هیأت داوران نشریهٔ این دوره

دکتر احمدپور، جواد (دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل)
دکتر اسدالله‌زاده، مهدی (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر اقبالی، حدیث (دانشگاه رفسنجان)
دکتر بیگ‌زاده، مجتبی (پژوهشگاه مواد و انرژی)
دکتر بیگمرادی، راضیه (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر تخت‌روانچی، مریم (شرکت ملی پتروشیمی)
دکتر تراب بیگی، مرضیه (دانشگاه شهید بهشتی)
دکتر توکلی اردکانی، میترا (دانشگاه یزد)
دکتر جیرفتی، نفیسه (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
دکتر خدیوپارسی، پریسا (دانشگاه تهران)
دکتر خسروی نیکو، محمدرضا (دانشگاه صنعت نفت)
دکتر خندان، ناهید (سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران)
دکتر ذاکری، مژگان (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
دکتر رحمانی، محمد (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)
دکتر رشیدی، حامد (دانشگاه صنعتی کرمانشاه)
دکتر روحانی، طاهره (دانشگاه صنعتی قوچان)
دکتر رئوف، فرشته (دانشگاه گیلان)
دکتر زاهدی، پیام (دانشگاه تهران)
دکتر زهدی، سید حسین (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
دکتر شریعتی‌نیا، زهرا (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)
دکتر شریفی، حکیمه (دانشگاه یاسوج)
دکتر عبداله‌زاده شرقی، الهام (پژوهشگاه مواد و انرژی)
دکتر عسگری، الهام (دانشگاه آزاد اسلامی- واحد بروجرد)
دکتر کلانتری، کاوه (دانشگاه زنجان)
دکتر محمدی، تورج (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر مرادی، غلامرضا (دانشگاه رازی کرمانشاه)
دکتر ناصح، نگین (دانشگاه بیرجند)
دکتر یزدانی، فرشاد (پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران)
دکتر یوسفی، وجیهه (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

سخن سردبیر ...

یکپارچه‌سازی فرایند: مفاهیم اولیه تا کاربردهای نوین

نسیم طاهونی
دانشیار مهندسی شیمی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

مطابق‌با تعریف ارائه‌شدهٔ آژانس بین‌المللی انرژی[1] در سال ۱۹۹۳، یکپارچه‌سازی فرایند[2] شامل روش‌های نظام‌مند برای طراحی سامانه‌های تولیدی یکپارچه- از فرایندهای شیمیایی منفرد تا مجتمع‌های فرایندی[3] - با تأکید ویژه بر استفادهٔ بهینه از انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی است. به‌طور مثال، یک واحد فرایندی شامل واحدهای مختلف عملیاتی، نظیر: راکتور، مبدل حرارتی، کوره، پمپ، خنک‌کننده، برج تقطیر و غیره است. به‌منظور کاهش مصرف انرژی در این واحد، می‌توان دو رویکرد ممیزی انرژی[4] و رویکرد یکپارچه‌سازی فرایند را مد نظر قرارداد. در رویکرد ممیزی انرژی، با بررسی تک‌تک واحدهای عملیاتی و شناسایی عوامل ناکارامدی و سپس، ارائهٔ راه‌کارهایی برای افزایش راندمان هر تجهیز می‌توان مصرف انرژی را در واحد کاهش‌داد؛ هزینهٔ لازم و زمان بازگشت سرمایه در هر راه‌کار پیشنهادی بررسی‌می‌شود و برای تصمیم‌گیری نهایی در اختیار کارفرما قرارمی‌گیرد. اما در رویکرد دوم، کل فرایند به‌صورت یکپارچه بررسی و کاهش مصرف انرژی ازراه بهبود ارتباطات بین واحدهای عملیاتی حاصل‌می‌شود. دراین‌حالت، به‌طور مثال با یکپارچه‌سازی صحیح منابع حرارتی و چاله‌های حرارتی در کل فرایند صرفه‌جویی‌های چشم‌گیری در انرژی شناسایی‌می‌شود.

رویکرد ممیزی انرژی مشابه‌با کار یک مهندس معمار است که ساختمان‌هایی برای یک مدرسه، یک مجتمع مسکونی، یک بیمارستان و مانند این‌ها طراحی‌می‌کند که درزمینه‌های مختلف (عملکرد، هزینه، ایمنی، آسایش) بهینه‌باشند، اما رویکرد دوم مانند عملکرد یک مهندس شهرساز است که وظیفه‌اش طراحی صحیح ارتباطات بین اجزای یک شهر است. به‌عنوان مثال، مجتمع‌های مسکونی نزدیک مراکز خرید طراحی‌می‌شوند یا کارخانه کنار یک بیمارستان قرارنمی‌گیرد. این مثال به‌روشنی نشان‌می‌دهد که بهینه‌سازی اجزای منفرد یک مجموعه به‌معنای بهینه‌بودن کل آن نیست. بدین‌ترتیب، رویکرد یکپارچه‌سازی فرایند با نگاه جامع به کل فرایند، تعامل میان بخش‌های مختلف را به‌گونه‌ای هماهنگ‌می‌کند تا عملکرد کلی سامانه بهینه شود.

کارامدترین روش‌های تحلیلی که در مقابل روش‌های عددی در مطالعهٔ فرایندها به‌کاررفته و ابزار اصلی یکپارچه‌سازی فرایند است، تحلیل پینچ، تحلیل اکسرژی و یا ترکیبی از این دو ابزار است. امروزه، استفاده‌از روش‌های ترکیبی عددی- تحلیلی بسیار متداول

1. International Energy Agency (IEA)
2. Process Integration
3. Total Site
4. Energy Auditing

است. وجه اشتراک روش‌های تحلیل پینچ و تحلیل اکسرژی این است که ابتدا ایده‌آل‌های ترمودینامیکی را به‌عنوان هدف، تعریف و سپس، سعی‌می‌کنند در مرحلهٔ طراحی به آن هدف‌ها نزدیک‌شوند. درصورتی‌که در روش‌های قدیمی، مرحله‌ای به‌نام هدف‌گذاری وجودنداشته و طراحی بااستفاده‌از تجربیات گذشته و سعی‌وخطا انجام‌می‌گرفته‌است. نحوهٔ تعریف این ایده‌آل‌ها و روش‌های دستیابی‌به آن‌ها اساس روش‌های فوق را تشکیل‌می‌دهد.

از ظهور علم یکپارچه‌سازی فرایند بیش‌از پنج دهه می‌گذرد: دههٔ ۱۹۷۰: ضرورت پاسخ به بحران جهانی نفت و کاهش مصرف انرژی در صنایع فرایندی - معرفی مفاهیم پایه، دههٔ ۱۹۸۰: گسترش و تثبیت علم پینچ، دههٔ ۱۹۹۰: گسترش دامنهٔ کاربرد علم و ورود به حوزه‌های جدید، دههٔ ۲۰۰۰: تمرکز بر پایداری و استفاده‌از انرژی‌های تجدیدپذیر، دههٔ ۲۰۱۰: دیجیتالی‌شدن و بهینه‌سازی پیشرفته، دههٔ ۲۰۲۰: تمرکز بر کربن‌زدایی و هوش مصنوعی.

به‌طور کلی دستاوردهای تحقیق و پژوهش در موضوع یکپارچه‌سازی فرایند درطی این سال‌ها در ۳ شاخهٔ اصلی یکپارچه‌سازی حرارت، یکپارچه‌سازی جرم و یکپارچه‌سازی تجهیزات طبقه‌بندی‌می‌شود. یکپارچه‌سازی حرارت شامل: طراحی واحدهای جدید و اصلاح واحدهای موجود شبکه‌های مبدل حرارتی (به‌منظور کاهش مصرف انرژی و یا رفع گلوگاه‌های ناشی‌از افزایش ظرفیت)، تولید بخار، یکپارچه‌سازی واحدهای عملیاتی (برج تقطیر، راکتور، تبخیرکننده، خشک‌کن، غیره)، یکپارچه‌سازی حرارتی توربین بخار، توربین گاز، پمپ حرارتی، ملاحظات افت فشار در شبکه‌های مبدل حرارتی، تولید هم‌زمان حرارت و برق، طراحی واحدهای زیر دمای محیط، یکپارچه‌سازی مجتمع فرایندی و غیره است. یکپارچه‌سازی جرم شامل پینچ آب (کمینه‌سازی مصرف آب و تولید پساب برای سامانه‌های تک‌آلاینده یا چندآلاینده، صرفه‌جویی هم‌زمان آب و انرژی، سامانه‌های خنک‌کننده، سامانه‌های تصفیه و بازچرخانی آب)، پینچ هیدروژن (طراحی و اصلاح شبکهٔ تولید و مصرف هیدروژن در پالایشگاه و پتروشیمی، بهینه‌سازی ریاضی شبکهٔ هیدروژن)، پینچ اکسیژن (کمینه‌سازی اکسیژن در تصفیهٔ فاضلاب و دفع پسماند)، رد پای کربن (هدف‌گذاری کاهش رد پای کربن در صنایع فرایندی، سامانه‌های تجدیدپذیر، سامانه‌های تولید برق)، صرفه‌جویی مواد و کمینه‌سازی تولید مواد زائد و غیره است. یکپارچه‌سازی تجهیزات، شامل: شبکه‌های مبدل حرارتی چندجریانه، برج‌های تقطیر واکنشی، افزایش انتقال حرارت، برج‌های تقطیر دیوار میانی و غیره است.

در سال‌های اخیر، یکپارچه‌سازی فرایند به‌سمت هم‌افزایی با فناوری‌های نوین نظیر هوش مصنوعی، کلان‌داده‌ها[1]، اینترنت اشیاء[2]، یادگیری ماشین[3]، مدل‌سازی دیجیتال دوقلو[4] و رایانش ابری[5] حرکت‌کرده‌است. این روند، موجب شده تا از یک ابزار مهندسی صرف، به ابزاری راه‌بردی برای تصمیم‌گیری در سطح کلان سازمانی برای بهبود بهره‌وری، انعطاف‌پذیری و پایداری فرایندهای صنعتی تبدیل‌شود. به‌عنوان مثال، ترکیب تحلیل پینچ با الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند به پیش‌بینی رفتار سامانه در شرایط ناپایدار، کمک و فرصت‌های بهینه‌سازی بیشتری را آشکارکند. بدین‌ترتیب، یکپارچه‌سازی فرایند درطول این سال‌ها از یک رویکرد مهندسی برای صرفه‌جویی انرژی به یک ابزار جامع برای طراحی و اصلاح صنایع فرایندی در راستای افزایش تولید، کاهش مصرف انرژی، بازیافت منابع، کاهش ضایعات، هم‌سویی با اهداف توسعهٔ پایدار برای دستیابی‌به کربن صفر و پیش‌بینی سریع و دقیق نیازهای بازار تبدیل‌شده‌است.

1. Big Data
2. IoT
3. Machine Learning
4. Digital Twin
5. Cloud Computing