

ضرورت توجه به طراحی محصول در کنار طراحی فرایند در آموزش مهندسی شیمی

محمدرضا شعبانی

تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده توسعه فناوری‌های پالایش

پیام نگار: shabanimr@ripi.ir

چکیده

در سال‌های اخیر صنایع فرایندهای شیمیایی با چالش‌های مهم فنی، اقتصادی و اجتماعی روبرو شده است که باعث تغییرات قابل توجه در طبیعت محصولات، استراتژی‌ها، مهارت و دانش مهندسان شیمی شده است. همه اینها دست به دست هم داده‌اند تا تفکر ایجاد یک شاخه جدید از مهندسی شیمی به نام طراحی محصولات شیمیایی در ذهن‌ها ایجاد شود. سروسامان دادن به وضع اشتغال مهندسان شیمی با ایجاد کسب و کارهای کوچک با ریسک پائین از مزایای توسعه این شاخه در کشور است. روش کلی طراحی محصولات شیمیایی به همراه ویژگی‌ها و معرفی دو نمونه از مطالعه موردی در این مقاله ارائه شده است.

کلمات کلیدی: طراحی محصولات شیمیایی، طراحی فرایندهای شیمیایی، آموزش مهندسی شیمی

۱- مقدمه

داشت لیکن نیاز بازار به موادی با ویژگی‌های خاص و تمایل به راه‌اندازی کسب و کارهای کوچک، جامعه دانشگاهی را بر می‌انگیزاند تا نسبت به تعریف جایگاه طراحی محصول، بیشتر اهتمام ورزند. مهندسان چیزهای مفیدی برای جامعه می‌سازند و مهندسان شیمی این کار را با شیمی انجام می‌دهند. در این رابطه دو موضوع اصلی وجود دارد: اینکه چه چیزی باید با مهندسی محصول بسازیم و اینکه چگونه آن را بسازیم با مهندسی فرایند پاسخ داده می‌شود. در مهندسی فرایند تمرکز بر روی تولید بهره‌ور، کاهش هزینه و ایمنی بالاست در حالیکه محصولات جدید برای جوان کردن صنعت و برای زندگی بهتر مورد نیاز هستند [۱]. طراحی محصولات شیمیایی یک پاسخ به تغییرات بزرگ در صنایع

نگاه کلی موجود در آموزش رشته‌های مهندسی شیمی کشور بر پایه طراحی فرایند بنا نهاده شده است. یعنی طراحی واحدهایی که بتوان به وسیله آنها به تولید انبوه مواد اقدام کرد. با ورود جهان به عرصه صنعتی شدن و تمایل به تولید انبوه مواد، نحوه تدریس در دانشگاه‌ها نیز تحت تاثیر آن قرار گرفته است. اما در دهه‌های اخیر رویکرد ویژه‌ای در مورد تولید مواد خاص^۱ بوجود آمده است. مواد خاص مواد با ارزش بالایی هستند که در مقیاس کم تولید می‌شوند. این رویکرد باعث بوجود آمدن کسب و کارهای پرسود و کم ریسک شده است و هر چند تولید مواد به شکل انبوه همچنان ادامه خواهد

1. Special Products

فارغ التحصیلان رشته مهندسی شیمی در کسب و کارهای مربوط به مواد شیمیایی انبوه مشغول به کار شده اند و تعداد معدودی از آنها در زمینه طراحی محصول یا توسعه محصول به کار گرفته شده‌اند و الباقی نیز در سایر زمینه‌ها مانند مهندسی مشاور یا محیط زیست اشتغال یافته‌اند.

اما در سال‌های اخیر، توزیع مشاغل، کاملاً تغییر کرده است. بیش از نیمی از فارغ التحصیلان مهندسی شیمی در زمینه محصولات کار می‌کنند. این محصولات عموماً در زمینه‌های دارویی، پوشش‌ها، چسب و مواد شیمیایی ویژه می‌باشند. کمتر از ۲۵٪ از فارغ التحصیلان بر روی مواد شیمیایی انبوه کار می‌کنند. همچنین تعداد نفراتی که در بخش مهندسی مشاور کار می‌کنند بطور قابل توجهی افزایش یافته است. این رویکرد غیر منتظره مهندسان شیمی به محصولات باعث تغییراتی در آنچه مهندسان شیمی انجام می‌دهند شده است. در گذشته مهندسان شیمی فکرشان را محدود به مهندسی واکنش و عملیات واحد نموده و منتظر بخش بازاریابی بودند که به آنها بگویند چه ماده شیمیایی و به چه مقداری مورد نیاز است. ولی اکنون چنین جداسازی ذهنی چندان ممکن نیست. اکنون انتظار می‌رود یک تیم متشکل از بازاریاب، شیمیست سنتزکننده و مهندسی عملیات برای طراحی یک محصول اقدام نمایند [۲].

۴- دسته‌بندی محصولات شیمیایی

در یک دسته‌بندی انجام شده، محصولات شیمیایی را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: محصولات شیمیایی پایه، محصولات صنعتی و محصولات شکل داده شده برای مشتری^۱. مواد شیمیایی پایه محصولاتی هستند که از منابع طبیعی ساخته می‌شوند. معمولاً این مواد در حجم‌های وسیع تولید می‌شوند مانند اتیلن، استون، وینیل کلرید، دی‌فلوئورواتیلن و دی‌اتیل کتون و شامل بیومواد نظیر مواد دارویی نیز می‌شوند. همچنین شامل مواد بسیاری مانند پلی‌اتیلن، پلی‌استایرن و پلی‌وینیل کلرید هستند. این دسته از مواد دارای ساختار مولکولی مشخص و شناخته شده هستند و معمولاً مستقیماً به مصرف‌کننده نهایی فروخته نمی‌شوند. اما محصولات شیمیایی صنعتی موادی هستند که از محصولات پایه ساخته می‌شوند مانند انواع فیلم‌ها، الیاف بافته شده یا بافته نشده، کاغذ، کرم و چسب. در

شیمیایی است که در دهه‌های اخیر آغاز شده است. این تغییرات شامل یک جابجایی در صنعت از ساخت محصولات شیمیایی در سطح انبوه^۱ به سمت محصولات شیمیایی ویژه است. ساخت محصولات شیمیایی در سطح انبوه به وسیله روشهای کاملاً شناخته شده طراحی فرایند صورت می‌گیرد اما تولید محصولات ویژه نیازمند پایه‌گذاری روش‌های جدید طراحی محصول است [۲].

جدا از مسائل اقتصادی و نوآوری فروتنشسته موجود در بخش تولید انبوه مواد شیمیایی، وجود یک احساس ضرورت و اضطرار به ما می‌گوید که گویی این بخش به کمال توسعه رسیده است. محرک اصلی برای چنین احساسی، نیاز به ایجاد فرصت‌های شغلی جدید برای فارغ التحصیلان مهندسی شیمی است که آنها را وادار می‌کند علاوه بر بخش تولید انبوه مواد شیمیایی در بخش‌های دیگر صنعتی نظیر محصولات حفاظت فردی (بهداشتی و آرایشی)، غذایی، شوینده ها، پوشاک و نساجی، خانگی، پزشکی و بخش‌های صنعتی دیگر نیز ورود نمایند [۳].

در پاسخ به نیاز صنعت و برای کاربردی کردن اکتشافات و ایده‌های جدید لازم است تا مضامین علوم مهندسی شیمی همواره ثابت باشند [۵].

۲- آموزش طراحی محصولات شیمیایی در دانشگاه‌های جهان

شناسایی نیازها به منظور آموزش طراحی محصولات شیمیایی در دوره تحصیلی کارشناسی (لیسانس) توسط جامعه مهندسی شیمی شروع شده است. در سالهای اخیر تلاش‌های قابل توجهی برای آموزش این دوره صورت گرفته است. در حال حاضر تعدادی از دانشگاه‌ها دروس مربوط به آن را ارائه می‌دهند. جستجوی انجام شده نشان می‌دهد که در ۲۵ دانشکده مهندسی شیمی در سطح دنیا این دوره تدریس می‌شود و بیش از ۱۰۰ دانشکده نیز به نوعی در این زمینه درگیر هستند [۵]. به عنوان نمونه موفق می‌توان به دانشگاه کوئینزلند^۲ استرالیا اشاره کرد [۶].

۳- اشتغال فارغ التحصیلان مهندسی شیمی

براساس آمارهای موجود در سال ۱۹۷۵ حدود ۷۵٪ از

1. Bulk
2. Queensland

3. Configured Consumer Products

رقبا می‌باشد. لذا برای چنین محصولاتی عملاً بحث محاسبات اقتصادی و آنالیز سودآوری و بهینه سازی آنچنان که برای محصولات با تولید انبوه رایج است، چندان حائز اهمیت نیست [۴].

۶- کسب و کارهای کوچک و محصولات ویژه

با وجود اینکه بنگاه‌های کوچک و متوسط در کشورهای مختلف جهان دارای شباهتهای بسیاری هستند، اما نمی‌توان تعریف واحد و یکسانی از آنها به دست آورد. هر کشور با توجه به شرایط خاص خود تعریفی از این نوع کسب و کارها ارائه کرده است.

در ایران بر اساس تعریف وزارت صنایع و معادن (اسبق) و وزارت جهاد کشاورزی، بنگاه‌های کوچک و متوسط، واحدهای صنعتی و خدماتی (شهری و روستایی) هستند که کمتر از ۵۰ نفر کارگر دارند. وزارت تعاون نیز بر حسب مورد، تعاریف وزارت صنایع و معادن و مرکز آمار ایران را در مورد این صنایع بکار می‌برد. مرکز آمار ایران کسب و کارها را به چهار گروه طبقه‌بندی کرده است؛ کسب و کارهای دارای (۱-۹) کارگر، (۱۰-۴۹) کارگر، (۵۰-۹۹) کارگر و بیش از ۱۰۰ کارگر. هر چند این طبقه‌بندی ظاهراً مشابه با تعاریف اتحادیه اروپا است ولی مرکز آمار ایران فقط کسب و کارهای کمتر از ۱۰ نفر نیروی کار را بنگاه‌های کوچک و متوسط محسوب می‌کند و سایر کسب و کارها را کارخانجات صنعتی بزرگ قلمداد می‌کند. بانک مرکزی ایران نیز کسب و کارهای زیر ۱۰۰ نفر نیروی کار را به عنوان بنگاه‌های کوچک و متوسط تلقی می‌کند. بنگاه‌های کوچک و متوسط در اتحادیه اروپا به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

۱. بنگاه‌های خرد: (۱-۹) نفر نیروی کار

۲. بنگاه‌های کوچک: (۱۰-۴۹) نفر نیروی کار

۳. بنگاه‌های متوسط: (۵۰-۲۴۹) نفر نیروی کار

در آمریکا کسب و کارهایی را که کمتر از ۵۰۰ نفر پرسنل داشته باشند شرکت کوچک می‌نامند [۷].

البته پارامترهای دیگری نظیر میزان سرمایه‌گذاری یا میزان درآمد سالانه نیز می‌توانند در تعریف این شرکت‌ها به کار آیند. ولی نکته مهم، سقف محدود سرمایه‌گذاری مورد نیاز می‌باشد.

اگر چه شاید ابتدای ورود جهان به عرصه صنعتی شدن، با کسب و کارهای کوچک آغاز شده است ولی طولی نکشید که مفهوم صنعت

حالی که این دسته از مواد مانند محصولات پایه از طریق خواص ترموفیزیکی و خواص انتقالی مشخصه تعیین می‌شوند اما خواص دیگری مانند توزیع ذرات، خواص رئولوژیکی (سیالات غیر نیوتنی)، ریز ساختار^۱، خواص حسی (بو و لامسه)^۲ و خواص فیزیکی اهمیت بیشتری در برآوردن نیازهای مشتری دارند. این دسته از مواد نیز به مقدار معدودی مستقیماً توسط مشتریان خریداری می‌گردد. اما دسته سوم محصولات شیمیایی که محصولات شکل داده شده برای مشتری هستند از مواد پایه و صنعتی ساخته می‌شوند مانند: ادوات دیالیز، گرم‌کننده دست^۳، کارت‌ریج‌های اینک جت^۴، کاغذهای یادداشت با قابلیت چسبندگی مجدد، تجهیزات نمک‌زدایی خورشیدی، اسلایدهای شفاف، پارچه‌های جذب دارو، پیل‌های سوختی، مواد آرایشی و شوینده‌ها. بر خلاف مواد پایه و صنعتی این دسته از مواد مستقیماً^۵ به مشتریان فروخته می‌شوند. در بیشتر موارد این دسته محصولات از طریق خواص مشابه محصولات صنعتی، تعیین و مشخص می‌شوند و در بعضی موارد نوع آرایش سه بعدی آنها در برآوردن رضایت مشتریان بسیار مهم است [۴].

۵- مقایسه قیمت مواد

یکی از تفاوت‌های اصلی بین محصولات شیمیایی با تولید انبوه و محصولات شیمیایی خاص، قیمت آنهاست. همانطور که قبلاً گفته شد محصولات شیمیایی با تولید انبوه معمولاً در مقیاس‌های بسیار بزرگ تولید می‌شوند. اما قیمت محصولات خاص به مراتب بیشتر از قیمت محصولات شیمیایی با تولید انبوه می‌باشد. به عنوان مثال قیمت مواد پتروشیمیایی اگر در مرتبه حدود (۱-۲) دلار باشد، قیمت مواد شیمیایی خاص در مرتبه ۱۰۰ دلار است.

این اختلاف قیمت بسیار زیاد پتانسیل جدی برای ورود به عرصه طراحی محصولات خاص ایجاد کرده است. بر این اساس عرصه‌های بسیار وسیعی در طراحی و تولید مواد شیمیایی در پیش روی مهندسان شیمی قابل تصور است.

برای محصولاتی که با قیمت بالا به فروش می‌رسند، به دلیل وجود تقاضای زیاد و نبود رقابت و محدودیت تولید، چیزی که مهم است کاهش مدت طراحی و ساخت برای قبضه کردن بازار قبل از ورود

1. Microstructure
2. Sensorial
3. Hand Warmer
4. Ink Jet

سرعت ذوب شدن آن تصمیم بگیریم.

در مرحله دوم کلیه ایده‌هایی که ممکن است این نیازها را برآورده سازند بر روی کاغذ نوشته می‌شوند. تعداد زیادی ایده در قالب منطقی می‌تواند مطرح شود. این ایده‌ها می‌توانند هم از بارش افکار^۲ تولید گردند و یا از طریق قوانین سنتز مواد با استفاده از مفاهیم شیمی ترکیبی حاصل شوند. بعد از تعریف ایده‌ها نوبت غربال کردن آنها بر اساس قضاوت‌های موضوعی یا شیمیایی است و در اثر این غربالگری ممکن است تعداد قابل توجه ایده اولیه به یک لیست کوتاهی تبدیل شود. معمولاً کاهش تعداد ایده‌ها با ضریب ۱/۲۰ (یک بیستم) می‌باشد یعنی تقریباً از هر ۱۰۰ ایده فقط ۵ ایده باقی می‌ماند. در مرحله بعد باید یک یا دو ایده را که بهترین هستند برای کار بیشتر انتخاب کنیم. چنانچه مشخصات ایده‌های منتخب یکسان باشند، کار آسان خواهد بود زیرا براحتی می‌توان یکی را انتخاب کرد ولی معمولاً چنین نیست. به عنوان مثال ممکن است با یک ایده ای مواجه باشیم که کار خواهد کرد ولی پُرخرج است در عوض ایده رقیب ممکن است کم‌خرج باشد ولی احتمال کار نکردن آن وجود دارد. در چنین شرایطی، انتخاب بین این ایده‌ها از طریق مدیریت ریسک انجام خواهد شد.

در نهایت باید نمونه‌هایی از محصولات ممکن را بسازیم و تخمینی از قیمت تمام شده آن داشته باشیم. برعکس تولید انبوه که در آن با تجهیزاتی سروکار داریم که بصورت پیوسته کار می‌کنند در طراحی محصول معمولاً با تجهیزات عمومی مواجه هستیم که بصورت ناپیوسته کار می‌کنند [۹-۲۰].

۸- نمونه‌هایی از طراحی محصول شیمیایی

در این قسمت دو نمونه از طراحی محصول شیمیایی به منظور آشنایی با فرایند طراحی محصول و ارتباط آن با طراحی فرایند ارائه می‌گردد.

۸-۱ طراحی خنک‌کننده نوشیدنی قابل حمل

در نمونه اول، یک پروژه دانشجویی درس طراحی محصول در دانشگاه کویمبرا^۳ از کشور پرتغال در این مقاله ارائه می‌شود [۱۰]. موضوع این پروژه، طراحی "خنک‌کننده نوشیدنی قابل حمل"

با تولید در مقیاس انبوه بمدت چند دهه عجین شد و اصولاً وقتی نام صنعت به گوش می‌رسد مفهوم کارخانجات بسیار بزرگ با تولیدات انبوه به ذهن خطور می‌کند. اما چرخش بازار کسب و کار چنان بوده است که مجدداً در دهه‌های اخیر رویکرد به سمت کسب و کارهای کوچک را نشان می‌دهد. یکی از شاخصه‌های اصلی کسب و کارهای کوچک محدودیت در میزان منابع مورد استفاده است و هدف این است که با حداقل سرمایه گذاری انجام شده حداکثر سوددهی عاید شود. تولید مواد ویژه به طور عام و مواد شیمیایی به طور خاص که دارای ارزش افزوده بالا می‌باشند می‌تواند به عنوان یکی از مهمترین مباحث در توسعه کسب و کارهای کوچک یا متوسط مدنظر قرار گیرد. قیمت بالای این مواد به همراه فرایند ساده تولید که معمولاً به صورت ناپیوسته می‌باشد و مقیاس پائین تولید از جاذبه‌های قابل توجه برای رونق کسب و کارهای کوچک در صنایع شیمیایی است.

۷- فرایند طراحی محصول

فرایند طراحی محصول از ۴ مرحله اساسی زیر تشکیل می‌شود:

۱-۷ نیاز

محصول مورد نظر چه نیازی را مرتفع می‌سازد.

۲-۷ ایده

چند تا محصول مختلف می‌تواند این نیاز را برآورده نمایند.

۳-۷ انتخاب

کدام ایده یا محصول از مرحله ۲ بهترین است؟

۴-۷ ساخت

چگونه می‌توان نمونه محصول را برای آزمون ساخت.

چهار مرحله فوق مراحل کلیدی در طراحی محصولات شیمیایی به حساب می‌آیند.

در ابتدا و برای مشخص کردن نیاز مشتریان لازم است به ترتیب از سه گام عبور نمائیم. این گام‌ها عبارتند از: مصاحبه با مشتریان، تفسیر نیازهای بیان شده توسط مشتریان و ترجمه یا تبدیل نیازهای کیفی ابراز شده توسط مشتریان به مشخصات کمی. به عنوان مثال اگر بدنبال یک ماده برای جلوگیری از یخ زدگی هواپیما هستیم در تعیین مشخصات کمی باید در مورد میزان کاهش نقطه انجماد^۱ و یا

2. Brain Storming
3. Coimbra

1. Freezing Point

۸-۱-۲ ایده و انتخاب

ایده‌های تولید شده حاصل از جستجوی مقالات و جلسات بارش افکار در تیم‌های دانشجویی بوده که شامل ۶۰ ایده می‌باشد. در مرحله اول یک سری از ایده‌ها که امکان پذیر نبوده و در برآوردن شرایط مورد نظر عقیم بوده اند حذف شده و ۲۰ ایده باقی مانده است. در نهایت با استفاده از ماتریس غربال کردن ایده تعداد ایده‌ها به ۵ ایده کاهش یافت که در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- پنج ایده نهایی برای خنک‌کننده نوشیدنی قابل حمل

ردیف	ایده
۱	وسیله‌ای که عمل خنک کردن نوشیدنی را از طریق یک واکنش گرماگیر انجام دهد.
۲	پکیج نوشیدنی شامل یک سیستم که در آن واکنش شیمیایی گرماگیر اتفاق می‌افتد و در نتیجه محتویات داخل پکیج را که همان نوشیدنی است خنک می‌سازد.
۳	کپسولی که از یک بسیار ساخته شده باشد و اجازه عبور یک طرفه جریان آب را بدهد. وقتی آب وارد کپسول می‌شود یک واکنش شیمیایی گرماگیر اتفاق می‌افتد و نوشیدنی خنک می‌شود.
۴	خشک کردن نوشیدنی با اسپری
۵	یخ خشک

براساس ایده‌های فوق ایده نهایی بر اساس اختلاط یک نمک خاص با آب که یک واکنش گرماگیر است حاصل شد. نمک خاص مورد استفاده باید طبق معیارهای جدول (۳) انتخاب شود:

معیارهای انتخاب شده شامل موارد زیر است:

(۱) جرم مورد نیاز برای کاهش دمای ۲۰ میلی لیتر آب به میزان ۲۰ درجه سلسیوس (بستگی به آنتالپی انحلال پذیری دارد).

(۲) قیمت نمک

(۳) موارد خطر

در نتیجه نمک $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ انتخاب شد، اگر چه مقدار بیشتری از این نمک مورد نیاز است ولی در عوض ارزان تر بوده و خطر قابل توجهی هم ندارد.

می‌باشد. مشکل خنک کردن نوشیدنی‌ها در سفرها و جاهایی که یخچال و یخ و ابزارهای رایج برای خنک کردن، پاسخگو نمی‌باشند نیاز به یک سیستم خنک‌کننده نوشیدنی که قابل حمل باشد بوجود می‌آید. مراحل عمومی طراحی این محصول به شرح زیر است.

۸-۱-۱ نیاز

در ابتدا از طریق مصاحبه با مشتریان بالقوه (سن، شغل و طبقات اجتماعی مختلف) نیازها دسته‌بندی و مشخص می‌شوند. مصاحبه‌شوندگان از گروه‌های مختلف نظیر کارکنان کافه‌ها، رستوران‌ها، سوپرمارکت‌ها، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان فروشندگان کلی نوشیدنی‌ها انتخاب می‌شوند. اطلاعات خام جمع‌آوری شده حاصل از مصاحبه به یک سری از نیازها تبدیل می‌شوند که در جدول (۱) آورده شده است. در این جدول به نوعی نیاز مشتریان به مشخصات کمی ترجمه شده اند که در نهایت محصول تولید شده باید آنها را برآورده نماید.

جدول ۱- نیازها و مشخصات محصول مورد نظر

ردیف	نیازها	مقیاس اندازه‌گیری	هدف
۱	نوشیدنی‌ها را خنک کند	کاهش دما	۲۰ درجه سلسیوس
۲	دوست دار محیط زیست باشد	ارزیابی مصرف‌کنندگان*	≥ 8
۳	ایمن باشد	ارزیابی مصرف‌کنندگان	≥ 9
۴	سریع عمل نماید	زمان سرد شدن	(۵-۱) دقیقه
۵	قیمت واقع‌بینانه داشته باشد	درصد از قیمت نوشیدنی که قرار است سرد شود	$\leq 10\%$
۶	محکم باشد	ارزیابی مصرف‌کنندگان	≥ 7
۷	صدای ناخوشایند ایجاد نکند	ارزیابی مصرف‌کنندگان	≥ 7

* محدوده ارزیابی (۱۰-۱) می‌باشد.

جدول ۳- نمک‌های قابل استفاده

نمک			معیار	ردیف
Na ₂ S.9H ₂ O	Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	NH ₄ NO ₃		
۵,۷۷	۸,۷۸	۴,۹۵	جرم مورد نیاز (گرم)	۱
۰,۱۲	۰,۰۵	۰,۱۵	قیمت (یورو به ازاء هر گرم مصرف شده)	۲
- سوزآور و محرک پوست - آزاد شدن بخارات سمی	- هیچ خطری ندارد	- انفجار - آزاد شدن بخارات سمی	موارد خطر	۳

۸-۱-۳ ساخت

بر این اساس این شرکت به دنبال جوهر دیگری است که دارای آثار زیست‌محیطی منفی کمتری باشد.

۸-۲-۱ نیاز

نیازها از طریق مصاحبه با مدیریت و کارکنان شرکت و مدیران و مشاوران مسائل زیست محیطی مشخص می‌شوند. از طریق این مصاحبه‌ها یک تصویر از نیاز هم از درون شرکت و هم از بیرون شرکت به دست می‌آید. مصاحبه با استفاده‌کنندگان چک‌ها نیز می‌تواند مفید باشد. بر این اساس نیازها در سه محور کلی مطابق جدول (۴) خلاصه می‌شوند.

نمونه نهایی شامل دو قسمت مجزا است که روی هم قرار می‌گیرند. قسمت بالایی که محل نگهداری آب می‌باشد از جنس یک زیست‌بسیار و حاوی نشاسته و قسمت پائینی دستگاه برای نگهداری نمک از جنس آلیاژ فولاد ساخته می‌شود. جنس فولاد برای انتقال گرمای بهتر انتخاب شده است. وقتی که قسمت بالایی به قسمت پائینی وصل می‌شود آب به داخل نمک جریان می‌یابد و عمل انحلال اتفاق می‌افتد سپس کل مجموعه مذکور در شیشه حاوی نوشیدنی که قرار است خنک شود قرار می‌گیرد و عمل خنک شدن اتفاق می‌افتد.

جدول ۴- نیازها برای جوهر جدید

نیازها	ردیف
پرینت چک‌ها بدون افت کیفیت	۱
کاهش انتشار حلال‌های کلردار (حداقل تا ۰.۹۵٪)	۲
حذف در معرض سرطان بودن کارگران	۳

۸-۲-۲ ایده

خلق ایده از طریق مشاوره با مشاوران خبره، جستجو در مقالات و پانتنت‌ها و بارش افکار صورت می‌گیرد. بر این اساس، یک لیست

۸-۲ طراحی جوهر چاپ با خاصیت ضد آلاینده‌گی

به عنوان نمونه دوم، طراحی جوهر چاپ با خاصیت ضد آلاینده‌گی [۱۱] در این قسمت ارائه می‌شود.

چاپ چک پول در حال حاضر در یک شرکت با استفاده از جوهر لیتوگرافی انجام می‌شود و از لحاظ کیفیت کار مشکلی وجود ندارد. اما مسئله‌ای که وجود دارد اینست که این جوهر حاوی حلال متیلن کلراید (CH₂Cl₂) می‌باشد که سرطان زاست. تبخیر حلال در حین کار باعث تهدید سلامت کارکنان شده و اعتراض سازمان محیط زیست را به همراه داشته است. در ضمن تمیز کردن پرس‌های چاپگر نیز توسط پارچه‌های حاوی همین حلال صورت می‌گیرد که دفع آنها نیز بر مشکلات آلاینده‌گی افزوده است.

طولانی از ایده‌ها نتیجه می‌گردد. ایده‌ها را می‌توان در چهار گروه، طبق جدول (۵) تقسیم‌بندی کرد:

جدول ۵- چهار گروه ایده نهایی برای جوهر جدید

ردیف	ایده
الف	بهبود سیستم چاپ موجود
۱	تغییر پرس
۱-۱	ایزوله کردن پرس
۲-۱	استفاده از چاپگر لیزری
۳-۱	استفاده از فتوکپی
۲	تغییر در تمیزکاری
۱-۲	کم کردن تعداد دفعات تمیزکاری
۲-۲	تمیزکاری بدون حلال مانند اسپری، بخار یا هوا
۳	تغییر در عملکرد CH_2Cl_2
۱-۳	بازگرداندن ^۱ از طریق:
۱-۱-۳	استخراج
۲-۱-۳	خشک کردن چرخشی ^۲
۲-۳	سوزاندن
۳-۳	منجمد کردن
ب	استفاده از یک حلال جدید
۱	جایگزین کردن CH_2Cl_2
۱-۱	حلال غیر فرار
۲-۱	استفاده از روغن به عنوان حلال
۳-۱	مخلوط حلال‌ها
ج	شیمی جوهر بدون حلال
۱	جوهر الکتروستاتیکی
۲	حلالی که جوهر را در خود حل کند.
د	اصلاً از چک استفاده نشود.

ایده‌های مربوط به تغییر پرس، نیاز به سرمایه‌گذاری کلان دارد که از گردونه خارج می‌شوند. تغییر در عملکرد حلال و یا تغییر نوع حلال، ایده‌هایی آسان از نظر اجرایی هستند و لذا بسیار وسوسه‌انگیز هستند. ایده‌های ابداع جوهر بدون حلال و یا حلال‌هایی که

1. Recycle
2. Spin Dry

جوهر را در خود حل کنند کار بیشتری لازم دارند ولی راه حل جذابی هستند.

ایده کنار گذاشتن چک، شاید در ابتدا چندان جدی به نظر نرسد اما انفجار نقل و انتقالات الکترونیکی پول که الآن با آن مواجه هستیم نوید آینده بدون چک را می‌دهد. هرچند در حال حاضر هنوز هم چک جایگاه خود را دارد و شرکت باید برای چاپ آن راه حلی پیدا کند.

با غربال اولیه ایده‌ها موارد زیر برای بررسی بیشتر انتخاب می‌شوند:

- بازگرداندن حلال
- حلال غیر فرار
- حلالی که جوهر را در خود حل کند.
- اصلاً از چک استفاده نشود.

۸-۲-۳ انتخاب

یک جوهر لیتوگرافی از ۴ جزء تشکیل می‌شود: پیگمنت، روغن، رزین و حلال. پیگمنت عامل آلودگی نیست. روغن هم ترکیبی از مواد طبیعی است که باندهای دوگانه موجود در اسید چرب موجود در آن در حضور اکسیژن با یکدیگر پیوندهای جانبی برقرار کرده و باعث پایداری جوهر می‌شوند. رزین، یک بسپار با جرم مولکولی پائین می‌باشد. حلال (متیلن کلراید) به صورت ترکیبی با رزین استفاده می‌شود و برای تنظیم رئولوژی (جریان‌سنجی) جوهر استفاده می‌شود.

ایده بازگرداندن حلال می‌تواند به خوبی اجرایی شود ولی احتمالاً احتیاج به سرمایه‌گذاری قابل توجهی دارد. لذا ترجیح داده شده است تا در صورت امکان یک راه حل ارزان‌تری برای اجرا پیدا شود. ایده عدم استفاده از چک ایده جالبی است، لیکن احتیاج به زمان زیادی دارد تا سیستم الکترونیکی جایگزین شود، این ایده خارج از کنترل شرکت می‌باشد. فعلاً شرکت دنبال راه حل سریع است تا بتواند جوایگوی سازمان محیط زیست باشد.

لذا یا باید از یک حلال جدید استفاده شود یا یک جوهر بدون حلال طراحی گردد. بدین منظور چنانچه جزئیات کارکرد این ایده‌ها مشخص شوند می‌توان بهترین آنها را انتخاب کرد و یا اینکه هر دوی آنها را به نفع ایده بازیابی حلال مردود کرد.

برای پیدا کردن یک حلال جدید می‌توانیم از نظریه ترمودینامیک

۸-۲-۴ ساخت

بعد از انتخاب راه‌حل‌ها نوبت پیاده کردن آنهاست. در این مرحله مشخصات کامل محصول و جزئیات فرایند ساخت معین می‌گردد. ابتدا با انجام آزمایشاتی مناسب بودن تولوئن به عنوان یک حلال جایگزین مشخص می‌شود و سپس مقدار تولوئن مورد نیاز در فرمولاسیون جوهر برای دستیابی به رئولوژی مناسب تعیین می‌گردد.

اما برای تغییر شیمی رزین کار بیشتری مورد نیاز است. برای این کار لازم است فرمولاسیون یک رزین مناسب را مشخص و کارایی آنرا هم برای چاپ و هم برای شستشو مورد آزمون قرار داد و سپس درمورد فرایند ساخت آن تصمیم گرفت. این کار اگرچه ممکن است نیاز به نیروی انسانی و زمان زیادی داشته باشد لیکن مسیر آن روشن است و در چارچوب قوانین مهندسی فرایند قابل حل است.

مثال‌های بسیار زیادی وجود دارد که می‌توان به عنوان نمونه طراحی محصول شیمیایی به آنها اشاره کرد ولی همانطور که در دو نمونه ذکر شده در این مقاله دیده شد شرح مراحل طراحی محصول، مطول و خارج از حوصله این نوشته است.

پاید ادعان داشت که وقتی صحبت از طراحی محصول شیمیایی می‌شود، منظور صرفاً یک ترکیب شیمیایی با ویژگی‌های خاص نیست. طراحی محصولات شیمیایی علاوه بر مواد، شامل کلیه تجهیزاتی که به نوعی با پدیده‌های انتقال (جرم، انرژی و مقدار حرکت) در ارتباط هستند و یا در آنها واکنش شیمیایی رخ می‌دهد را شامل می‌شود. برای مشاهده نمونه‌های بیشتر به مراجع رجوع شود [۱ و ۳].

۹- نتیجه‌گیری

طراحی محصول شیمیایی روشی است که به وسیله آن ابتدا نیازهای مشتری مشخص می‌شود و سپس این نیازها به محصولات تجاری ترجمه می‌شوند. این روش بطور خاص برای مواد شیمیایی ویژه که دارای ارزش افزوده بالایی می‌باشند ارزشمند است. امروزه توجه و تمرکز صنایع شیمیایی بیشتر بر روی تولید مواد شیمیایی خاص معطوف شده است و این موضوع تاکید بیشتر بر روی طراحی محصول را در آموزش مهندسی شیمی الزام‌آور کرده است. در این مقاله سعی شده است تا یک الگوی ساده برای طراحی

مخلوط‌ها (پارامترهای انحلال‌پذیری هیلدبران^۱) استفاده کنیم. مواد شیمیایی با پارامترهای انحلال‌پذیری مشابه بخوبی در یکدیگر حل می‌شوند. متیلن کلراید یک حلال خوب برای جوهر است لذا باید دنبال ماده‌ای بود که پارامتر انحلال‌پذیری آن مشابه متیلن کلراید باشد. انحلال‌پذیری متیلن کلراید $9/8 \text{ (cal/cm}^3\text{)}$ است. حلال‌های ارزان دارای پارامترهای انحلال‌پذیری مشابه شامل بنزن، تولوئن و نفتالن می‌باشند. این سه ماده انتخاب‌های ممکن به عنوان حلال جایگزین خواهند بود. همه آنها سرطانزا هستند اما خطر کمتری نسبت به متیلن کلراید دارند. بنزن بیش از حد سرطانزاست و نفتالن در دمای معمولی برای چاپ به شکل جامد است. بنابراین فقط تولوئن باقی می‌ماند که یک انتخاب محافظه‌کارانه است. البته تولوئن سمی است و مشکل تبخیر شدن و انتشار آن در محیط پابرجاست اما تا وقتی که توسط سازمان‌های محیط زیستی تحریم نشده است به عنوان یک راه‌حل کوتاه مدت مورد استفاده قرار گیرد.

برای یافتن جوهر بدون حلال باید دید که چه قسمت‌هایی از جوهر را می‌توان تغییر داد. می‌توان شیمی سطح پیگمنت را تغییر داد اما این کار احتمالاً عوارضی خواهد داشت. روغن طبیعی را هم نمی‌توان زیاد تغییر داد. بهترین شانس، تغییر رزین است. تغییر رزین می‌تواند ما را به سمت محصول موردنظر هدایت کند. ابتدا می‌توان رزینی را با جرم مولکولی پائین تر و با توزیع جرم مولکولی پهن ترسنتز نمود. با کمی کار آزمایشگاهی ممکن است بتوان به رزینی دست یافت که رئولوژی آن طوری باشد که نیازی به حلال نداشته باشد.

حتی ممکن است جوهری با قابلیت شستشو با آب را پیدا کنیم. برای این منظور رزین مورد نظر باید دارای گروه‌های کربوکسیلیک اسید (-COOH) باشد تا در حضور آب یونیزه شود. گروه‌های کربوکسیلیک اسید بمانند امولسیون‌ساز در جوهر عمل کرده و این قابلیت را به جوهر می‌دهد تا با استفاده از حلال پایه آبی از سطح پرسها شسته شود. استفاده از رزین دارای گروه‌های کربوکسیلیک اسید امید یک راه حل پایدار را می‌دهد.

در مرحله انتخاب ایده به این نتیجه رسیدیم که به عنوان یک راه‌حل موقت می‌توان حلال را جایگزین کرد اما به عنوان یک راه‌حل دائم باید شیمی رزین را عوض کرد.

1. Hildebrand

- [5] Costa, R., Moggridge, G.D., Saraiva, P.M., "Chemical Product Engineering: An Emerging Paradigm within Chemical Engineering", *AICHE*, Vol.52, No.6, Jun., (2006).
- [6] Kavanagh, L., Lant, P., "Introduction to Chemical Product Design A Hands-on Approach", *Trans IChemE, Part D, Education for Chemical Engineers*, 1, pp. 66-71, (2006).
- [۷] اوپسیان، "نقش بنگاه های کوچک و متوسط در توسعه اقتصادی و کارآفرینی" آدرس اینترنتی: <http://ayandeh2012.blogfa.com/post-25.aspx>
- [8] Moggridge, G.D., Cussler, E.L., "An Introduction to Chemical Product Design", *Product Engineering Meeting held in Birmingham University*, 15, Apr., (1999).
- [9] Gani, R., "Chemical Product Design: Challenges and Opportunities", *Computer and Chemical Engineering*, 28, pp. 2441-2457, (2004).
- [10] Saraiva, P.M., Costa, R., "A Chemical Product Design Course with a Quality Focus", *Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design*, 82(A11), pp.1474-1484, (2004).
- [11] Moggridge, G.D., Cussler, E.L., "An Introduction to Chemical Product Design", *Trans IChemE, Part A*, Jan., 78, pp.5-11, (2000).

محصول معرفی گردد. هر چند نحوه اجرای این الگو برای محصولات مختلف می تواند متفاوت باشد.

الگوی طراحی محصول شیمیایی شامل چهار مرحله است. مرحله اول شناسایی نیازهای مشتریان و ترجمه این نیازها به مشخصات محصول می باشد. مرحله دوم شامل خلق ایده برای برآوردن نیازهای مشتریان است. در گام سوم بهترین ایده ها برای توسعه تجاری انتخاب می شوند و گام آخر شامل نمونه سازی و تصمیم گیری برای فرایند ساخت می باشد.

مراجع

- [1] James, W., "Product Engineering: Molecular Structure and Property", ISBN: 0-19-515917-9, Oxford University Press, (2007).
- [2] Cussler, E.L., Moggridge, G.D., "Chemical Product Design", ISBN: 0-521-79183-9, Cambridge University Press, (2006).
- [3] Ng, K.M., Gani, R., Dam-Johansen, K., "Chemical Product Design: Toward a Perspective through Case Studies", ISBN-10: 0-444-52217-4, Elsevier, (2007).
- [4] Seider, W.D., Widagdo, S., Seader, J.D., Lewin, D.R., "Perspectives on Chemical Product and Process Design", *Computers and Chemical Engineering*, Vol.33, pp. 930-935, (2009).