

مهندسی شیمی و انرژی

محمد حسن پنجه شاهی

دانشکده فنی، دانشگاه تهران

چکیده: در این مقاله نقش رشته مهندسی شیمی در تحلیلی مسائل مربوط به تولید و مصرف انرژی در صنایع فرایندی به تفصیل توضیح داده شده است. ابتدا اهمیت کاربرد منطقی انرژی از نظر حفظ ذخایر ملی و کاهش مشکلات زیست محیطی و همچنین جایگاه صنایع داخلی در بین کشورهای صنعتی جهان از نظر میزان شدت انرژی مورد توجه قرار گرفته است، سپس موضوعاتی همچون ممیزی انرژی و تحلیلی فرایندها به عنوان راهکارهای شناخته شده امروزی برای بررسی مصرف انرژی در صنایع معرفی و ضمن توضیح اصول و روش‌های هر کدام، نقش مهندسی شیمی در این گونه مطالعات روشن شده است.

مقایسه بین ممیزی انرژی و تحلیل فرایندها از نظر میزان تأثیرگذاری بر کاهش مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین نحوه ارتباط هر کدام از آنها با مهندسی شیمی مطلب دیگری است که در این مقاله به آن پرداخته شده است. لیکن نظر به اهمیتی که تحلیل فرایندها در بهینه سازی مصرف انرژی صنایع دارند، موضوع انتگراسیون یا یکپارچه سازی فرایندها با جزئیات بیشتری مطرح شده است و زمینه‌های گوناگونی که در این مطالعات وجود دارد نیز شرح داده شده است.

در بخش‌های بعدی مقاله جایگاه انرژی در برنامه‌های آموزشی و پژوهشی مهندسی شیمی مشخص و ضمن اولویت بندی موضوعات انرژی، بر تعمیق این موضوعات در برنامه‌های مهندسی شیمی تأکید شده است.

واژه‌های کلیدی: مهندسی شیمی، انرژی، راهکارها، صنایع، برنامه آموزشی مهندسی شیمی

۱. مقدمه

امروزه، اهمیت انرژی و نقش اساسی آن به عنوان حرکت دهنده بخش‌های اقتصادی یک کشور بر کسی پوشیده نیست. محدود بودن منابع سوخت‌های فسیلی که عمده‌ترین منبع تولید انرژی در جهان به شمار می‌رود از یکسو و آثار مخرب زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه انرژی از سوی دیگر، استفاده منطقی از انرژی را به یک ضرورت انکارناپذیر تبدیل کرده است. از طرف دیگر، افزایش روز افزون بهای انرژی، چه در جهان و چه در ایران، سهم انرژی را در قیمت تمام شده محصولات افزایش داده است و به عنوان یک انگیزه اقتصادی نیز بخش‌های مختلف را به بهینه‌سازی مصرف انرژی ترغیب می‌کند.

آمار و ارقام تهیه شده در زمینه مصرف انرژی نشان می‌دهد که از میان بخش‌های مختلف اقتصادی یک کشور نظیر خانگی، تجاری، حمل و نقل، صنعت، کشاورزی و...، بخش صنعت به طور متوسط مصرف کننده ۳۰ درصد از کل انرژی اولیه در دسترس یک کشور است [۲]. این در حالی است که بر اساس مطالعات انجام شده تقریباً یک سوم این انرژی نیز به علل مختلف از جمله بهینه نبودن طراحی‌ها، راهبردی ناصحیح، پایین بودن راندمان یا خرابی سیستم‌ها و تجهیزات و... در بخش صنعت به هدر می‌رود و چنانچه اقدامات مناسب صورت پذیرد، این مقدار قابل صرفه‌جویی خواهد بود [۵].

بخش صنعت خود شامل رشته‌های گوناگون است که هر کدام از نظر مصرف انرژی دارای رتبه خاصی هستند. از میان این رشته‌ها ۶ صنعت به عنوان صنایع به شدت انرژی بر شناخته شده‌اند که به ترتیب میزان انرژی بری عبارت اند از:

۱. صنایع شیمیایی و محصولات وابسته؛

۲. صنایع تولید فلزات اساسی؛

۳. صنایع نفت، گاز و پتروشیمی؛

۴. صنایع کانی غیر فلزی نظیر سیمان و شیشه؛

۵. صنایع چوب و کاغذ و محصولات وابسته؛

۶. صنایع غذایی و آشامیدنی [۲].

ذکر نام صنایع شش‌گانه مذکور به عنوان صنایع انرژی بر ارتباطی چون و چرای مهندسی شیمی را با مسئله انرژی به عنوان اولین در یافت مشخص می‌سازد. اگر چه این ارتباط عام است و

نقش اساسی مهندسان شیمی را در طراحی بهینه فرایندهای شیمیایی و راهبردی درست آنها در تمام کشورهای جهان نشان می‌دهد. توضیحات زیر این نقش را برای مهندسان شیمی در ایران به مراتب بر جسته تر می‌کند و وظیفه ایشان را در شناخت مسائل انرژی در صنعت دو چندان می‌سازد.

در سال ۱۹۸۱؛ یعنی ۲۰ سال پیش، شدت انرژی در بخش صنایع و معادن بر حسب تن معادل نفت خام به ازای یک میلیون دلار ارزش افزوده برای کشورهای مختلف چنین بوده است. ژاپن با عدد ۱۴۰۴ مقام اول و ایران با عدد ۳۶۶ پس از ژاپن، یونان، فرانسه، عربستان، کره جنوبی، امریکا، ترکیه، پاکستان و چین مقام دهم را داشته است؛ یعنی ژاپن ۲۰ سال پیش بین این ده کشور دارای بیشترین شدت انرژی و ایران دارای کمترین شدت انرژی بوده است. اما در سال ۱۹۹۴، ژاپن شدت انرژی خود را از ۱۴۰۴ به ۱۲۱ کاهش داده، در صورتی که شدت انرژی در کشور ما از ۳۶۶ به ۲۲۵۰ افزایش یافته است. این آمار نشان می‌دهد که کشورهای صنعتی در طول سال‌های گذشته با انجام دادن اقدامات جدی و منسجم توانسته‌اند مصرف انرژی را در کشورهای خود نه تنها مهار کنند، بلکه کاهش نیز بدهند. در صورتی که در کشور ما متأسفانه این روند معکوس بوده است. البته، ناگفته نماند که در سایر بخش‌های اقتصادی نیز وضعیت بهتر از بخش صنعت و معدن نیست [۵ و ۲].

۲. راهکارهای بررسی مصرف انرژی در صنایع و نقش مهندسی شیمی

به طور کلی، مصرف انرژی در یک صنعت فرایندی^۱ را می‌توان از دو دیدگاه مختلف مورد بررسی قرار داد:

۱. دیدگاه تجهیزاتی^۲
۲. دیدگاه فرایندی^۳

در دیدگاه اول، واحدهای عملیاتی تشکیل دهنده یک فرایند نظیر راکتور، برج، مبدل، بویلر، کوره، پمپ، کمپرسور و غیره به طور مستقل و منفصل مورد مطالعه قرار می‌گیرد و مشخصات طراحی و شرایط راهبری آن از نظر تولید و مصرف انرژی بررسی می‌شود. برای نمونه، وقتی در

چنین مطالعه‌ای یک کوره در دست بررسی است، مقادیری همچون دمای هوای احتراق، درصد هوای اضافی، دمای گازهای خروجی از دودکش، زاویه مشعل‌ها، ضخامت و کیفیت عایقکاری و نظایر اینها مد نظر بوده است و پس از اندازه‌گیری و محاسبات مورد نیاز اصلاحاتی نظیر پیش‌گرم کردن هوای احتراق، تنظیم میزان هوای اضافی، نصب سیستم بازیافت حرارت از گازهای خروجی، تغییر زاویه مشعل‌ها و اصلاح و ترمیم عایقکاری پیشنهاد می‌شود.

در دیدگاه دوم، برعکس دیدگاه اول، واحدهای عملیاتی در ارتباط با یکدیگر دیده می‌شوند. جریان‌های ورودی و خروجی همه این واحدها در کنار یکدیگر فرایند را می‌سازند و این فرایند به صورت یکپارچه مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر قرار است هوای ورودی به کوره پیش‌گرم شود یا از حرارت خروجی دودکش استفاده شود، این تصمیمات در ارتباط با سایر جریان‌های فرایند و به صورت یکپارچه گرفته می‌شوند. لذا لازم است که اثرهای متقابل واحدهای عملیاتی روی یکدیگر به دقت شناخته و تأثیر هرگونه تغییری در یک نقطه از فرایند روی سایر قسمت‌ها بررسی شود.

به مطالعاتی که از دیدگاه اول تبعیت می‌کند، اصطلاحاً ممیزی انرژی^۱ و به مجموعه روش‌هایی که دیدگاه دوم را تحقق می‌بخشند، یکپارچه سازی فرایند^۲ می‌گویند.

۱.۲. ممیزی انرژی و نقش مهندسی شیمی

کلمه ممیزی، چه در فرهنگ لغت و چه در اصطلاحات عامه، در ابتدا بررسی حساب‌های مالی یک سازمان را تداعی می‌کند. تعیین میزان و نحوه در آمد و هزینه یک شرکت، تعیین مقادیر معقول و منطقی برای این در آمد و هزینه، میزان انحراف مقادیر واقعی از مقادیر منطقی، محاسبه سود و زیان و بالاخره ارائه پیشنهاد به منظور بهبود شرایط مالی یک شرکت را از طریق یک متدولوژی مشخص ممیزی می‌گویند. ممیزی انرژی نیز معنی و مفهوم مشابهی دارد. شناخت وضع موجود یک فرایند از نظر تولید و مصرف انرژی، تعیین وضع مطلوب برای همین فرایند و نهایتاً ارائه پیشنهاد برای رسیدن از وضع موجود به وضع مطلوب سه مرحله اساسی در یک پروژه ممیزی انرژی است [۲].

الف) شناخت وضع موجود

در این مرحله، ضمن جمع آوری اطلاعات عمومی از صنعت مورد نظر مانند میزان و تنوع محصولات، ساعات کارکرد، آمار کارکنان و غیره، تمام واحدهای عملیاتی و تجهیزات تولید یا مصرف کننده انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرد و اطلاعات لازم برای موازنه انرژی و مواد آنها نظیر دبی، دما، فشار و غلظت و همچنین پارامترهای مؤثر در راندمان آنها نظیر ابعاد هندسی گرد آوری و در صورت لزوم اندازه گیری می‌شود.

ب) تعیین وضع مطلوب

در این مرحله، پس از محاسبه راندمان برای تک تک تجهیزات و همچنین محاسبه شدت انرژی برای تولید هر کدام از محصولات و سپس مقایسه مقادیر به دست آمده با مقادیر مربوط به تجهیزات و فرایندهای تولیدی مشابه، شرایط مطلوب تعریف خواهد شد.

ج) ارائه پیشنهاد های اصلاحی

در آخرین مرحله از ممیزی انرژی فرصت های صرفه جویی انرژی^۱ که اختصاراً ECO نامیده می‌شود، شناسایی و برای رسیدن به وضعیت مطلوب پیشنهاد می‌شود. این پیشنهادها همراه با یک امکان سنجی اولیه^۲ شامل بررسی های علمی، فنی و اقتصادی خواهند بود. تجربه ممیزی انرژی در صنایع فرایندی انرژی بر نشان می‌دهد که ECO ها عموماً در سیستم های نظیر:

- سیستم های احتراق (کوره، بویلر و گرمکن)
- سیستم های تولید قدرت (توربین بخاری، توربین گازی و سیکل ترکیبی)
- سیستم های بخار (تولید بخار، جمع آوری و بازگشت مایع تقطیر و تله بخارها)
- سیستم های دوار (انواع پمپ ها و کمپرسورها)
- سیستم های سوزان (زیاله سوزها، مشعل ها)
- سیستم های عایقکاری صنعتی (واحدهای عملیاتی و لوله ها)

یا سایر سیستم‌های انرژی بر مشاهده و پیشنهاد داده می‌شوند. پر واضح است که نقش مهندس شیمی در این‌گونه بررسی‌ها نقشی اساسی و انکارناپذیر است. مواردی مانند موازنه انرژی و مواد برای واحدهای عملیاتی، محاسبه عملکرد کوره‌ها و بویلرها، آنالیز احتراق، خواص سوخت‌ها، محاسبه راندمان سیستم‌های احتراق، خواص حرارتی انواع بخار، محاسبات مربوط به سیکل‌های ترمودینامیکی، محاسبه راندمان پمپ‌ها و کمپرسورها، طراحی سیستم‌های بازیافت حرارت از دودکش‌ها و زیاله سوزها، خواص عایق‌های صنعتی و نظایر آنها جملگی از وظایف یک مهندس شیمی و در حیطه توانمندی‌های اوست.

البته، برای تکمیل بحث باید اضافه کرد که یک ممیزی انرژی کامل علاوه بر سیستم‌های حرارتی، سیستم‌های الکتریکی و مدیریت بار در صنعت مورد نظر را نیز شامل خواهد شد. در ممیزی الکتریکی مواردی چون توان مصرفی تجهیزات، عدم تعادل فازها، توان اکتیو و راکتیو، ضریب قدرت و غیره مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در مدیریت بار نیز توزیع مصرف انرژی الکتریکی در شبانه روز، امکان استفاده از کنتورهای چند تعرفه‌ای پیک زدایی و نهایتاً کاهش دیماند مد نظر خواهد بود.

۲.۲. یکپارچه سازی فرایندها و نقش مهندس شیمی

اگر چه ممیزی انرژی به عنوان یک راهکار در بررسی صنایع انرژی بر مطرح است و در سطح گسترده‌ای به کار می‌رود، در مقایسه با روش‌های مربوط به انتگراسیون فرایندها، از نظر میزان تأثیرگذاری بر کاهش مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین اصول و پایه‌های علمی جایگاه پایین‌تری دارد. علاوه بر این، نقش مهندسان شیمی نیز در این‌گونه مطالعات نقشی برجسته‌تر و به عبارت دقیق‌تر منحصر به فرد است، زیرا ممکن است بعضی از مطالعات ممیزی انرژی توسط مهندسان مکانیک با گرایش حرارت و سیالات نیز قابل انجام شدن باشد، اما تحلیل فرایندها به دلیل تخصصی بودن آن صرفاً از مهندسان شیمی ساخته است. سؤال این است که تحلیل‌ها چه موقع، با چه اهدافی، در چه زمینه‌هایی و چگونه انجام خواهد شد؟

الف) موقع

طراحی یک فرایند شیمیایی به منظور تبدیل مواد اولیه به محصولات مورد نیاز طی سه مرحله کلی

صورت می پذیرد که انجام دادن تحلیل‌ها آخرین آنها است.

۱. طراحی اولیه

که خود در چهارگام انجام می‌شود. ابتدا واکنش‌های شیمیایی و راکتور به عنوان قلب فرایند طراحی می‌شوند. سپس سیستم‌های جدا سازی مناسب نظیر تطعیر، استخراج و... مشخص و طراحی می‌گردند. درگام سوم، سیستم‌های بازیافت حرارت یا شبکه مبدل‌های حرارتی و بالاخره در گام چهارم در مورد سرویس‌های جانبی برای تأمین گرمایش و سرمایش مورد نیاز از خارج فرایند تصمیم‌گیری خواهد شد.

۲. شبیه سازی

که در این مرحله هر کدام از واحدهای عملیاتی مدلسازی ریاضی می‌شود و نهایتاً کل فرایند از نظر انرژی و مواد موازنه می‌شود. در این مرحله تمام دبی‌ها، دماها، فشارها و غلظت‌ها مشخص و معلوم خواهند شد.

۳. تحلیلی‌ها

که آخرین و مهم‌ترین کار یک مهندس فرایند است و باید با دقت هر چه تمام‌تر انجام شود تا فرایند به اهداف تعیین شده برسد. معمولاً این تحلیل‌ها باعث تغییرات در مقدار پارامترهای طرح اولیه می‌شود و حتی در بعضی موارد ساختار اولیه فرایند را نیز دگرگون می‌سازد.

(ب) اهداف

اگر چه اقتصادی بودن یک طرح یک ملاک آشکار است. مطمئناً تنها ملاک نخواهد بود. فرایندهای شیمیایی باید به عنوان بخشی از یک برنامه توسعه صنعتی پایدار طراحی شوند تا ظرفیت‌های اکو سیستم برای حمایت و پشتیبانی از فعالیت‌های صنعتی و همچنین زندگی بشر حفظ و حراست شود؛ به عبارت دیگر، یک فرایند باید از حداقل انرژی ممکن استفاده کند، کمترین مقدار آلاینده‌ها را تولید و منتشر سازد، ضایعات آن می‌تیمم باشد و صدمه‌ای نیز به محیط زیست وارد نسازد. این فرایند همچنین باید از نظر سلامتی و ایمنی در حد قابل قبولی باشد و

انعطاف لازم برای راهبری در شرایط مختلف را نیز دارا باشد.

ج) زمینه‌ها

تحلیل فرایندها متناسب با اهداف تعیین شده در زمینه‌های گوناگونی انجام می‌شوند. در این مقاله صرفاً زمینه‌هایی که مربوط به اهداف انرژی است، مورد اشاره قرار خواهند گرفت [۴].

۱. شبکه‌های مبدل حرارتی^۱

در یک فرایند بعضی از جریان‌ها نیاز به گرم شدن و بعضی دیگر نیاز به سرد شدن دارند. برای اینکه میزان گرمایش و سرمایش مورد نیاز یک فرایند توسط سرویس‌های جانبی (بخار، سوخت، آب، برق و...) به حداقل برسد، باید این جریان‌ها در مبدل‌های حرارتی با یکدیگر تبادل حرارت نمایند. هر چه شبکه‌های مبدل‌های حرارتی یک فرایند بهتر طراحی شود، میزان مصرف انرژی آن فرایند به حداقل یا اگر دقیق‌تر بگوییم به نقطه بهینه اقتصادی نزدیک‌تر خواهد شد.

۲. انتخاب سرویس‌های جانبی^۲

همانگونه که توضیح داده شد، میزان سرمایش و گرمایش مورد نیاز یک فرایند، پس از بازیافت حداکثر حرارت در شبکه مبدل‌های حرارتی، به وسیله سرویس‌های جانبی گرم (مثل گازهای احتراق، بخار در فشارهای مختلف، سیکل روغن داغ و...) و سرد (مثل آب خنک‌کن، هوا، سیکل‌های سرما ساز و...) تأمین خواهد شد. انتخاب نوع، دما و فشار این سرویس‌های جانبی و استفاده ترکیب بهینه‌ای از آنها موضوع مهمی است که نیاز به تحلیل دارد و باعث بهینه شدن مصرف انرژی خواهد شد.

۳. انتگراسیون حرارتی ماشین‌های حرارتی^۳

ترکیب درست سیکل‌های تولید قدرت، نظیر توربین بخاری، توربین گازی و سیکل

ترکیبی، با یک فرایند به افزایش راندمان ترمودینامیکی کل فرایند و نهایتاً کاهش مصرف انرژی خواهد انجامید. تحلیل فرایندها توسط تکنولوژی پینچ موقعیت این ماشینهای حرارتی را در مقایسه با فرایند به گونه‌ای تعیین می‌کند که کل مجموعه به صورت یکپارچه از نظر مصرف انرژی بهینه باشد. این ترکیب در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و همچنین سیستم‌های Co-generation کاربرد وسیعی خواهد داشت.

۴. انتگراسیون حرارتی پمپ‌های حرارتی^۱

مشابه مطلب مذکور دقیقاً در مورد پمپ‌های حرارتی نیز مصداق دارد. تبدیل بخار فشار پایین (LPS) به بخار فشار بالا (HPS) متراکم سازی بخار بالای برج تقطیر به منظور تأمین گرمایش مورد نیاز در پایین برج^۲ و همچنین سیستم‌های سرما ساز زیر دمای محیط^۳ جملگی پمپ حرارتی به شمار می‌آیند. انتگراسیون صحیح این سیستم‌ها با یک فرایند مصرف انرژی کل فرایند را به شدت کاهش خواهد داد.

۵. انتگراسیون حرارتی راکتورها^۴

انتگراسیون حرارتی راکتورها با یک فرایند، هم به نوع راکتور، از نظر گرما گیر یا گرما زا بودن و هم به مشخصه‌های اختلاط آن بستگی دارد. به کار بردن تکنیک‌هایی چون تزریق خوراک سرد به نقاط میانی راکتورهای گرمازا، تزریق خوراک پیش گرم شده به نقاط میانی راکتورهای گرما گیر یا اضافه نمودن گازهای بی اثر^۵ به راکتور به عنوان حامل انرژی^۶ نیاز به تحلیل پینچ فرایند دارد و نتیجه آن نیز کاهش مصرف انرژی خواهد بود.

۱. Heat Integration of Heat Pumps

۲. Vapor Recompression Disillation

۳. Refrigeration Systems

۴. Heat Integration of Reactors

۵. inerts

۶. Heatcarrier

۶. انتگراسیون حرارتی برج‌های تقطیر^۱

بارهای حرارتی مربوط به کندانسور و ریویولر یک برج تقطیر ظرفیت‌های عمده سرمایه‌ش و گرمایش مورد نیاز آن برج به شمار می‌رود، لیکن به طور عمومی ظرفیت‌های دیگری نیز وجود خواهد داشت که مربوط به گرم و سرد کردن خوراک و محصولات برج می‌شود. به هر حال، مجموع این چهار ظرفیت باید با سرمایه‌ش و گرمایش مورد نیاز فرایند به گونه‌ای مبادله شود که مصرف کل فرایند حداقل شود. تعیین صحیح فشار طراحی برج موقعیت دماهای بالا و پایین برج را نسبت به دمای نقطه پینچ تنظیم می‌کند و باعث انتگراسیون صحیح حرارتی خواهد شد.

۷. انتگراسیون حرارتی تبخیرکننده‌ها^۲

در تبخیرکننده‌ها معمولاً یک جزء سبک مثل آب از سایر اجزا جدا می‌شود، لذا می‌توان فرض کرد که عمل تبخیر در دمای ثابت اتفاق می‌افتد. مجدداً مشابه آنچه در بحث برج‌های تقطیر گفته شد، در اینجا نیز صادق خواهد بود؛ یعنی با تنظیم فشار تبخیرکننده و بهبود موقعیت آن نسبت به دمای نقطه پینچ می‌توان انرژی را کاهش داد.

۸. انتگراسیون حرارتی خشک‌کن‌ها^۳

معمولاً گرمای ورودی به یک خشک‌کن از طریق یک گاز گرم تأمین می‌شود. این گاز باید تا دمایی بالاتر از نقطه جوش مایع تبخیر شونده گرم شود. دمای گاز خروجی نیز اگر چه کمتر از گاز دمای ورودی است. لیکن این گاز همچنان دارای انرژی است و می‌توان از آن برای گرم کردن سایر جریان‌های فرایند استفاده کرد. این امر هنگامی به شکل صحیح انجام خواهد شد که خشک‌کن و فرایند انتگراسیون حرارتی شده باشد.

۱. Heat Integration of Distillation Columns ۲. Heat Integration of Evaporators

۳. Heat Integration of Dryers

۹. بازنگری پارامترهای طراحی^۱

دیگرام پیازی^۲ مراحل طراحی یک فرایند را به ترتیب طراحی سیستم راکتور، طراحی سیستم جداسازی، طراحی شبکه مبدل حرارتی و نهایتاً طراحی سرویس‌های جانبی تعیین می‌کند. لیکن این طراحی اولیه باید با انگیزه انتگراسیون حرارتی مورد بازنگری قرار گیرد و پس از طی مراحل یاد شده، منتها این بار در جهت معکوس، چه بسا پارامترهای طراحی در این بازنگری به کلی تغییر کنند. قانون حاکم بر انتگراسیون حرارتی قانون Plus - Minus خواهد بود.

۱۰. مصرف آب و تولید پساب^۳

فرایند شیمیایی عموماً به طریق مختلف از آب تازه استفاده می‌کنند و پساب تولید می‌نمایند. هر چه یک فرایند آب کمتری به مصرف برساند، تولید پساب آن نیز کمتر خواهد بود. حداقل سازی این دو مقدار به تحلیل مشابهی نظیر آنچه در انتگراسیون حرارتی مطرح شد، نیاز خواهد داشت که به آن Water Pinch می‌گویند.

۱۱. انتشار آلاینده‌ها^۴

نظر به اینکه مباحث انرژی و محیط زیست از جهات مختلف با یکدیگر ارتباط محکمی دارند و در هم تنیده شده‌اند، هرگونه صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی کاهش میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی را نیز به دنبال خواهد داشت. لیکن پدیده‌هایی نظیر Global Warming و یا Green - house Effect باعث وضع مقرراتی در سطح بین‌المللی می‌شود که میزان کربن قابل انتشار توسط یک صنعت را محدود می‌سازد. لذا برای اینکه در طراحی یک فرایند این محدودیت‌ها رعایت شود، به تحلیل مناسبی نیاز خواهیم داشت.

۱. Process Changes

۲. Onion Diagram

۳. Water and Waste Water

۴. Emmissions

۱۲. انتگراسیون کل مجتمع^۱

یک مجتمع صنعتی نظیر پالایشگاه یا پتروشیمی معمولاً از واحدهای مختلفی تشکیل شده است. چنانچه مطالعاتی مانند بازیافت انرژی حرارتی از جریان‌ها، تولید همزمان حرارت و قدرت، کاهش انتشار کربن یا بهینه کردن مصرف آب و تولید پساب در کل مجتمع به صورت یکپارچه مد نظر باشد. تحلیل ویژه‌ای نیاز می‌باشد که به Total Site Integration موسوم است.

(د) روش‌ها

روش‌های موجود برای انجام دادن این گونه تحلیل‌ها از یک فلسفه واحد تبعیت می‌کنند، در دو حالت مختلف کاربرد دارند، از سه تکنولوژی بهره می‌گیرند و بالاخره در چندین نرم‌افزار کامپیوتری تعبیه شده‌اند.

۱. فلسفه‌ای که بر تمام این روش حاکم است، این است که پس از تعریف هر مسئله طراحی، ابتدا باید با استفاده از مبانی علمی محکم اهداف طراحی مشخص و سپس طراحی انجام شود. مرحله دوم؛ یعنی هدف‌گذاری^۲ فلسفه طراحی فرایند را به کلی تغییر داده و رسیدن به ایده‌آهای طراحی بدون نیاز به هرگونه سعی و خطا تضمین کرده است.

۲. این گونه تحلیلها در دو حالت طراحی اولیه^۳ و طراحی اصلاحی^۴ کاربرد دارند. اگر یک فرایند شیمیایی جدید التاسیس است، تحلیلها به صورت Grass-roots انجام می‌شوند و اگر فرایندی قبلاً ساخته شده و در حال کار است، برای اصلاح آن و کاهش مصرف انرژی به تحلیل از نوع Retrofits نیازمند است.

۳. تکنولوژی‌هایی که در این تحلیل‌ها به کار گرفته می‌شوند، عبارتند از:

برنامه ریزی ریاضی^۵

تحلیل پینچ^۶

۱. Total Site Integration

۲. Targeting

۳. Grass-roots

۴. Retrofits

۵. Mathematical Programming

۶. Pinch Analysis

تحلیل اکسرژی^۱

و همچنین ترکیب‌های مختلفی از سه تکنولوژی مذکور

۴. نرم افزارهای توانمندی در طول بیست سال اخیر برای انجام دادن این تحلیلها ارائه شده است که هر کدام در نوع خود دارای نقاط قوتی است؛ از آن جمله می‌توان به نرم افزارهای زیر اشاره کرد:

Supertarget

Advent

Pilot

Hextran

۳. انرژی و برنامه آموزش مهندسی شیمی

در طول بیست سال گذشته، برنامه آموزش مهندسی شیمی در بسیاری از کشورهای پیشرفته جهان با انگیزه اضافه کردن مفاهیم مربوط به انرژی دستخوش تغییر و تحول شده است. مناهیمی همچون طراحی فرایندها، معرفی شبکه‌های مبدل حرارتی، طراحی تجهیزات فرایندی و نظایر آنها به تدریج به صورت پراکنده در برنامه آموزش مهندسی شیمی گنجانده شده است، لیکن در هیچ دانشگاهی این کار به صورت جامع و مانع و سیستماتیک صورت نگرفته است. در بسیاری از دانشگاهها این مفاهیم به گونه‌ای به دروس مهندسی شیمی اضافه شده است که هم ارتباط آنها با مسائل اقتصادی یک ارتباط مصنوعی است و هم از مفاهیم اساسی مهندسی شیمی مثل ترمودینامیک و انتقال حرارت بسیار فاصله گرفته است [۱].

نکته‌ای که اغلب فراموش می‌شود این است که فرایند آموزش یک فرایند سه مرحله‌ای است. مرحله اول، معرفی مفاهیم اساسی از طریق تعاریف و شرح اصول، مرحله دوم، توسعه مفاهیم از طریق کاربردها و روش‌ها و مرحله سوم، تثبیت مفاهیم از طریق انجام دادن مطالعات موردی است. بنابراین، مفاهیم انرژی ابتدا باید به گونه‌ای منطقی در طول چهار سال کارشناسی و همچنین یکسال کارشناسی ارشد توزیع شود که هم ارتباط با دروس مربوط ترم تحصیلی و پیشنیازهای آن

داشته باشد و هم پس از طی دوره‌های تحصیلی ساختار معنی دار، جهت دار و محکمی در اندوخته‌های علمی دانشجویان ایجاد کند. این مفاهیم سپس از طریق آموزش کاربردها و روش‌ها توسعه یابد و نهایتاً در انتهای دوره کارشناسی به صورت پروژه طراحی^۱ و در انتهای دوره کارشناسی ارشد به صورت پایان نامه تثبیت شوند.

برای مثال بعضی از مفاهیم اساسی نظیر هدف گذاری انرژی^۲، آبخار حرارتی^۳، اکسرژی و... باید در ترمودینامیک و انتقال حرارت طرح شوند. بعضی دیگر نظیر بازیافت حرارت^۴، شناخت تجهیزات مصرف کننده انرژی و... باید در دورسی نظیر انتقال حرارت، عملیات واحد صنعتی، سوخت و احتراق و غیره مطرح شوند و بعضی دیگر نظیر طراحی فرایندها، آنالیز پینچ، آنالیز اکسرژی، بهینه سازی و غیره شاید به عنوان دروس مستقل (اجباری یا اختیاری) در دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد قابل طرح باشند. بدیهی است که کم و کیف دقیق این موضوع نیاز به بررسی بیشتر و کار کارشناسی خواهد داشت.

۴. انرژی و پژوهش در مهندسی شیمی

اگرچه ممیزی انرژی و انتگراسیون فرایند هر دو به عنوان راهکارهای کاهش مصرف انرژی معرفی می‌شوند و مهندسان شیمی نیز در آنها دارای نقش هستند، از بعد پژوهشی موضوعات مربوط به انتگراسیون فرایندها (زمینه‌های ۱۲ گانه بند ج) زمینه‌های زنده پژوهشی برای محققان و صاحب نظران مهندسی شیمی به شمار می‌آیند. از میان این زمینه‌ها شاید بتوان گفت بحث هایی نظیر:

Process Changes

Heat Integraion of Unit Operations

Water and Waste Water Minimisation

Emmissions

Total Site Integration

۱. Design Project

۲. Energy Targeting

۳. Heat Cascade

۴. Heat Recovery

آن هم در حالت Retrofit از اولویت بیشتری برخوردار هستند.

۴. نتیجه گیری

نتایج این بحث به طور خلاصه عبارت است از:

● محدود بودن منابع سوخت فسیلی و آثار مخرب زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه آن، صرفه جویی انرژی را به یک ضرورت اجتناب ناپذیر مبدل کرده است. آمار و ارقام نیز نشان می دهند که این امر در کشور ایران از حساسیت بیشتری برخوردار است.

● از آنجا که صنایع انرژی بر صنایعی هستند که مهندسان شیمی در طراحی و راهبری آنها نقش اساسی و کلیدی دارند، لذا لزوم آگاهی مهندسان شیمی در مورد مسائل انرژی بیشتر از سایر رشته های مهندسی احساس می شود.

● ممیزی انرژی به عنوان یک دیدگاه تجهیزاتی به صنعت شامل اجزا و روش هایی است که در حیطه تخصص مهندسان شیمی است و مهندس شیمی می تواند به خوبی از عهده اجرای آن بر آید و باعث کاهش مصرف انرژی شود.

● انتگراسیون فرایندها به عنوان یک دیدگاه کلی و یکپارچه به صنعت زمینه های متنوعی را در بر می گیرد که عمدتاً از مهارت های منحصر به فرد مهندس شیمی به شمار می رود و هدف همه آنها منطقی کردن کاربرد انرژی در فرایندی است.

● برنامه آموزش مهندسی شیمی باید به گونه ای متحول شود که مفاهیم انرژی ابتدا در دروس مربوط معرفی شود، سپس از طریق آموزش روش ها و کاربردها توسعه یابد و نهایتاً با انجام یافتن پروژه ها و پایان نامه ها تثبیت شوند.

● طراحی، تجزیه و تحلیل و بهینه سازی فرایندها به منظور کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده ها شامل زمینه های متنوعی و جدیدی است که پژوهشگران مهندس شیمی باید بیش از پیش به آن بپردازند و مرزهای دانش را در این ابعاد توسعه دهند.

مراجع

1. "User Guide on Proccss Integration for the Effective Use of Energy"

Bodo Linnhoff et al., I. Chem. E., U.K., 1982.

2. Industrial Energy Mangment and Utilization, Larry C. Witte et al.,

Hemisphere Pub.Co., U.S.A., 1988.

3. Process Plant Design and Operation, Doug Scott and Frank Crawley Chem E., U.K., 1992.
4. Chemical Process Design, Robin Smith, McGraw-Hill Inc., U.S.A., 1995.
۵. تراژنامه انرژی ایران، وزارت نیرو، ۱۳۷۸.

(تاریخ دریافت مقاله: ۷۹/۱۲/۱۵)