

## ایمنی در فرآیند حلقه گمشده در آموزش مهندسی شیمی

امیر فرخ زاد

مهندسین مشاور نارگان

**چکیده:** در این مقاله چهار نوع خطای انسانی با استفاده از سه سانحه از بدترین سوانح صنایع شیمیایی (فلیکس پورو - انگلستان مکزیکوسیتی - مکزیک و پوبال - هند) بررسی شده است و ثابت می شود که چگونه با آموزش های ایمنی تمام این سوانح قابل پیشگیری بودند. نگرش های متفاوت اتخاذ شده توسط متخصصان برای گنجاندن ایمنی در فرآیند در سرفصل آموزش مهندسی شیمی در دوره کارشناسی بازننگری شده است و مزایا و معایب آنها بررسی می شود. از طریق یک بررسی موردی روشی برای گنجانیدن ایمنی در سرفصل آموزش مهندسی شیمی در ایران همراه با نقاط قوت آن و فهرست دروس ارائه و توصیه می شود.

واژه های کلیدی: ایمنی، آموزش مهندسی، خطای انسانی

## ۱. مقدمه

با وجود اینکه ایمنی در فرآیند<sup>۱</sup> به قدمت مهندسی فرآیند است، تا اواخر دهه ۶۰ میلادی به شاخه‌ای مستقل مبدل نشد. در این زمان که نسل جدیدی از واحدها با دما و فشار عملیاتی بالاتر کار می‌کردند، آتش سوزی و انفجارهایی رخ دادند و باعث شوند که بخش صنعت درک کند که پیشگیری از سوانح محتاج به نگرشی سیستم دار و فنی مثل هر بخشی از طراحی و راهبری واحدهای صنعتی است و در نتیجه تاکید جدی بر ایمنی فرآیند آغاز شد. همچنین، مطلع شدن عموم مردم از این سوانح عامل محرک اصلی صنایع شیمیایی برای بهتر کردن سابقه ایمنی خود و دولت برای اعمال قوانین و مقررات جدی تر شد. در این مقاله، عوامل متعددی ارائه می‌شود. تا اهمیت گنجاندن ایمنی فرآیند در سر فصل آموزش مهندسی شیمی به خصوص در دوره کارشناسی را شفاف سازند.

## ۲. خطای انسانی<sup>۲</sup>

به نوعی می‌توان تمام سوانح را به خطاهای انسانی مرتبط کرد. اگر فردی - طراح، مدیر، اپراتور یا متصدی تعمیرات - کاری را متفاوت انجام می‌داد، سوانح رخ نمی‌دادند. برای پیشگیری از سوانح، بازبینی خطاهای انسانی ضروری است.

### عدم انعطاف پذیری و ندانستن

بعضی از خطاهای ناشی از آموزش یا دستورهای ضعیف است، فردی نمی‌دانسته است که چه باید بکند. این وظیفه مدیریت است که با آموزش خوب و دستورهای روشن عملیات را پیش ببرد و از به کارگیری دستورهایی که بیشتر برای تهرئه نویسنده است تا کمک به خواننده، اجتناب ورزد. با وجود تمام دستورالعمل‌ها، مشکلات جدیدی به وجود خواهند آمد. بنابراین، همگان به خصوص اپراتورها می‌باید برای انعطاف پذیری آموزش ببینند؛ یعنی توانایی تشخیص و تجزیه و تحلیل شرایط پیش بینی نشده را داشته باشند. در ضمن، اگر درک دستورالعمل سخت است، باید ساده شود.

### سرپیچی

علت بروز برخی از سوانح، سرپیچی از دستوری روشن است. شخص با مطلع بودن از دستور، با قصد و نیت قبلی بنا به دلیلی از انجام دادن کار سرپیچی می‌کند. دلایل دستورها باید در صورت امکان ارائه شوند. و اگر اجرای آنها بسیار سخت است، باید روشی ساده‌تر اتخاذ شود (اگر روش صحیح سخت و پیچیده باشد، همواره روش غلط استفاده می‌شود). همچنین، هراز چندگاهی باید پیروی صحیح دستورها کنترل شود.

### انتظار بیش از حد

برخی از سوانح بدین دلیل رخ می‌دهند که کار محول شده به فرد مورد نظر ماورای توانایی فیزیکی یا ذهنی وی یا حتی هر کس دیگری است و باید طراحی یا روش راهبری بهبود یابد.

### لغزش

نوع چهارم خطا معمول‌ترین نوع آن و لغزش آنی و لحظه‌ای است. این نوع خطا برای همگان رخ می‌دهد و پیشگیری از آن ممکن نیست. تذکر دادن به افراد مبنی بر دقت یا توجه بیشتر کاری را پیش نمی‌برد. تنها راه طراحی یا روش کار برای از بین بردن امکان بروز خطا یا حداقل کردن نتیجه سانحه است.

اگر قبول کنیم که ارزش یک عکس معادل صدها لغت است، اغراق نخواهد بود که اگر بگویم ارزش یک بررسی موردی معادل هزاران مثال نظری است. سه سانحه کلاسیک بحث شده در این مقاله؛ یعنی فیلکس بورو - انگلستان مکزیکوسیتی - مکزیک و پوپال - هند، هر کدام تأثیری جدی بر پیشگیری سوانح در صنایع شیمیایی داشتند. بنابراین؛ در این مقاله این سه سانحه برای اثبات مرتبط بودن تمام سوانح با یا خطای انسانی ارائه شده است و مشخص می‌شود که چگونه با قدری آموزش ایمنی می‌توانستیم در مرحله اول از بروز این سوانح جلوگیری کنیم.

۳. فلیکس بورو- انگلستان، ۱۹۷۴<sup>۱</sup>

قدری پس از ساعت پنج بعدظهر روز یکشنبه ژوئن ۱۹۷۴ در واحد تولید کاپرولاکتام شرکت ناپرو در نزدیکی فلیکس بورو انگلستان پس از شکست لوله موقت کنارگذر که دو ماه قبل حول راکتوری خراب نصب شده بود، بخارات سیکلو هگزان در بخش اکسیداسیون سیکلو هگزان آزاد شده و پس از مدت کوتاهی به وسیله یک منبع جرقه شعله ور گردید. انفجار به وجود آمده کل مجتمع را از بین برد و ۲۸ کشته؛ ۳۶ زخمی و صدها نفر با جراحات جزئی باقی گذاشت. در آن زمان، عمق فاجعه به حدی بود که تا مدت‌ها مردم، دولت و مطبوعات را راحت نگذاشت.

واحد تولید کاپرولاکتام بخشی از مجتمع تولید نایلون بود. در بخش اکسیداسیون سیکلو هگزان، مخلوطی از سیکو هگزاتون و سیلو هگزاتون (معروف به مخلوط کتون - الکل) از اکسید اسیون سیلو هگزان با هوا در شش راکتور سری تولید می‌شد. هر راکتور قدری از دیگری پایین‌تر قرار داشت تا به کمک نیروی ثقل مایع از راکتور یک به شماره شش از طریق لوله ۲۸ اینچ کوتاهی جریان یابد و در دو طرف این لوله کوتاه دو لرزه‌گیری حلزونی<sup>۲</sup> برای در نظر گرفتن اثر انبساط و انقباض نصب شده بود که در شرایط عملیاتی راکتورها ۱۵ و ۱۰ بار (افشار) حضورشان امری عادی بود. در ۲۷ مارس همان سال نشتی بخارات از محل عبور میله همزن راکتور شماره ۵ گزارش شد. در آن زمان، پاشیدن آب روی بخارات یا مخازن گرم امری معمولی بود و آب مصرفی از نزدیکترین محل تامین می‌شد. در فلیکس بورو از آب خنک کن مجتمع استفاده شد که به دلیل نیترات‌های موجود در آن دیواره فولادی راکتور ترک برداشت و برای تعمیرات از خط خارج شد. ترک برداشتن ناشی از نیترات‌ها در آن زمان برای مهندسان امری آشنا ولی برای بقیه مهندسان مواد امری ناآشنا بود. (مثالی از ندانستن). از آنجا که پاشیدن آب روی تجهیزات امری خارج از عملیات نرمال واحد است، بهتر بود که این کار با بررسی بیشتری صورت می‌گرفت. لوله کنارگذر ۲۰ اینچی برای اتصال راکتور ۴ به ۶ تهیه و در محل نصب شد. در آن زمان مهندس مکانیک و متخصصی برای طراحی این نوع لوله در واحد حضور نداشت (مهندس قبلی ترک خدمت کرده و جانشین وی هنوز منصوب نشده بود). افرادی که طراحی<sup>۳</sup> این لوله را بعهده داشتند، دارای انگیزه

۱. Flixborough-England

۲. Expansion Joint

۳. در این مورد به سختی می‌توان لغت طراحی را به کار برد، زیرا تنها کار انجام شده کشیدن شکل این لوله دارای زانویی با گچ به اندازه واقعی روی

ای قوی؛ یعنی راه اندازی سریع واحد و تجربه علمی بسیار بودند، ولی این افراد به این مسئله واقف نبودند که طراحی لوله‌ای با این قطر و شرایط عملیاتی آن چنین، تنها تخصص تعداد محدودی از مهندسان حرفه‌ای مکانیک است و نمی‌توان تقصیر را به گردن آنها انداخت، زیرا کار خواسته شده از آنها ماورای توانایی آنها بود (انتظار بیش از حد) و خود آنها نیز این مطلب را نمی‌دانستند (ندانستن). آنها نمی‌دانستند که چیزی را نمی‌دانند.

علت شکست لوله، طراحی غلط و تکیه دادن آن صرفاً به داربستی که در محل نصب شده بود، اعلام شد. باقی گذاشتن لرزه‌گیرهای حلزونی در دو طرف لوله باعث شد تا در فشار عملیاتی آنها حرکت کنند و لوله نیز بشکند. خروج فواره سیکلوهگزان با نقطه جوش C ۸۱ (سیکلوهگزان هیدروکربنی است با خواص فیزیکی بسیار مشابه بنزین) در دمای ۱۵۰، تبخیر ۵۰ تن از این ماده و تشکیل مخلوط انفجاری با هوا در نهایت، انفجار را به دنبال داشت. قدرت این انفجار معادل ۱۵ تا ۴۵ تن TNT تخمین زده شده است (قوی‌ترین انفجار در انگلستان پس از جنگ جهانی دوم). اگر انفجار در روزی بجز روز شنبه رخ می‌داد، تعداد کشته شدگان به مراتب بیشتر می‌بود. کل مجتمع با خاک یکسان شد و تمام کارکنان اتاق کنترل جان خود را از دست دادند. با وجود اینکه روستاهای نزدیک مجتمع حداقل یک کیلومتر تا آن فاصله داشتند، ۱۸۲۱ خانه و ۱۶۷ واحد تجاری صدمه دیدند. ضرر ناشی از این انفجار معادل ۶۳۵/۹ میلیون دلار (دلار سال ۱۹۹۷) تخمین زده شده است.

اگر تغییر انجام شده با نظارت عالی به دقت انجام می‌گرفت و صرفاً کاری سطحی برای کنترل و نظارت کار صورت نمی‌گرفت (سرپیچی)، این سانحه هیچگاه رخ نمی‌داد. در لحظه انفجار ۴۰۰ تن سیکلوهگزان تنها در بخش اکسیداسیون وجود داشت، زیرا درصد تبدیل در هر گذر تنها شش درصد بود. اگر مقدار کمتری از ماده در واحد موجود بود در نتیجه مقدار کمتری از آن به بیرون راه می‌یافت، شدت انفجار به این حد نمی‌بود؛ به عبارت دیگر چیزی که موجود نیست، نشست نمی‌کند. در آن زمان تغییر فرآیند یا کاهش موجودی<sup>۱</sup> در فلیکس بورو امکان نداشت، ولی حتی پس از آن اکثریت واحدهای ساخته شده هنوز از همان فرآیند استفاده می‌کنند. اگر تحقیق برای

توسعه فرآیندی ایمن تر در سال ۱۹۷۴ آغاز می‌شد، تا به حال به بار نشسته بود. (در آن زمان شرکتی این کار را آغاز کرد، ولی به علت تکمیل ظرفیت تولیدی و عدم نیاز به واحدهای جدید، این کار متوقف شد) بار دیگر در ده سال بعد، به علت وجود مواد واسطه بیش از حد در بوپال هند، سانحه‌ای دیگر جان بیش از ۲۵۰۰ نفر را گرفت. (عدم انعطاف پذیری)

#### ۴. مکزیکوسیتی - مکزیک، ۱۹۸۴<sup>۱</sup>

آتش سوزی و انفجار در واحد انفجار و پالایش و توزیع گاز مایع (LPG) در سن خوانیکو واقع در حومه مکزیکوسیتی، مکزیک در تاریخ ۱۹ نوامبر ۱۹۸۴ پس از سانحه در بوپال هند از بدترین حوادث تاریخ صنایع شیمیایی است. طبق آمار رسمی، ۵۴۲ نفر کشته و ۴۲۴۸ نفر مجروح شدند و بیش از ۱۰۰۰۰ نفر خانه خود را از دست دادند و همچنین ۲۰۰۰۰۰ نفر مجبور به ترک منطقه شدند، ولی آمار غیر رسمی به مراتب از این مقادیر بیشتر است. سانحه با شکست خط لوله ۸ اینچ LPG آغاز شد. دلیل این شکست دقیقاً مشخص نیست، ولی طبق گزارشی یکی از مخازن بیش از پر شد و فشار خط ورودی آن بالا رفت. مشخص نیست که چرا شیر اطمینان مخزن باز نشد، ولی ابر بخارات گازی فضایی معادل ۱۵۰ متر در ۲۰۰ متر را پوشانید و پس از ۵ الی ۱۰ دقیقه با جرقه یکی از مشعل‌ها شعله ور شد. ابر بخارات گازی به سرعت سوخته شد و از بین رفت، ولی شعله ناشی از آن در نزدیکی لوله شکسته باقی ماند. این شعله مخزن کروی LPG را گرم کرد که در نهایت مخزن BLEVE<sup>۲</sup> کرد. در کل چهار مخزن کروی و ۱۵ مخزن استوانه‌ای در عرض یک ساعت و نیم بعد BLEVE کردند به دلیل قدرت انفجار، بعضی از این مخازن ۱۲۰۰ متر دورتر از مجتمع پایین آمدند. زیان مالی ناشی از این سانحه در حدود ۳۱/۳ میلیون دلار تخمین زده شده است (دلار ۱۹۹۷).

اکثریت کشته شدگان و مجروحان مردمانی بودند که در حلی آباد نزدیک مجتمع زندگی می‌کردند. در زمان ساخته شدن مجتمع، نزدیکترین منزل مسکونی تنها ۳۶۰ متر با حصار مجتمع فاصله داشت و به آنها اجازه داده شده بود تا در طول سالها حتی به ۱۳۰ متری مجتمع نزدیک

۱. Mexico city-Mexico

۲. انفجار ناشی از تبخیر و افزایش حجم مایع جوشان Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion

شوند (سرپیچی). با وجود جدید بودن اکثر بخش‌های مجتمع (بعضی از بخش‌ها حدود ۲۰ سال قدمت داشتند)، اکثریت توصیه‌های مندرج در گزارشی چاپ شده در سال ۱۹۷۰ پس از سانحه‌ای بسیار شبیه در فیزن<sup>۱</sup> فرانسه در ۱۹۶۶ (زیان مالی سانحه = ۸۷ میلیون [دلار ۱۹۹۷]).

در طراحی در نظر گرفته نشده بود (سرپیچی یا ندانستن). برای مثال، در منطقه مخازن هیچ شناساگرگازی نصب نشده بود و سیستم خنک کننده سطح مخازن با آب کافی نبود یا اینکه عمل نکرد، عایق کاری برای محافظت از آتش بسیار ضعیف بود و در محوطه زیر مخازن به علت عدم شیب دار نبودن LPG تجمع کرد که این مسئله حداکثر زیان را وارد نمود. حداقل فاصله توصیه شده منازل مسکونی تا چنین مجتمعی ۶۰۰ متر است و حتی فاصله ۳۶۰ متر زمان ساخت یا ۱۳۰ متر زمان حادثه مقادیری غیر قابل وصول هستند.

## ۵. بوپال - هند، ۱۹۸۴<sup>۲</sup>

دقیقاً بعد از نیمه شب سوم دسامبر ۱۹۸۴ در مجتمع تولید سم کشاورزی در بوپال حدود ۴۰ تن متیل ایزوسیانات (MIC) در اتمسفر آزاد شد و این حادثه را به فجیع‌ترین حادثه صنعتی تاریخ مبدل کرد. بیش از ۲۵۰۰ نفر جان خود را از دست دادند و ۱۰۰۰۰۰ نفر زخمی و معلول شدند. صدمات وارد شده به احشام و محصولات کشاورزی بسیار زیاد بود و تأثیرات دراز مدت آن هنوز در حال بررسی است. طبق تحقیق کمیسیون پزشکی بین‌المللی تا ۱۹۹۴ بیش از ۵۰۰۰۰ مورد معلولیت کامل یا جزئی گزارش شده بود. تأثیر اقتصادی حادثه بر شرکت‌های چند ملیتی امریکایی و اروپایی غیر قابل وصف است، زیرا شرکت مادر یونیون کارباید هند (مالک مجتمع)، شرکت یونیون کارباید مستقر در آمریکا بود. بسیاری از قوانین ایمنی و محیط زیستی بین‌المللی و امریکایی بعد از این سانحه تدوین و به اجرا گذاشته شدند.

این مجتمع در حدود ۳ الی ۴ کیلومتر با مرکز شهر بوپال با جمعیتی حدود ۹۰۰۰۰۰ نفر فاصله داشت و حدود ۶۳۰ نفر در آن شاغل بودند. نزدیک بودن بیش از حد منازل به حدی بود که تعدادی از آنها حتی چسبیده به محدوده مجتمع ساخته شده بودند. به نظر می‌رسد حتی پس از سانحه‌ای که در مکزیکو سیتی رخ داد، هیچ کدام از مسئولان در این مورد عکس‌العملی از خود

نشان ندادند (سریبچی و عدم انعطاف پذیری).

این مجتمع در سال ۱۹۶۹ آغاز به تولید سم سوین<sup>۱</sup> کرد که MIC به عنوان ماده واسطه در تولید آن به کار گرفته می‌شد. در ده سال اول عمر کارخانه MIC از یک مجتمع یونیون کار باید در امریکا به بوپال فرستاده می‌شد، ولی در اواخر دهه ۷۰، واحد تولید MIC بر مبنای طراحی واحد امریکایی به مجتمع بوپال اضافه شد.

MIC تولید شده در دو مخزن از سه مخزن ۱۵۰۰۰ گالنی ذخیره می‌شد و تانک سوم همواره برای مواقع اضطراری خالی نگه داشته می‌شد. این مخازن نیمه مدفون و دارای شیرهای اطمینان متصل به برج شستشو با هیدروکسید سدیم<sup>۲</sup> و در نهایت مشعل<sup>۳</sup> بودند.

طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۲، واحد تولید MIC در هند توسط متخصصان ایمنی شرکت در امریکا مورد بازرسی قرار گرفت و احتمال بروز حادثه به مدیران هندی گوشزد شده بود.

در ساعت ۳:۱۱ شب دوم دسامبر ۱۹۸۴ کارگران در مجتمع بوپال نشت MIC را احساس و به رئیس شیفت گزارش کردند. در ساعت ۴۵:۱۲ بامداد سوم دسامبر، افزایش شدید فشار در یکی از مخازن MIC مشاهده شد که منجر به باز کردن یکی از شیرهای اطمینان گردید و MIC عبوری از سیستم پیشگیری به اتمسفر منتقل شد.

صد و چهل و پنج مورد شکایت دولت هند به نمایندگی از بیش از ۲۰۰۰۰۰ شاکتی از شرکت یونیون کار باید امریکا سال‌ها به طول انجامید تا در اواخر دهه ۸۰، دادگاه تصمیم گرفت که ۴۷۰ میلیون دلار خسارت به دولت هند پرداخته شود. (بیشترین خسارت پرداخت شده در تاریخ صنعت). طی روند دادگاه مشخص شد که نشت MIC ناشی از افزایش شدید فشار در یکی از مخازن به دلیل واکنش غیر قابل کنترل آن با آب بوده است. رسیدن آب به این مخازن و شروع واکنش خود موضوع مهمی بود که به ارائه چندین نظریه منجر شد که مهم‌ترین آنها اضافه کردن آب با قصد و نیت قبلی توسط یکی از کارکنان ناراضی مجتمع برای خراب کردن این محصول واسطه به عنوان اعتراض، می‌باشد (مثالی از ندانستن؛ اگر این کارگر می‌دانست که نتیجه کار وی این چنین خواهد بود، راه دیگری برای اعتراض خود پیدا می‌کرد).



موارد زیر همگی مثال هایی از سرپیچی، عدم انعطاف پذیری و ندانستن در این حادثه به شمار می روند:

۱. دما و فشار سنج های بخش های مختلف واحد به خصوص مخازن نگهداری MIC به قدری نامطمئن بودند که اپراتورها به علایم اولیه نشان داده شده توسط آنها توجهی نکردند.
۲. تجهیزات تبریدی برای نگهداری MIC در دمای کم (و در نتیجه محافظت از افزایش دما و انبساط ناشی از واکنش با ناخالصی) مدتی بود که از سرویس خارج شده بودند.
۳. برج شستشو کننده گاز که برای خنثی سازی هر گونه نشتی MIC طراحی شده بود، برای تعمیر خارج از سرویس قرار داشت. تحقیقات پس از حادثه مشخص کرد که حتی اگر این برج فعال بود، حداکثر باری که تحمل می کرد، تنها یک چهارم مقدار حادثه می بود.
۴. مشعل نیز همچون برج شستشو کننده گاز تنها برای یک چهارم بار حقیقی سانحه طراحی شده بود و در زمان حادثه به علت انتظار برای تعویض یک قطعه خورد شده، در سرویس نبود.
۵. پرده آب<sup>۱</sup> که برای خنثی سازی نهایی هر گونه نشتی از مشعل طراحی شده بود، برای رسیدن به بالای مشعل بسیار کوتاه بود.
۶. آژیر دمای بالای مخزن، علامتی به اتاق کنترل ارسال نکرد.
۷. تانک شماره ۶۱۰ برای ذخیره کردن MIC بیش از حد مجاز پر شده بود.
۸. مخزن اضافی که فرا بود خالی باشد تا بتوان در مواقع اضطراری از آن استفاده شود نیز پر از MIC بود.

به نظر می رسد نکته مهمی که در سانحه فلیکس بورو در چندین سال قبل با بهایی گران آموخته شد (چیزی که نداری نشت نمی کند)، در بوپال کاملاً به فراموشی سپرده شد بود.

با بررسی این سوانح به راحتی می توان اهمیت آموزش ایمنی برای همگان - از مدیریت عالی تا کارگران ساده - را درک کرد. همچنین، مهندسان هم برای طراحی و هم برای راهبری صنایع شیمیایی نیازی مبرم به ایمنی دارند و باید همواره به خاطر داشته باشند که پرسنل همیشه دستورها را پیروی نمی کنند و امکان خطا و لغزش برای همگان وجود دارد و تحت شرایط خاص همگان همیشه منطقی فکر نمی کنند. اگر مهندسان در آموزش های رسمی خود با ایمنی آشنا شوند و

همواره آن را مد نظر داشته باشند، ایمنی به طبیعت دوم آنها مبدل خواهد شد. این کار میسر نیست، مگر با تکمیل مثلث ایمنی دانشجو، استاد و صنعت. با وجود این گنجاندن درس ایمنی در سرفصل ۴-۵ ساله دانشگاه کاری سخت است که احتمال افزایش سنوات تحصیل را نیز در بر خواهد داشت. دو استاد دانشگاه آمریکایی به نام‌های آنت مک کی راسینگول<sup>۱</sup> و ان بروس هانس<sup>۲</sup> تحقیقات وسیعی را برای گنجاندن مبحث ایمنی در دانشگاه انجام داده و سه روش برای این کار پیشنهاد کرده‌اند.

یک پیشنهاد، گنجاندن یک درس مستقل در دوره کارشناسی برای تمام رشته‌های مهندسی بود. این کار در مرحله اول با شکست مواجه شد، زیرا کسب موافقت از تمام ۱۹ گروه اداره تأیید مهندسی و تکنولوژی (ABET)<sup>۳</sup> (بانی تأیید مدارک و برنامه گروه‌های مهندسی دانشگاه‌های آمریکا) ممکن نبود. طبق نظر ریاست دانشکده‌های مهندسی، زمان متوسط لازم برای فارغ التحصیلی دانشجویان مهندسی بین ۴/۵ الی ۴/۸ سال است که با اضافه کردن درس ایمنی این زمان افزایش خواهد یافت. از طرفی، تدوین عناوین درسی مناسب برای تمام رشته‌های مهندسی تقریباً کاری غیر ممکن است و چنین درس عمومی و بسیار توخالی خواهد بود، زیرا مفهوم ایمنی برای هر رشته مهندسی متفاوت است. همچنین، مدل آموزشی به کارگیری - تکرار<sup>۴</sup> در این پیشنهاد نقض می‌شود: به کارگیری برای انجام شدن بهتر کار و تکرار برای مبدل ساختن آن به طبیعت دوم (که در این پیشنهاد تکراری نداریم).

راه حل پیشنهادی دوم، تدوین درسی انتخابی است که این روش در دانشگاه‌های PennState و Purdue به طور آزمایشی انجام شد. با وجود تأیید ABET ایراد وارد شده به این روش آن است که تنها بخشی از دانشجویان با ایمنی آشنا می‌شوند، ولی این درس نقطه آغازین خوبی برای آشنا کردن مهندسان با ایمنی است.

پیشنهاد سوم، یکی کردن ایمنی با بقیه کلاس‌های دانشجویان است تا مسائل ایمنی به تمام دانشجویان برسد. با وجود اینکه دقت و عمق این نوع آموزش برای صنعت مناسب نیست، ولی

۱. Annette McKay Rossigonal

۲. N. Bruce Hanes

۳. Accreditation Board for Engineering & Technology

۴. Practice-Repetition

مورد تأیید ABET و اکثر استادان است. این روش در دانشگاه Tufts به کار گرفته شد و میزان موفقیت آن از طریق پرسشنامه‌ای از استادان و ۳۰۱ دانشجو پنج دانشکده مهندسی درگیر طرح، نظر خواهی شد نتایج این تحقیق نشان داد که همگی شرکت کنندگان معتقد هستند که ایمنی مبحثی حیاتی برای دوره کارشناسی است. نکته با ارزش دیگر این است که تمام استادان اعلام کردند که مطالب آموزشی مناسبی برای ایمنی مهندسی در دسترس نیست، به کارگیری این روش مزیت دیگری نیز داشت و آن این است که دانشجویان با موارد متنوعی از ایمنی آشنا شدند و به عمق اهمیت مسئله پی بردند.

از آنجا که هر مهندس شیمی دروس مختلفی را برای طراحی واحدهای تولیدی چندین میلیون دلاری می‌آموزد، ایمنی این تجهیزات گران قیمت و کارکنان آن نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. آیا مجتمع چند میلیون دلاری را طراحی می‌کنیم تا پس از مدتی شاهد از بین رفتن آن باشیم؟ آیا یک فرایند ابتدا باید طراحی و سپس توسط مهندس ایمنی کمترل شود؟ یا اینکه باید مباحث ایمنی در حین طراحی لحاظ شوند؟

مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی (CCPS) انجمن مهندسين شیمی امریکا (AIChE) کمیته‌ای به نام ایمنی و آموزش مهندسی شیمی (SACHE) را تشکیل داده است که خود این کمیته دارای بخشی برای آموزش در دوره کارشناسی است. هدف این کمیته تأمین بودجه و مطالب کمک آموزشی برای آموزش اصول با مثال‌های خوب و کمک کردن به استادان برای تهیه تمرین‌های مناسب است.

برنامه SACHE در سال ۱۹۹۲ آغاز شد و توسط مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی انجمن مهندسين شیمی امریکا و دانشکده‌های مهندسی شیمی آن کشور حمایت می‌شود و برای گنجاندن ایمنی در آموزش در دوره کارشناسی مهندسی شیمی از پیشنهاد سوم راسینگول و هانس استفاده می‌کند.

در این برنامه تا ژانویه ۲۰۰۱، ۱۱۳ دانشکده و گروه مهندسی شیمی عضویت دارند. هزینه عضویت داخلی (امریکا و کانادا) سالانه ۳۰۰ دلار و بین‌المللی ۴۲۰ دلار است و به نسبت دو به یک به وسیله CCPS بودجه این برنامه تا سقف ۳۰۰۰۰ دلار در سال بالا می‌رود. اعضا در تهیه مطالب آموزشی کمک می‌کنند و آن را به رایگان در اختیار بقیه اعضا قرار می‌دهند. این مطالب آموزشی شامل جزوات، اسلاید و نوارهای ویدیویی آموزشی، مجموعه سئوالات بر مبنای مباحث

فنی یا مطالعات موردی است. هر سال اعضا مجموعه‌ای جدید را به ارزش ۱۰۰۰ دلار (بیشتر از ارزش حق عضویت سالانه) دریافت می‌کنند و اعضا جدید با پرداخت حق عضویت سال‌های قبل مطالب آموزشی آن سال‌ها را نیز می‌توانند دریافت کنند.

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

پیشنهاد می‌شود که با نظارت وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، کمیته‌ای درانجمن مهندسی شیمی ایران با دو بخش مجزا برای دوره کارشناسی و تحصیلات تکمیلی تشکیل شود. در هر بخش از این کمیته، اعضای از دانشگاه و صنعت حضور داشته که هر کدام در قسمتی خاص از ایمنی فرایند تخصص داشته باشند تا درباره تخصص خود به استادان دانشگاه‌های عضو این کمیته آموزش دهند و مطالب آموزشی برای به کارگیری در دانشگاه‌ها رانتهیه کنند.

هر دانشگاه عضو یکی از اعضای هیئت علمی رشته مهندسی شیمی خود را به عنوان رابط با این کمیته تعیین کند و هر ساله در حاشیه کنگره ملی مهندسی شیمی تمام این استادان گرد هم آیند تا به تبادل دیدگاه و نقد و بررسی برنامه سال گذشته بپردازند.

بدین صورت، استادی که به تدریس سینتیک و راکتور مشغول است، مسائل ایمنی مرتبط به درس خود مثل واکنش‌های سریع و غیر قابل کنترل و آثار آن<sup>۱</sup>، استاد طرح و اقتصاد مهندسی مبحث PHA) Process Hazard Analysis) مثل HAZOP و استاد مکانیک سیالات مباحث مربوط به Prssure Safety Vale و جریان دو فاز در آنها را در کلاس‌های خود آموزش دهند، که در این صورت، همگی دانشجویان به صورت وسیع با این مباحث آشنا می‌شوند.

## ۱.۶. مباحث پیشنهادی

۱. روش‌های ارزشیابی ریسک؛
۲. روش‌های ارزشیابی و تجزیه و تحلیل مخاطرات فرایند؛
۳. تعمیرات و مجوزهای تعمیرات ایمن‌تر؛
۴. مخاطرات مواد شیمیایی؛

۵. مدیریت ایمنی فرایند؛
  ۶. بازرسی و کنترل ایمنی؛
  ۷. روش‌های گزارش و بررسی حوادث؛
  ۸. طراحی ایمن فرایند؛
  ۹. مدیریت اعمال تغییرات در واحد؛
  ۱۰. آتش و مایعات قابل اشتعال؛
  ۱۱. کنترل واکنش‌های شیمیایی گرمازا؛
  ۱۲. انفجار بخارات و گرد و غبار؛
  ۱۳. درس گرفتن از سوانح قبلی؛
  ۱۴. مخاطرات برق؛
  ۱۵. عملیات ایمن برای گازهای مایع قابل اشتعال؛
  ۱۶. خطای انسانی.
- ریز موضوعات هر عنوان درسی، اسلایدها و فهرست مراجع در صورت درخواست ارائه خواهند شد.

(تاریخ دریافت مقاله: ۷۹/۱۲/۱۵)