هیأت داوران نشریهٔ این دوره

دکتر احمدپور، امین (شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی)
دکتر احمدی، امید (دانشگاه کردستان)
دکتر اکبری، علی (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر اللهیاری، سمیه (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر آذین، مهرداد (سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران)
دکتر باکری، غلامرضا (دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل)
دکتر بهشتی، محمدحسین (پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران)
دکتر جعفربیگی، احسان (دانشگاه ایلام)
دکتر حاتمیان، اشرف السادات (دانشگاه تهران)
دکتر روغنی ممقانی، حسین (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر سیار، زهرا (دانشگاه بناب)
دکتر شریعتی‌نیا، زهرا (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)
دکتر شریفی، حکیمه (دانشگاه یاسوج)
دکتر عابدینی، رضا (دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل)
دکتر عباسی سورکی، بهروز (دانشگاه گیلان)
دکتر عزیزپور، هدایت (دانشگاه تهران)
دکتر علمداری، امین (دانشگاه ارومیه)
دکتر فضائلی‌پور، محمدحسن (دانشگاه یزد)
دکتر قائمی، احد (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر قربانی، محسن (دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل)
دکتر محمدی، تورج (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر محمدی، محسن (دانشگاه صنعتی اصفهان)
دکتر مقدم دیمه، حمید (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
دکتر موحدی‌راد، سلمان (دانشگاه علم و صنعت ایران)
دکتر نانواکناری، سارا (دانشگاه تربیت مدرس)
دکتر نصیرپوری، فرزاد (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر واعظی، محمدجواد (دانشگاه صنعتی سهند)

سخن سردبیر

ممیزی فرایند: گذار از چالش‌ها به فرصت‌های صنعتی

علی محبی
استاد دانشگاه شهیدباهنر کرمان

صنایع شیمیایی و معدنی کشور در سال‌های اخیر با چالش‌های متعددی، ازجمله افزایش هزینه‌های تولید، تحریم‌های فناوری و الزامات سخت‌گیرانهٔ زیست‌محیطی روبه‌رو بوده‌اند. در این‌میان، ممیزی فرایند به‌عنوان راه‌کاری علمی و نظام‌مند، می‌تواند با شناسایی دقیق نقاط ضعف و ارائهٔ راه‌کارهای مهندسی، گامی بلند در جهت ارتقای بهره‌وری بردارد. مطالعهٔ موردی در یک واحد پالایش الکتریکی مس کشور که به‌دست نگارندهٔ این وجیزه به‌عنوان مجری انجام‌شده‌است، نشان‌می‌دهد که چگونه یک ممیزی جامع می‌تواند مشکلات کیفی محصول را کاهش دهد و در مصرف انرژی و مواد صرفه‌جویی شود.

ممیزی فرایند روشی سیستماتیک و مستند برای ارزیابی جامع عمل‌کرد یک واحد صنعتی از جنبه‌های فنی، عملیاتی، ایمنی، کیفی و زیست‌محیطی است که بااستفاده‌از روش‌های استاندارد، نقاط قوت و ضعف فرایند را شناسایی و راه‌کارهای بهبود ارائه‌می‌کند. بهبود یا بهینه‌سازی فرایند با ممیزی آن آغازمی‌شود. اگر کسی معتقدباشد که فضایی برای بهبود وجوددارد، برتری‌های ممیزی فرایند می‌تواند قابل توجه باشد و اغلب ازنظر بهبود، توان عملیاتی و کاهش هزینهٔ عملیاتی قابل اندازه‌گیری است. ممیزی رسمی فرایند به‌عنوان یک عمل‌کرد مهندسی شناخته‌شده هنوز در مراحل اولیه است. مدیریت می‌خواهدبداند که چگونه می‌تواند برتری‌های بالقوهٔ این روی‌کرد را کمّی کند. در این راستا، ممیزی فرایند امروزه در موقعیتی مشابه با کنترل فرایند در دههٔ ۱۹۷۰ قراردارد. ممیزی فرایند می‌تواند یک ابزار مدیریتی باشد که نقاط قوت و ضعف عملیات جاری را شناسایی‌می‌کند و نقشهٔ راه پیشرفت‌های آینده را ارائه‌می‌دهد. درواقع، ممیزی برای مدیریتی که به‌دنبال افزایش سودآوری است، باید اجباری باشد. ممیزی فرایند که به‌دست افراد خارج از مدیریت محلی انجام‌می‌شود، بررسی مستقل و بی‌طرفانه‌ای را از عمل‌کرد فعلی فرایند ارائه‌می‌دهد. خروجی ممیزی گزارشی است که مشاهدات و اغلب توصیه‌هایی برای اقدامات اصلاحی خاص ارائه‌می‌دهد. یک ممیزی به‌درستی برنامه‌ریزی‌شده و انجام‌شده باید فرایندی مثبت و سازنده باشد.

ممیزی فرایند با اهداف مختلفی انجام‌می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها شامل افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها است. این کار از راه شناسایی تلفات انرژی (مصرف غیربهینهٔ برق، آب و سوخت)، کاهش ضایعات تولید، استفادهٔ کارامد از مواد اولیه و بهینه‌سازی زمان توقف تجهیزات به‌منظور افزایش راندمان انجام‌می‌گیرد. یکی دیگر از اهداف کلیدی، تضمین کیفیت محصول است؛ ممیزی به کنترل انحرافات فرایندی که منجربه تولید محصول نامطلوب می‌شود، کمک‌می‌کند و اطمینان می‌دهد که استانداردهای کیفی مانند ISO ۹۰۰۱ رعایت‌می‌شوند. رعایت مقررات ایمنی و محیط زیست نیز از دلایل مهم انجام ممیزی است. با بررسی نقاط خطر، از حوادث کاری پیشگیری‌می‌شود و انطباق با قوانین ایمنی و محیط زیست تضمین‌می‌شود تا از جریمه‌های قانونی جلوگیری‌شود. علاوه‌بر این، ممیزی در نگهداری پیش‌گیرانهٔ تجهیزات نقش دارد و با تشخیص زودهنگام فرسودگی

ماشین‌آلات قبل از وقوع خرابی‌های جدی، امکان برنامه‌ریزی برای تعمیرات دوره‌ای به‌جای تعمیرات اضطراری پرهزینه را فراهم‌می‌کند. درنهایت، ممیزی به پاسخ‌گویی به ذی‌نفعان کمک‌می‌کند. با ارائهٔ گزارش‌های شفاف به مدیریت، سرمایه‌گذاران و مشتریان، تعهد سازمان به مسئولیت اجتماعی شرکتی و بهبود مستمر اثبات‌می‌شود. به‌طور کلی، ممیزی فرایند نه‌تنها به بهبود عمل‌کرد عملیاتی می‌پردازد، بلکه به‌عنوان ابزاری راهبردی برای دست‌یابی به تعالی سازمانی عمل‌می‌کند.

جلسات اولیه میان تیم ممیزی و صاحب‌کار و ممیزی‌شونده باید در محلی که قرار است ممیزی انجام‌شود، برگزارمی‌شود. در این جلسه، تیم ممیزی باید اطمینان حاصل‌کند که هدف(های) ممیزی ازطرف صاحب‌کار و ممیزی‌شونده به‌خوبی درک شده‌است. پس از آن، ممیزی‌کننده و تیم او، چه داخلی و چه خارجی، باید زمان لازم را برای جمع‌آوری اطلاعات در محل ممیزی صرف‌کنند. سپس، عملیات ممیزی باید به خارج از محل فرایند انتقال‌داده‌شود تا اختلال در عملیات جاری به حد اقل برسد. اگر ممیزی خاصی درحال انجام‌شدن است، باید اقدام به فعالیت‌هایی کرد که خارج از سایت انجام‌شود. حتی با یک ممیزی داخلی، ممکن‌است توصیه‌شود که تاآنجاکه ممکن‌است فعالیت به خارج از سایت منتقل‌شود. این سیستم، محیطی رسمی و بی‌طرفانه برای ممیزی ایجادمی‌کند تا هیچ سوگیری یا عامل پنهانی بر نتایج تأثیرنگذارد. ممیزی‌کننده و مشتری موظف هستند به کارکنان تحت ارزیابی نشان‌دهند که ممیزی نه‌تنها تهدید نیست، بلکه ابزاری برای یافتن راه حل‌های بهتر است. هدف ممیزی، کاهش نیروی کار یا پیداکردن مقصر برای عمل‌کرد ضعیف فرایند نیست، بلکه یافتن راه‌هایی است که کار اپراتور را ساده‌تر و کارامدتر کند یا عمل‌کرد کلی فرایند را بهبود بخشد. ممیزی فرایند باید به‌صورت دوره‌ای و هم‌چنین، در پاسخ به محرک‌های خاص انجام‌شود تا بهبود مستمر تضمین‌شود. ممیزی فرایند باید پیش‌گیرانه (برنامه‌ریزی‌شده) و واکنشی (مبتنی‌بر محرک) باشد. ممیزی‌های منظم از بحران‌ها جلوگیری‌می‌کنند، درحالی‌که ممیزی‌های اضطراری مشکلات حاد را حل‌می‌کنند. تناوب ممیزی براساس ریسک‌های صنعت تنظیم‌می‌شود؛ مثلاً کارخانه‌های داروسازی بیشتر از واحدهای بسته‌بندی ممیزی‌می‌شوند.

به‌عنوان مثال، درادامه چک‌لیست ممیزی تخصصی واحد پالایش الکتریکی مس، برای ارزیابی جامع واحدهای الکتروونینگ (Electrowinning) و الکتروریفاینینگ (Electrorefining) ارائه می‌شود. این ممیزی شامل شش حوزهٔ اصلی است:

۱) **ممیزی فرایند الکترولیز:** این بخش بر سه رکن اصلی متمرکز است؛ ابتدا، سلول‌های الکترولیتی ازنظر تراز بودن آندها و کاتدها، فاصلهٔ بین الکترودها، پدیدهٔ ندول‌زایی روی کاتدها، چگالی جریان الکتریکی و دمای الکترولیت بررسی‌می‌شوند. سپس، محلول الکترولیت از راه آنالیز غلظت مس، اسید سولفوریک و کلر، بررسی مواد افزودنی (مانند گلو و تیواوره) و نرخ تخریب آن‌ها، کنترل ناخالصی‌ها (آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، آهن) و بازرسی لجن‌های شناور، معلق و آندی ارزیابی‌می‌شود. درنهایت، هیدرودینامیک الکترولیت با بررسی دبی حجمی و یک‌نواختی جریان در سلول‌ها، بازرسی گرفتگی لوله‌های توزیع و درصورت لزوم، با شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی الگوی جریان تحلیل‌می‌شود.

۲) **ممیزی تجهیزات الکتریکی و کنترلی:** در این بخش، یک‌نواختی توزیع ولتاژ در سلول‌ها تست‌می‌شود، اتصال‌های کوتاه با روش‌های مانیتورینگ ولتاژ سل یا ترموگرافی (دوربین حرارتی) شناسایی و تجهیزاتی مانند اینورترها، رکتیفایرها و سنسورهای دما و غلظت کالیبره‌می‌شوند.

۳) **ممیزی انرژی و بهره‌وری:** هدف این ممیزی، محاسبهٔ شاخص مصرف انرژی (کیلووات ساعت به‌ازای هر تن کاتد تولیدی)، شناسایی اتلاف انرژی در سامانه‌های خنک‌کننده یا گرم‌کننده و اندازه‌گیری راندمان رکتیفایرها است. درنهایت، راه‌کارهایی برای کاهش مصرف، مانند بهینه‌سازی چگالی جریان، بازیابی حرارت و اعمال فناوری پینچ پیشنهادمی‌شود.

۴) **ممیزی کیفیت کاتد:** کیفیت محصول نهایی با بررسی سطح کاتدها (ناهمواری، تخلخل، ناخالصی‌های سطحی و توزیع ندول)، آنالیز ساختار بلوری با میکروسکوپ نوری و ثبت میزان قراضه‌گیری در دستگاه مربوطه سنجیده‌می‌شود.

۵) **ممیزی ایمنی و محیط زیست:** این بخش به کنترل انتشار گازهای اسیدی (مانند میست اسید سولفوریک)، بازرسی سامانه‌های جمع‌آوری و خنثی‌سازی گازها، بررسی مدیریت پسماندها (لجن آندی و محلول‌های اسیدی) و ارزیابی کفایت تجهیزات حفاظت فردی پرسنل می‌پردازد.

۶) **ممیزی نگهداری و تعمیرات:** آخرین بخش، بر بازرسی خطوط لوله و پمپ‌های انتقال الکترولیت، بررسی میزان خوردگی تجهیزات (مخازن و لوله‌های استیل) و برنامه‌ریزی برای تعویض به‌موقع کاتد بلنک‌ها براساس عمر مفید آن‌ها متمرکز است.

می‌توان این ممیزی‌ها را به‌صورت دوره‌ای (ماهانه) برای مواد افزودنی و اتصال کوتاه یا سالانه برای ممیزی جامع فرایند به‌کارگرفت. هم‌چنین، می‌توان از آن‌ها پس‌از مشاهدهٔ کاستی‌هایی مانند افزایش ناگهانی تعداد ندول یا افت کیفیت کاتد یا قبل از به‌راه‌اندازی پروژه‌های جدید- مثل نصب سلول های الکترولیز اضافی- بهره‌جست.