost Accounting (MFCA) research activities", Journal of Cleaner Production", 108 (Part B): p. 1255-1261, (2015).

[7] Schmidt, M., Nakajima, M., "Material Flow Cost Accounting as an Approach to Improve Resource Efficiency in Manufacturing Companies", Resources, 2(3): p. 358, (2013).

[8] 8. Kokubu, K., Kitada, H., "Material flow cost accounting and existing management perspectives", Journal of Cleaner Production, 108 (Part B): p. 1279-1288, (2015).

[۹] فاتحی فر، ا.، "استقرار استاندارد نوین ایزو ۱۴۰۵۱ در شرکت پتروشیمی تبریز"، طرح پژوهشی، دانشگاه صنعتی سهند، (۱۳۹۴).

[10] Mahmoudi, E., Jodeiri, N., Fatehifar, E., "Implementation of material flow cost accounting for efficiency improvement in wastewater treatment unit of Tabriz oil refining company", Journal of Cleaner Production, 165: p. 530-536, (2017).

[۱۱] کاری، گ.، فاتحی فر، ا.، جدیری، ن.، همتی، ب.، "روش هزینه یابی جریان مواد، جهت کاهش اثرات زیست محیطی واحد تقطیر در خلاء شرکت پالایش نفت تبریز"، دومین کنفرانس بین المللی ایده های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، موسسه حامیان زیست اندیش محیط آرمانی، (۱۳۹۵).

[۱۲] همتی، ب.، فاتحی فر، ا.، کاری، گ.، کریمیان، ح.، "روش هزینه یابی جریان مواد، جهت کاهش اثرات زیست محیطی واحد مراکس شرکت پالایش نفت تبریز"، دومین کنفرانس بین المللی ایده های نوین در کشاورزی، محیط زیست و گردشگری، موسسه حامیان زیست اندیش محیط آرمانی، اردبیل، (۱۳۹۵).