مجله آموزش مهندسی ایران، شماره ۱، جلد ۱، ص. ۱۲۷-۱۰۵

پیدایش آموزش مهندسی شیمی و تاریخچهٔ تئوری‌های آن در جهان

ایرج گودرز نیا

استاد مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی شریف

و عضو وابسته گروه علوم مهندسی فرهنگستان علوم

چکیده: پیدایش هر رشته را اصولاً نمی‌توان به زمان خاص یا افراد مشخص نسبت داد، بلکه عمده‌ترین عامل، بستر مولد یا ضرورت‌هایی است که زمینه را برای پیدایش آن رشته فراهم می‌آورد. در حقیقت، هنگامی که نیازهای تخصصی به هر دلیلی - اعم از دلایل سیاسی یا ضرورت‌های ناشی از رقابت‌های اقتصادی یا حتی نظامی - بدان‌جا رسید که رشته‌ها یا تخصص‌های موجود دیگر قادر به پاسخگویی به آن‌ها نباشند، زمینه ایجاد رشته جدید یا شاخه جدیدی از علوم مهندسی پدید می‌آید و بدیهی است که این کار توسط افرادی انجام خواهد گرفت که در کوران این ضروریات قرار داشته باشند. مهندسی شیمی نیز از این قاعده مستثنا نیست. اگر چه ذات مهندسی شیمی همواره در طول تاریخ در کنار بشر وجود داشته و آدمی ناخودآگاه از همان هنگام که ظروف سفالی را ساخت یا فلز را کشف کرد و توانست آن را از مواد معدنی جدا کرده، در ساختن ابزار از آن استفاده کند و یا در دوره‌های بعد که به عطر، شیشه، ابریشم و بسیاری از مواد دیگر دست یافت این علم را به کار برده است.

به استثنای زندگینامه چند تن از پژوهشگران برجسته و جدا از رشته‌های تخصصی پراکنده‌ای مثل تقطیر، تاریخ‌نویسان تکنولوژی تا سال‌های ۱۹۸۰ به‌طور کلی مهندسی شیمی را به‌دست فراموشی سپرده بودند. فقط در آن زمان بود که تاریخ‌نویسان تکنولوژی مانند دانشگاه‌های درسدن[۱] و مرسه‌بورگ[۲] مطالعه سیستماتیک این رشته را شروع کردند.

در دوران‌های مختلف یکی از مهم‌ترین نمودهای پیشرفت تمدن بشری عبارت بود از تغییر در مواد با فرایندهایی که اکنون آن‌ها را عملیات واحد می‌نامند. برای مثال آسیاب کردن به منظور خرد کردن دانه‌ها و تولید آرد، یا تبدیل مواد معدنی رنگی به رنگ، یا استخراج برای تولید عطر و دارو از مواد خام گیاهی و حیوانی. اگر چه حدود ۱۰۰۰ سال قبل از میلاد، ریاضیات و نجوم در بین‌النهرین پیشرفت کرد. گرچه هنر، معماری و هنرهای بومی در فرهنگ یونان و رم بنیاد گذارده شد، گرچه شیمی تجربی در دوران تمدن اسلام شکفت، گرچه تعداد زیادی دانشکده الهیات در قرون وسطی وجود داشت، اما توسعه چندانی در تکنولوژی فرایندها و تجهیزات آن به‌عمل نیامد. به‌دلایل مختلف، مردم به روش‌های سنتی خود برای انجام‌دادن کارها پایبند بودند و هیچ‌گونه بررسی سیستماتیک در باره فرایند فیزیکی و فیزیک و شیمیایی به‌عمل نمی‌آمد. در اموری از قبیل دارو، استخراج شکر، و بخصوص متالورژی استفاده از تکنولوژی موجود در طول هزاران سال صرفاً وسیع‌تر و گوناگون‌تر شد.

---

۱ - Dresden

۲ - Merseburg

در این مقاله با بررسی مراجع جهانی مختلف تاریخچه مهندسی شیمی و تئوری‌های آن، سرچشمه تکنولوژی مهندسی شیمی، مبدأ مهندسی شیمی به روش‌های علمی، ظهور مهندسی شیمی، ظهور تئوری‌ها در مهندسی شیمی، جریان چندفازی، اصول مشابه‌سازی، شبیه‌سازی هندسی و مکانیکی و دینامیکی و حرارتی، تشابه در انتقال جرم، و واکنش‌های شیمیایی مورد بررسی قرار گرفته [۱۶] و در انتها نتیجه گیری به‌عمل آمده است.

۱. تاریخچه مهندسی شیمی و تئوری‌های آن

در مورد پیدایش مهندسی شیمی در جهان، بسیار نوشته‌اند و گفته‌اند که با بررسی آن‌ها بهترین توجیه مستندی که در این موضوع آمده، ارائه می‌گردد. به استثنای زندگینامه چند تن از پژوهشگران برجسته و جدا از رشته‌های تخصصی پراکنده‌ای مثل تقطیر، تاریخ‌نویسان تکنولوژی تا سال‌های ۱۹۸۰ به‌طور کلی مهندسی شیمی را به‌دست فراموشی سپرده بودند. فقط در آن زمان بود که تاریخ‌نویسان تکنولوژی در دانشگاه‌های درسدن و مرسه‌بورگ بررسی سیستماتیک این رشته را آغاز کردند. در مطالب حاضر بخصوص از رساله‌های کلاوس کروگ [۱] مربوط به سال ۱۹۸۳ [۱] و کلاوس پیترمینیک [۲] که در سال ۱۹۸۹ نوشته شد [۲] استفاده به‌عمل آمده است. پس از توضیح کلی در مورد پدیدار شدن تدریجی مهندسی شیمی، توسعه تئوری‌های مهندسی شیمی نیز بررسی خواهند شد.

۲. سرچشمه تکنولوژی مهندسی شیمی

تکنولوژی مهندسی شیمی به کوشش‌های اولیه انسان برای استفاده از مواد خام طبیعی بر می‌گردد. برای مثال استفاده از آب برای استخراج مواد معطر از گل‌ها و برگ‌ها به‌منظور ساخت عطر و دارو نمونه‌ای از این تلاش‌ها است. می‌توان گفت که قدیمی‌ترین تکنولوژی‌ها در مرحله بین دوران انسان شکارچی و دوران انسان شهرنشین به‌وجود آمد. کشاورزی و گله‌داری فقط موقعی موفق است که نظم پدیده‌های طبیعی شناخته شود و به‌عبارت دیگر زمانی که انسان با مفهوم فیزیک آشنا شده باشد. فرایند شهرنشین‌شدن انسان حدود ۷۰۰۰ سال پیش در دوران نئولیتیک [۳] بوقوع

---

۱ - Kkaus Krug

۲ - Klaus - Peter Minicke

۳ - Neolithic

پیوست.

گاهواره تمدن بشر در آسیای صغیر (ترکیه امروز) و در بین‌النهرین، سرزمین بین رودهای دجله و فرات (عراق امروز) و در سوریه و مصر بوده است. این‌جا مکان‌هایی است که قدیمی‌ترین تمدن پیشرفته بشر با سازمان‌های پیچیده حکومتی، خط و پرستش مردگان آغاز شد. قدیمی‌ترین اشیای برنزی دوران برنز که پس از دوران نئولیتیک است از بین‌النهرین به‌دست آمده است. یادآوری می‌شود که از کشور چین نمی‌توان در این مرحله نام برد، زیرا هیچ‌گونه مدرکی موجود نیست. ولی احتمالاً پیشرفتهای چین نیز نظیر آسیای صغیر است. در حفاری‌های باستان‌شناسی در چین، اشیای جالب هنری و فرهنگی مورد استفاده در ۷۰۰۰ سال پیش پیدا شده است. تبادل فرهنگ و اختلاط تمدن باعث پیشرفت موازی شرق و غرب شده است.

چگونه می‌توان پیشرفت این تکنولوژی‌ها را خلاصه کرد؟ در دوران‌های مختلف، یکی از مهم‌ترین نمودهای پیشرفت تمدن بشری عبارت بود از: تغییر در مواد با فرایندهایی که اکنون آن را عملیات واحد می‌نامند. برای مثال آسیاب کردن به منظور خرد کردن دانه‌ها و تولید آرد، یا تبدیل مواد معدنی رنگی به رنگ، یا استخراج برای تولید عطر و دارو از مواد خام گیاهی و حیوانی. گرچه حدود ۱۰۰۰ سال قبل از میلاد ریاضیات و نجوم در بین‌النهرین پیشرفت کرد، گرچه هنر، معماری، فلسفه و هنرهای بومی در فرهنگ یونان و رم بنیادگذارده شد، گرچه شیمی تجربی در دوران تمدن اسلام شکفت، گرچه تعداد زیادی دانشکده الهیات در قرون وسطی وجود داشت، اما توسعه چندانی در تکنولوژی فرایندها و تجهیزات آن به‌عمل نیامد. به‌دلایل مختلف مردم به روش‌های سنتی خود برای انجام‌دادن کارها پای‌بند بودند، هیچ‌گونه بررسی سیستماتیک در مورد فرایند فیزیکی و فیزیک و شیمیایی به‌عمل نمی‌آمد. در اموری از قبیل دارو، استخراج شکر و به ویژه متالورژی استفاده از تکنولوژی موجود در طول هزاران سال صرفاً وسیع‌تر و گوناگون‌تر شد [۳].

۳. مبدأ مهندسی شیمی به روش‌های علمی

فقط زمانی که علوم طبیعی علی‌رغم الهیات دوران رنسانس و اواخر قرون وسطی شروع به خودنمایی کرد، زمانی که چاپ، باروت، ساعت جیبی و فرم جدید اقتصاد پولی اختراع شد، و زمانی که امریکا کشف گردید، کم کم امکانات علمی برای ظهور تدریجی مهندسی شیمی فراهم آمد.

در سال ۱۵۹۷، یعنی ۴۰۰ سال پیش، اولین کتاب درسی مدرن فن‌آوری شیمیایی با نام الکیمیا[۱] توسط دانشجوی آلمانی آندره‌آس لیباویوس[۲] اهل فرانکفورت منتشر شد [۴]. قسمت اول این کتاب به مطالعه روش‌ها می‌پردازد. لیباویوس بیش از ۶۰ نوع عملیات واحد را تعریف می‌کند و به بحث در باره آن‌ها می‌پردازد و همچنین به‌طور سیستماتیک همه تجهیزات لازم و انرژی‌های فرایند را بیان می‌کند. بنابراین می‌توان ۳۰۰ سال قبل از پیدایش مهندسی شیمی، لیباویوس را پدر پدیده عملیات واحد نامید.

کار بزرگ لیباویوس باید در زمینه ذهنیت قرون وسطایی اصناف که مردم از ابراز دانش تخصصی خود طفره می‌رفتند، دیده شود. توصیف سیستماتیک وی از فرایندها و تجهیزات که از مرز صنایع مختلف عبور کرد با توصیف فرایندهای فنی - شیمیایی بر اساس تغییر ماهیت ماده و بعد از آن متفاوت بود [۵].

بررسی مستقل لیباویوس از فرایندها و تجهیزات که بر تکنولوژی‌های مختلف سایه افکنده بود، دوباره در قرن ۱۷ و ۱۸ فراموش شد. مردم یک بار دیگر به تشریح فرایندها بر اساس تغییر ماهیت ماده روی آوردند. زمانی این موضوع قابل درک است که بدانیم تا آن زمان آموزش ویژه‌ای برای مهندسان وجود نداشت. تأسیس آموزش عالی، پدر دانشگاه‌های فنی امروز، در قرن نوزدهم بنیانگذاری شد. در صنایع مهندسی با استفاده از ماشین‌های بخار و ورود زغال سنگ برای سوخت کوره‌های بلند که شروع آن از انگلستان بود، یک جهش ناگهانی از صنایع دستی به فرایندهای صنعتی مکانیزه به‌وجود آمد. در مقابل، در صنایع شیمیایی، افزایش تولید به گونه‌ای ساده و با افزایش اندازه تجهیزات موجود انجام شد. در نتیجه، شروع عصر ماشین در اواسط قرن هجدهم همراه با خود حرکت مشابهی در صنایع شیمیایی به‌وجود نیاورد. از این‌رو این موضوع که آموزش دانشگاهی مهندسی مکانیک بر آموزش مهندسی شیمی به مدت طولانی تقدم داشت قابل درک است.

۴. ظهور مهندسی شیمی

اولین فرایندهای صنایع شیمیایی که در حوزه صنعتی شدن توسعه یافت، قدم بزرگی برای تشکیل

---

۱ - Alchymia

۲ - Andreas Libavius

مهندسی شیمی به عنوان یک رشته مستقل بود. این فرایندها در امریکا صنعت نفت و قیر، و در اروپا صنعت الکل و گاز زغال سنگ بودند که در آن‌ها از تکنیک‌های تقطیر به‌طور وسیع استفاده شد [۶].

جدا از الکل، کربنات کلسیم، اسید سولفوریک و مواد پاک‌کننده، محصولات شیمیایی کلیدی انقلاب صنعتی بودند. این موضوع را می‌توان با فرایند سولوه[۱] برای تهیه کربنات کلسیم روشن کرد. سولوه متخصص شیمی صنعتی بلژیکی (ارنست سولوه ۱۹۲۲-۱۸۳۸)[۲] که مهندسی را نزد خود فراگرفته بود، در سال ۱۸۶۰ موفق به ارائه فرایند خود شد [۷].

از ۲۰۰۰ سال پیش یا قبل از آن، کربنات کلسیم یکی از عوامل پاک‌کننده مورد نیاز بود. فرایند سولوه عملاً جایگزین فرایند لوبلان[۳] شد که تا آن زمان آلودگی قابل توجهی برای محیط زیست توسط کلرید هیدروژن و سولفید کلسیم ایجاد می‌کرد. علاوه بر این، فرایند لوبلان گران‌تر بود و به‌علاوه، کربنات کلسیم ناخالص‌تر تولید می‌کرد.

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، نمک معمولی، آمونیاک و دی‌اکسید کربن به کربنات کلسیم تبدیل شده است. فرایند آمونیاک - کربنات کلسیم از شروع قرن نوزدهم شناخته شده بود. ولیکن در سال ۱۸۶۰ ارنست سولوه موفق شد به‌صورت تجاری آن را به کار برد؛ اما رمز موفقیت او چه بود؟

او وابستگی حلالیت به دما و فشار را بررسی کرد، فشار و دما و غلظت را در طول فرایند کنترل کرد، از برج برای جذب استفاده کرد و در این عمل از اصل جریان‌های ناهمسو کمک گرفت، از آلودگی محیط زیست اجتناب کرد و بازدهی صنعتی را با استفاده از جریان بازگشتی دی‌اکسید کربن و آمونیاک استفاده نشده افزایش داد. همچنین برای بالابردن درصد اطمینان، یک واحد نیمه‌صنعتی بر پا کرد. او در تمام این روش‌ها در مهندسی پیشگام بود.

مهندسی شیمی با فرایند هابربوش[۴] برای تولید آمونیاک از سال ۱۹۱۰ به بعد ظاهر شد، و این ۵۰ سال بعد از فرایند سولوه است.

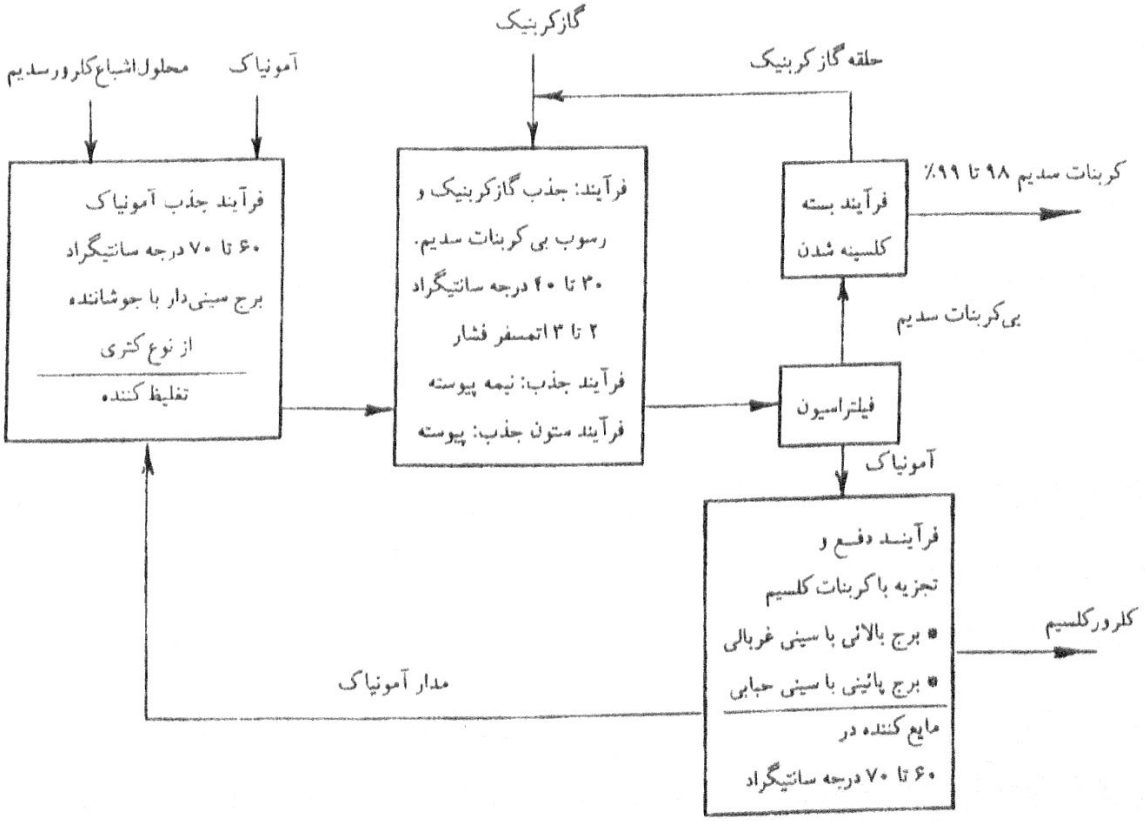
---

۱ - Solvay

۲ - Ernest Solvay (1838-1922

۳ - Leblanc

۴ - Haber - Bosch



شکل ۱ نمودار فرایند سولوه

نسبت به فرایندهای شیمیایی غیرآلی - همان‌طور که در خصوص فرایند کربنات کلسیم توصیف شد - فرایندهای شیمیایی آلی در آغاز نظر مهندسان مکانیک را که در آن زمان مهندس همه کاره بودند، جلب نکرد [۷]. تولید رنگ‌های مشتق از قطران زغال سنگ یک فرایند شیمی آلی بود. مسائلی که شیمیدان با آن مواجه بود، قلب فرایند و بسیار پیچیده بود. عملیات اصلی شیمیایی، تعداد محصولات زیاد و کیفیت مورد نیاز بالا بود.

در آلمان و امریکا، یعنی بزرگ‌ترین قدرت‌های صنعتی زمان، توسعه مهندسی شیمی در دو جهت کاملاً مختلف پیش رفت. اجازه دهید با آلمان شروع کنیم. در شرکت بایر[۱] تکیه بر فرایندهای شیمیایی آلی بود. احتمالاً این موضوع کارل دویسبرگ[۲] را که در آن زمان رئیس بسیار بانفوذ این شرکت بود، در جهت تأکید بیش‌تر بر نقش مهندسان مکانیک - حتی قبل از آغاز قرن

---

۱ - Bayer

۲ - Carl Dusiberg

- سوق داد. به عبارت دیگر، او بر تقسیم کار و همکاری بین شیمیدانها و مهندسان مکانیک تأکید کرد.

احتمالاً تکیه او بر مهندسان مکانیک از دلایل تأخیر قابل توجه توسعه مهندسی شیمی در آلمان در مقایسه با سایر کشورهای صنعتی است. دلیل دیگر، شکوفایی شیمی فیزیک توسط ویلهلم استوالد[۱] در لایپزیک بود. می‌توان نشان داد که از آغاز قرن جاری در صنایع شیمیایی آلمان، متخصصان شیمی فیزیک و شیمی آلی به‌طور مساوی به هم پیوستند و همکاری این دو با مهندسی مکانیک، ایده مهندسی شیمی به‌عنوان یک شاخه مستقل از علوم مهندسی را پس زد.

به همین دلیل کتاب اوژن هاوس‌برند[۲] در مورد کارکرد و محاسبه دستگاه‌های جداسازی مختلف که در سال‌های ۱۸۹۰ منتشر شد، به‌وسیله پژوهشگران آلمانی‌زبان، نادیده گرفته شد، اگرچه وی از اصول مهندسی شیمی، مانند ترکیب کمی مواد و شاخص‌های عملیاتی بحث کرده بود [۸]. هاوس برند، قدیمی‌ترین کارخانه صنعتی ساخت تجهیزات در آلمان به‌نام هکمن[۳] در لایپزیک را بمدت بیش از ۴۴ سال سرپرستی کرد. در سال‌های اخیر اوژن هاوس‌برند را به‌عنوان پدر اندیشمند پدیده عملیات واحد و همراه با لیباویوس[۴]، به‌عنوان بنیانگذاران مهندسی شیمی شناخته شدند.

توسعه مهندسی در امریکا در جهت کاملاً مختلفی حرکت کرد. در آن‌جا شیمی و مهندسی خیلی زود کاربرد مشترکی در مهندسی شیمی به‌عنوان یک شاخه مستقل پیدا کردند. نیاز به انرژی و ضرورت مکانیزه کردن، الزام بیش‌تری برای ایجاد کارخانجات بزرگ‌تر و مخاطره‌آمیز فرایندهای صنایع شیمیایی آلی را نسبت به آلمان باعث شد.

از سال ۱۸۸۸ به بعد، شیمیدان‌ها و مهندسان دوراندیش در ام. آی. تی[۵] به این روند توسعه با عرضه درس‌هایی در مهندسی شیمی کمک کردند [۷]. آن‌ها امید داشتند که روش‌های سالم سیستماتیک، علمی و ریاضی را جایگزین تجربه‌گرایی کنند. جدول ۱ نام عده‌ای از بنیانگذاران اصلی مهندسی شیمی را در ام. آی. تی - مکانی که مهندسی شیمی در امریکا از آن‌جا آغاز شد -

---

۱ - Wilhelm Ostwald

۲ - Eugen Hausbrand

۳ - Hechmann

۴ - Libavius

۵ - M.I.T

نشان می‌دهد. مسن‌ترین آن‌ها مدرک دکتری خود را در آلمان گرفته‌اند. همه آن‌ها اساساً زمینه شیمی فیزیک را همان‌طور که در دانشگاه‌های آلمان تدریس می‌شد، به‌عنوان پایه‌ای برای ادغام شیمی و تکنولوژی مهندسی، نه جدا کردن آن دو، به کار بردند. فلسفه‌ای که کاملاً با آنچه در خود آلمان دنبال می‌شود، متفاوت بود.

جدول ۱ بنیانگذاران رشته مهندسی شیمی

	رشته کارشناسی	تخصص	دانشگاه
ال‌ام. نورتون (۱۸۹۳-۱۸۵۵)	شیمی	شیمی آلی	گوتینگن ۱۸۷۹
اف. اچ. تورپ (۱۹۳۲-۱۸۶۴)	شیمی	شیمی آلی	هایدلبرگ ۱۸۹۳
ای. ای. نویس (۱۹۳۶-۱۸۶۶)	شیمی	شیمی - فیزیک	لایپزیک ۱۸۹۰
دبلیو. اچ. واکر (۱۹۳۶-۱۸۶۹)	شیمی	شیمی - فیزیک	گوتینگن ۱۸۹۲
دبلیو. کی. لوئیس (۱۹۷۵-۱۸۸۲)	مهندسی شیمی	شیمی - فیزیک	برسلاو ۱۹۰۸
دبلیو. اچ. مک‌آدامس (۱۹۷۶-۱۸۹۲)	شیمی	مهندسی شیمی	ام. آی. تی. امریکا ۱۹۱۷
تی. کی. شروود (۱۹۷۶-۱۹۰۳)	مهندسی شیمی	مهندسی شیمی	ام. آی. تی. امریکا ۱۹۲۹
ای. آر. گیلیلند (۱۹۷۳-۱۹۰۳)	مهندسی شیمی	مهندسی شیمی	ام. آی. تی. امریکا ۱۹۳۳

تاریخ‌های نشان داده شده در این بررسی اثبات می‌کند که دانشمندان و مهندسان در امریکا اولین کسانی بودند که به نتایجی رسیدند که به استقلال مهندسی شیمی انجامید. از طرف دیگر،

صنایع در پژوهش‌های خود علاقه کمی به ترکیب علم و تکنولوژی نشان دادند. بنابراین مهندسی شیمی مجبور شد برای موجودیت خود مبارزه کند؛ اما جنگ جهانی اول به‌دلیل نیاز شدیدی که به مواد شیمیایی پدید آورد، انگیزه‌ای را که مهندسی شیمی در امریکا به آن نیاز داشت فراهم کرد.

در سال ۱۹۱۵، آرتور. دی. لیتل [۱] برای انجمن مهندسان شیمی امریکا بیانیه زیر را تدوین کرد که یک مهندس شیمی باید بتواند به‌وسیله طراحی و کاربرد تعداد مورد نیاز از عملیات واحد، یک فرایند شیمیایی را به یک واحد عملیاتی با مقیاس بزرگ تبدیل کند.

در صحبت از کشورهایی که در پیدایش مهندسی شیمی در جهان نقش داشتند باید از دانمارک نام برد. این کشور نسبتاً کوچک که به لحاظ نقشش حقاً باید از آن در رده امریکا یاد کرد [۱۰]، برای اولین بار در سال ۱۸۹۵ از طریق دانشگاه فنی کپنهاک دانشجویان شیمی را با نام مهندسان شیمی به دنیا شناساند. حتی در آن زمان، آموزش آن‌ها منجر به چیزی شبیه به پایان‌نامه می‌شد که از طراحی فرایند با تعیین محل نصب کارخانه شروع می‌شد و با محاسبه محصولات نهایی پایان می‌یافت و در این میان، تأکید قابل توجهی بر موازنه فرایند و تجهیزات و ماشین‌های مورد نیاز مبذول می‌گردید.

سپس «انستیتوی صنعتی سنت پترزبورگ»، که اکنون یک دانشگاه فنی است، تحت نظر ای. کی. کروپسکی [۲]، یک کرسی برای فرایندها و تجهیزات صنایع شیمیایی ایجاد کرد.

بعد از زمان کوتاهی، یک کرسی مشابه در «انستیتوی دانشکده فنی عالی مسکو» تأسیس شد [۱۰]. در انگلستان به‌عنوان یک کشور پیشرو در فن‌آوری صنعتی آموزش مهندسی شیمی در دانشکده سلطنتی علوم و تکنولوژی در سال ۱۹۱۱ آغاز گردید. در سال ۱۹۲۳ دانشگاه لندن نیز از سایر مراکز پیروی کرد. و «انجمن مهندسان شیمی بریتانیا» تشکیل شد.

حتی امپراتوری ژاپن، و همچنین ایتالیا زودتر از آلمان به نشانه‌های جبر زمان، واکنش نشان دادند [۱۰]. در آلمان، تحت تأثیر جنگ جهانی اول، برای اولین بار این اندیشه پدید آمد که پایبند بودن به نظریه مهندسی مکانیک همه کاره نمی‌تواند راه حلی برای آینده باشد. شروع این امر در سال ۱۹۱۸ با یک گروه متخصص برای طراحی تجهیزات صنایع شیمیایی در «انجمن شیمیدانان

---

۱ - Arthur D. Little

۲ - A.K. Krupski

آلمانی»[۱] آغاز شد و در سال ۱۹۲۶، «انجمن آلمانی طراحی تجهیزات شیمیایی»[۲] از انجمن قبلی سر برآورد.

رودلف پلانک، متخصص ترمودینامیک و صنعت تبرید کارلسروحه در ترم زمستان سال ۱۹۲۸ تعدادی سخنرانی توسط امیل کرچباوم[۳]، ۲۸ ساله، در دانشگاه فنی کارلسروهه در باره طراحی تجهیزات صنایع شیمیایی برای مهندسان مکانیک ترتیب داد که سبب ایجاد اولین انستیتوی مهندسی شیمی آلمان گردید [۱۱].

جدول ۲ شامل دانشکده‌های مهندسی شیمی که هم‌اکنون در دانشگاه‌های آلمان و دانشگاه‌های فنی در طی این قرن وجود دارد، نیست. در این‌جا فقط می‌توان یادآوری کرد که این‌ها همراه با دانشکده‌های صنعتی دیگر صرفاً فرایندهای شیمیایی را در یک نوع تجمع تجارب تشریح می‌کردند، نه این‌که موضوع را از جنبه‌های علوم و مهندسی بشکافند. با وجود این باید به آن‌ها به عنوان گامی در توسعه مهندسی شیمی به صورت یک علم نگریست.

در آلمان تا پایان جنگ جهانی دوم، توسعه مهندسی شیمی کند بود، در حالی که در سایر کشورهای صنعتی این امر خیلی سریع پیش می‌رفت. امروزه انستیتوهای مهندسی شیمی تقریباً در تمام دانشگاه‌های مشهور آلمان وجود دارند. تعداد زیاد فارغ‌التحصیلان مهندسی شیمی نشان می‌دهد که آنان بدلیل طبیعت بنیانی و همگانی آنچه که می‌آموزند، نه فقط در صنایع شیمیایی، بلکه در هر صنعتی خواهان دارند.

طی چندین دهه، مطالعه عملیات واحد و اصول آن‌ها از موضوعهای اساسی آموزش بود. هم‌اکنون بر موضوعاتی که به پیچیدگی فرایندها مربوط است، از قبیل سنتز و آنالیز فرایند، دینامیک سیستم، مهندسی کنترل و مهندسی اطلاعات بسیار تأکید می‌شود و اظهار نظرهای علمی گسترده‌ای در مجلات مهم و در کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی علمی در مورد این موضوعات انجام می‌شود.

---

۱ - Gesellschaft Deutscher Chemiker ۲ - DECHEMA

۳ - Emil Kirchbaum

جدول ۲ تأسیس مهندسی شیمی

۱۸۸۰	آموزش مهندسی شیمی در دانشگاه ام. آی. تی شروع شد
۱۸۹۵	اولین مهندسان شیمی در دانشگاه فنی کپنهاک
۱۹۰۸	تأسیس انجمن مهندسان شیمی امریکا (ای. سی. اچ. ای [۱])
۱۹۰۹	ایجاد کرسی فرایندها و تجهیزات در صنایع شیمیایی (آی. کی. کروپسکی [۲]) در انستیتو فنی سن پترزبورگ
۱۹۱۱	آموزش مهندسان شیمی در دانشگاه سلطنتی علوم و تکنولوژی لندن
۱۹۱۲	تأسیس رشته مستقل فرایندها و تجهیزات صنایع شیمیایی در دانشکده فنی عالی مسکو. (تی. ای. تیسنکو [۳])
۱۹۱۸	تشکیل گروه متخصصان تجهیزات مهندسی شیمی در انجمن شیمیدانان آلمان
۱۹۲۰-۱۹۲۵	ایجاد کرسی مهندسی شیمی در ۱۴ دانشگاه امریکا
۱۹۲۱	تأسیس انستیتو مهندسی شیمی در لندن
۱۹۲۲	ایجاد اولین کرسی مهندسی شیمی در دانشگاه سلطنتی کیوتو
۱۹۲۳	آموزش مهندسان شیمی در دانشگاه لندن
۱۹۲۶	تأسیس انجمن آلمانی طراحی تجهیزات صنایع شیمیایی المان. دخما (ام. بوخنر [۴])
۱۹۲۷	برپایی اولین کرسی مهندسی شیمی در پلی‌تکنیک سلطنتی میلان
۱۹۲۸	تأسیس کرسی و انستیتوی طراحی تجهیزات صنایع شیمیایی در دانشگاه فنی کارلسروهه (ای. کریشباوم [۵])

۵. ظهور تئوری‌ها در مهندسی شیمی: جریان چندفازی

با غور بیش‌تر در این افکار، برمی‌گردیم به جنبه‌هایی از تاریخ نظریه‌های مهندسی شیمی. نظریه چیست؟ با ذکر موضوعی توسط پرفسور منفرد هامپ [۶] [۱۲] که در دانشگاه فنی دارمشتات [۷]

---

۱ - AICHE

۲ - A. K. Krupski

۳ - T. A. Tiscenko

۴ - Dechema (M. Buchner)

۵ - E. Krischbaum

۶ - Manfred Hampe

کشف و نقل شد می‌توان به این سؤال پاسخ داد که عبارت بود از سند مکتوبی به‌نام «نظریه جریان چندفازی» که به زبان لاتین در یکی از آثار فرهنگ اروپا یعنی فلسفه طبیعی پدیده‌های ریاضی [۸] توسط اسحاق نیوتن تشریح شده است.

پدیده‌ها حدود ۳۰۰ سال پیش در سال ۱۶۸۷ در سه کتاب منتشر شد. کتاب دوم این سه کتاب در باره دینامیک سیالات است. علاوه بر هیدروستاتیک، خروج جریان از میان دیافراگم‌ها و انتشار صوت؛ در باره جریان دوفازی نیز بحث می‌کند. چه عاملی باعث این فکر در نیوتن شد؟ او می‌خواست قوانین خود در باره حرکت را در تجارب خود در دینامیک سیالات به کار بندد و آن، مسیر پرواز گلوله‌های توپ، حرکت کشتی‌ها در دریا و غیره بود. او توانست در رابطه با مقاومتی که اشیاء با آن مواجه می‌شوند تحقیق کند. او اولین کسی بود که مقاومت اصطکاکی را به‌عنوان یک نیرو مطرح ساخت و توانست به وجود شتاب و همچنین سرعت حرکت اشیای مورد مشاهده در نتیجه نیرو پی ببرد، چرا که او حتی قبل از ویلهلم لایب‌نیز گتفرید [۹] اولین کسی بود که توانست از یک معادله دیفرانسیل انتگرال بگیرد.

وقتی شیئی در سیالی سقوط می‌کند با مقاومت از طرف ذرات سیال مواجه می‌گردد. نیوتن این‌ها را تحت عنوان نیروی کشش [۱۰] مطرح کرد و آن را به گرانروی و چگالی محیط و نیز به اصطکاک نسبت داد. اما او اطلاعات آزمایشی، موجود نداشت که کار را ادامه دهد و بنابراین مجبور شد نظریه‌های خود را در مورد نیروی کشش به‌صورت روابطی ارائه کند.

فرضیه‌ای که در این‌جا مورد توجه است بیان می‌کند که نیروی کشش متناسب با مجذور سرعت است. خود نیوتن هم از بین چند فرضیه این را مهم‌تر می‌دانست. شکل، مشتمل بر سه معادله برای نیروی کشش تحت شرایط مرزی مختلف است. آن‌ها به روش امروزه نوشته شده‌اند که در آن فقط ضریب عددی، بسته به نوع فشار و سیال فرق می‌کند. نیوتن میل داشت که تجربه و تعیین کند که کدام فاکتور مناسب‌ترین است.

---

۷ - Darmastadt

۸ - Philosophia Naturals Principia Mathematica

۹ - Wilhelm Leibniz Gottfried

۱۰ - Drag

جدول ۴ نیروهای وارد بر یک کرهٔ غوطه‌ور

تصادم کاملاً قابل ارتجاع	$F_w = \pi\, r_k^{۲}\, \rho_m\, \nu^{۲}(\zeta = ۲/۰۰)$
تصادم کاملاً صلب	$F_w = \frac{۱}{۲}\, \pi\, r_k^{۲}\, \rho_m\, \nu^{۲}(\zeta = ۱/۰۰)$
برای سیستم‌های آبکی	$F_w = \frac{۱}{۴}\, \pi\, r_k^{۲}\, \rho_m\, \nu^{۲}(\zeta = ۰/۵)$

او یک ستون چوبی مربع‌شکل به ارتفاع ۲/۸ متر و طول ضلع داخلی ۱۱۸/۶ میلی‌متر ساخت. او این محفظه را با آب باران پر کرد و از کره‌های سربی که از موم پوشیده شده بودند استفاده کرد. به این طریق او توانست با قطر تقریباً ثابت دانسیته را تغییر دهد. او مدت زمان افتادن را به وسیله پاندول اندازه‌گیری و یادداشت کرد. او آزمایش خود را متوقف نکرد و آن‌ها را ادامه داد و از جمله آزمایشی در طاق مرتفع ۶۷ متری کلیسای سنت‌پل [۱] در لندن انجام داد.

حالا نیوتن مسیر افتادن گلوله‌ها را با توجه به نتایج آزمایشگاهی و نتایج تئوری به‌دست آمده از مدل‌های ریاضی برای مسیر افتادن گلوله‌ها مشخص کرده است. از عبارات ریاضی او می‌گذریم، زیرا آن‌ها به‌صورت معادله بیان نشده، بلکه مثل همیشه در این حالت، به روش تشابه هندسی که دنبال کردن آن مشکل است بیان گردیده است. آنچه او برای عوامل نیروی کشش محاسبه کرد با نتایج پژوهش‌های مدرن امروزی می‌خواند. این مثال مستند در تئوری سیالات چندفازی نشان می‌دهد که تمام عناصر ضروری برای روش‌های علمی به‌وسیله یک مهندس مورد استفاده قرار گرفته است، شروع کار با انتخاب موضوعات مهم کاربردی است، و حرکت بر اساس مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی، و سرانجام اثبات تجربی.

با استفاده از مثالی از کار نیوتن برای نشان‌دادن چگونگی شکل‌گیری تئوری‌ها، در عین حال به یکی از رشته‌های اساسی مهندسی شیمی به‌نام فرایندهای جریان انتقال مواد توجه کرده‌ایم. همان‌طور که می‌دانیم همه عملیات واحدهای فازهای مختلف سیال بر اساس فرایندهای انتقال مواد هستند. بنابراین جای تعجب نیست که مهندسان شیمی به تحقیقات وسیع و عمیقی در مورد سیالات چندفازی پرداخته‌اند.

---

۱ - St Paul

۶. ظهور تئوری‌های مهندسی شیمی: اصول مشابه‌سازی

انتقال حرارت و جرم و مهندسی واکنش برای مهندسی شیمی و ظهور آن به‌عنوان یک رشته مستقل اهمیت یکسان دارند. جالب خواهد بود که برای اثبات شکل‌گیری تئوری‌ها از این موضوعات به عنوان مثال استفاده گردد. با این حال آن‌ها به روش نامستقیم‌تر با بررسی ظهور پدیده تشابه که البته در این موضوعات اهمیت دارند، به کار می‌روند [۱۴]. اصول تشابه، روشی را به ما می‌دهد که با آن می‌توانیم کارخانه‌های بزرگ صنعتی و تجهیزات آن را با استفاده از نتایج تجربی بر روی مدل‌های کوچک طراحی کنیم. مطمئناً دانش این موضوع و اهمیت اصلی پدیده تشابه برای مهندسان شیمی شناخته شده است، بنابراین فقط عنوان‌های کوتاهی ارائه می‌شوند. مهم‌ترین مشخصه‌های پدیده تشابه عبارتند از:

۱. کاهش تعداد پارامترهای استفاده شده برای توصیف یک مسأله به این دلیل که تنها گروه‌های بدون بعد مهم هستند.

۲. تضمین انتقال شرایط کاری مطلوب از یک مدل به یک سیستم صنعتی حقیقی (افزایش مقیاس)، زیرا باید گروه‌های بدون بعد مربوط در مدل و سیستم صنعتی دارای مقدار عددی یکسان باشند.

۳. بینش عمیق‌تر نسبت به پدیده‌های فیزیکی، زیرا بدون دانش عمیق از یک فرایند فیزیکی، گروه اعداد بدون بعد را نمی‌توان تعیین کرد.

۴. انعطاف‌پذیری بیش‌تر در انتخاب پارامترها و تضمین برون‌یابی تک تک پارامترها در محدوده مورد بررسی.

۵. عدم وابستگی به سیستم‌های اندازه گیری.

امکانات کاربرد موفقیت آمیز اصول شبیه‌سازی بسیار زیاد است، اما موضوع این بحث نیست.

۷. شبیه‌سازی هندسی

اکنون تاریخچه گسترش اصول شبیه‌سازی را دنبال می‌کنیم. آغاز آن به زمان‌های بسیار قدیم برمی‌گردد. حتی در نوشته‌های قدیمی می‌توانیم قوانین ساده تجربی را از تناسب هندسی بیابیم.

برای مثال در سال ۱۰ قبل از میلاد معمار و مهندس رمی ویرتوویوس[۱] نوشت [۲]: «واقعیت این است که هر کاری را با یک روش یکسان نمی‌توان انجام داد. رفتار بعضی از اشیا در اندازه بزرگ یا کوچک یکسان است. اشیا دیگر را نمی‌توان مدل‌سازی کرد و فقط باید در اندازه طبیعی خود ساخته شوند».

قانون نسبت شبیه‌سازی هندسی که نسبت طول‌ها و سطح‌ها است تا بعد از رنسانس، یعنی بیش از ۱۵۰۰ سال، فقط روش کمی به‌شمار می‌رفت و کاربرد اصلی آن در معماری و مساحی بود.

۸. شبیه‌سازی مکانیکی

نیوتن اولین کسی بود که در کتابش به‌نام پدیده‌ها مطرح کرد که فرایندهای مشابه از نظر هندسی، از نظر مکانیکی هم مشابهند. او پدیده تشابه مکانیکی را فرمول‌سازی کرد و آن را نیروهایی با طبیعت همسان اعلام کرد. صد سال بعد از نیوتن، فرمول‌سازی برای اصول تشابه مکانیکی آغاز گردید. فیزیکدانان و ریاضیدانان فرانسوی، ژان بپتیست فوریه[۲] برای این مورد، نظر قطعی داد. او قوانین را در رابطه با همسانی تمام معادلات فیزیکی با ابعاد صحیح بیان کرد. صدسال بعد، ریاضیدان فرانسوی برتراند[۳]، اثبات ریاضی قوانین شبیه‌سازی مکانیکی را حل کرد. بنابراین تا اواسط قرن نوزدهم دو روش برای برقراری گروه‌های بدون بعد وجود داشت که هر دو آن‌ها تا به امروز استفاده می‌شوند، یکی آنالیز ابعادی و دیگری مشتق‌گیری، یعنی توصیف فرایند توسط معادلات دیفرانسیل. پژوهشگران دیگری نیز درگیر علمی کردن و همگانی کردن پدیده شبیه‌سازی گردیدند که نمی‌توان از همه آن‌ها در این‌جا نام برد.

کاربرد عملی اصول شبیه‌سازی، ابتدا به مسائل هندسی و مکانیکی در مواردی که کار با نسبت‌های بدون بعد نیروها یا کمیت‌های هندسی لازم بود محدود می‌شد. برای مثال در برقراری تعادل پیستون و شاتون توسط جیمز وات[۴] در شروع قرن نوزدهم، یا برای مدل‌های تجربی سازه‌های مشهور پل‌های بریتانیا، وکنوی[۵] بر روی ترعه منیا[۶] خارج از ویلز[۷]، و در نیمه اول قرن

---

۱ - Virtuvius
۲ - Jean Babtiste Fourier
۳ - Bertrand
۴ - James Watt
۵ - Conway
۶ - Menia Strait

نوزدهم (۱۸۴۹-۱۸۴۵) توسط رابرت استیونسن[۸] و توماس تلفورد[۹] موج دیگری از رشد رفت و آمد اقیانوسی و در پی آن احتیاج به کشتی‌های با کارایی بالا موجود بود. در دهه ۱۸۵۰ مهندس سازه‌ها و راه‌آهن ویلیام فراود[۱۰] قراردادی با نیروی دریایی بریتانیا امضا کرد که بموجب آن نه فقط بررسی مدل، بلکه بررسی کشتی‌های بزرگ و حقیقی را به عهده گرفت. به‌عنوان معیاری برای انتقال نتایج آزمایش‌های مدل‌سازی به کشتی‌های حقیقی، او یک گروه بدون بعد را ابداع کرد که بعدها به‌نام او نام‌گذاری شد. آنچه ما امروز به‌عنوان عدد فراود می‌شناسیم نسبت بین اینرسی و جاذبه‌ای است، که این نسبت دو نیروی متفاوت است، که از نقطه نظر ما یک بعد جدید برای اصول مشابه‌سازی است که شامل رفتار دینامیکی یا فرایندهای حرکت است. فراود سال‌ها برای به اثبات رساندن این عقیده جنگید.

۹. شبیه‌سازی دینامیکی

کمی بعد از فراود در حدود دهه ۱۸۷۰ در طی جنگ فرانسه - پروس، فیزیکدان و فیزیولوژیست آلمانی هرمن فون هلمهولتز[۱۱] که بر روی قابلیت هدایت بالن‌ها کار می‌کرد، دریافت که دو جریان متفاوت موقعی دارای حل یکسان در معادلات دیفرانسیل توصیفی هستند که علاوه بر تشابه هندسی و مکانیکی، نسبت نیروی اینرسی و اصطکاکشان متشابه باشد. با پیشنهاد آرنولد سامرفلد[۱۲] فیزیکدان، این معیار عدد رینولدز نامیده شد، اگرچه آزبورن رینولدز[۱۳] نتایج خود را ده سال بعد از هرمن فون هلمهولتز منتشر کرد و یک بار دیگر این جمله بنیادی از تاریخ ریاضی اثبات شد که: «پدیده‌ای که نام شخصی را به خود گرفته است یقیناً از شخص دیگر سرچشمه گرفته است».

شاید عدد رینولدز اولین عدد از گروه بدون بعد شبیه‌سازی باشد که توسط مهندسان و به‌ویژه مهندسان شیمی به کار گرفته شده است. اصول بنا شده توسط هلمهولتز، فراود و رینولدز برای

---

۷ - Wales

۸ - Robert Stephenson

۹ - Thomas Telford

۱۰ - William Froude

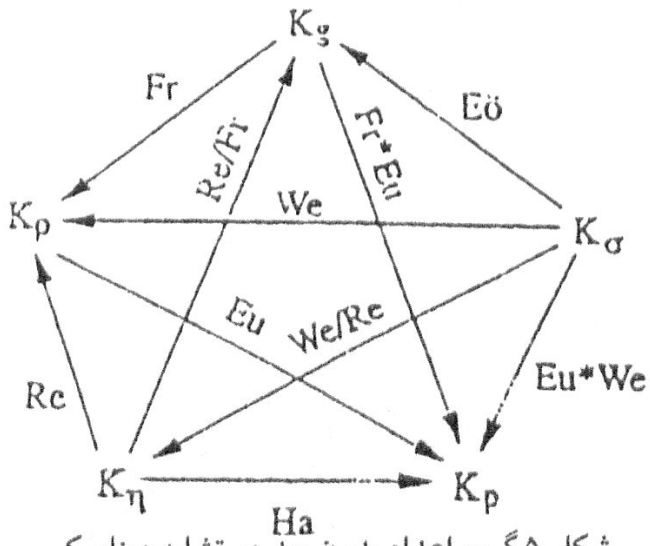
۱۱ - Hermann Von Helmholtz

۱۲ - Arnold Sommerfeld

۱۳ - Osborne Reynolds

مشابه‌سازی دینامیکی به عنوان یک رابطه بدون بعد بین دو نوع مختلف از نیرو، میوه‌های دیگری به فرم گروه‌های بدون بعد دیگر به بار آورده است.

شکل ۵ نظر پ. گراسمن [۱] [۱۴] در مورد منظم کردن پارامترها در یک پنج ضلعی را نشان می‌دهد، با عدد فراود به‌عنوان نسبت جرم و وزن، عدد رینولدز به‌عنوان نسبت بین جرم و اصطکاک و غیره. اکنون این گروه‌های بدون بعد در روش‌های محاسباتی مهندسی شیمی به‌طور گسترده‌ای به کار می‌رود.



شکل ۵ گروه اعداد بدون بعد در تشابه دینامیکی

Eu = لئونارد اولر [۲] (۱۷۰۷-۱۷۸۳)

Fr = ویلیام فراود (۱۸۷۹-۱۸۱۰)

Ha = گوتیلف هاگن [۳] (۱۷۹۷-۱۸۸۴)

Re = آزبورن رینولدز (۱۹۱۲-۱۸۴۲)

We = موریتز وبر [۴] (۱۹۵۱-۱۸۷۱)

Eo = رولند و. اتووس [۵] (۱۹۱۹-۱۸۴۹)

Kg = نیروی وزن

Kρ = نیروی جرم ضرب در شتاب

Kσ = نیروی کشش سطحی

Kη = نیروی اصطکاک

kρ = نیروی حاصل از فشار

---

۱ - P. Grassmann

۲ - Leonard Euler

۳ - Gotthilf Hagen

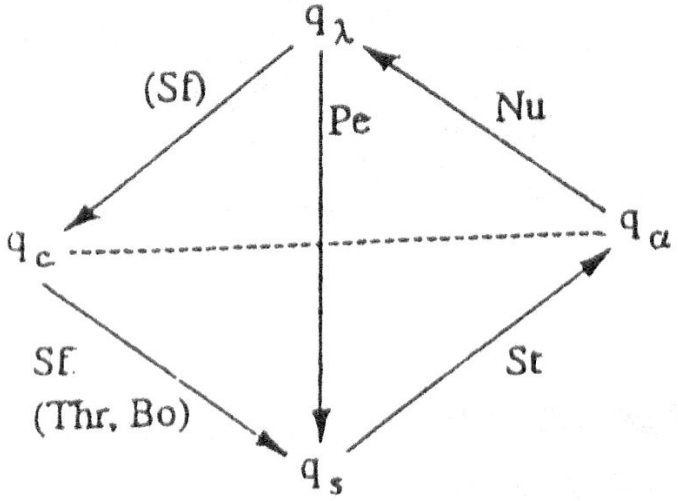
۴ - Moriz Weber

۵ - Roland V. Eotvos

۱۰. شبیه‌سازی حرارتی

در پایان قرن نوزدهم اهمیت مهندسی حرارت برای پیشرفت‌های صنعتی و بخصوص برای فرایندهای شیمیایی بزرگ هر چه بیش‌تر آشکار شد و بسیاری از دانشمندان و مهندسان شروع به بررسی آن کردند. شکوفایی ترمودینامیک مهندسی آغاز شد و ویلهلم نوسلت [۱] «اصول شبیه‌سازی حرارتی» را معرفی کرد.

زمانی که نوسلت دانشجوی دانشگاه صنعتی مونیخ بود، توجه فیزیکدان صنعتی اسکار نوبلاوچ [۲] به مسائل عملی انتقال حرارت معطوف شده بود. نوسلت بعد از گرفتن درجه دکتری سخنرانی خود را در سال ۱۹۰۷ در درسدن [۳] تحت عنوان «انتقال حرارت در لوله‌ها» ایراد کرد. در آن زمان درسدن زیر نظر ریچارد مولیر [۴] مرکز ترمودینامیک صنعتی در آلمان بود. نوسلت برای اولین بار در این رساله از گروه‌های بدون بعد مهندسی حرارت استفاده کرد.



شکل ۶ گروه اعداد بدون بعد در تشابه حرارتی

Nu = ویلهلم نوسلت (۱۹۵۷-۱۸۸۲)

Pe = ژان س. ای. پکله [۵] (۱۸۵۷-۱۷۹۳)

α = جابجایی

λ = هدایت

---

۱ - Wilhelm Nusselt

۲ - Oskar Knoblauch

۳ - Dresden

۴ - Richard Mollier

۵ - Jean C.E. Peclet

St = توماس استانتون [۱] (۱۹۳۱-۱۸۶۵)

Sf = ژوزف استفان [۲] (۱۸۹۳-۱۸۳۵)

Thr = مردیت ترینگ [۳]

Bo = لودویگ بولتزمن [۴] (۱۹۰۶-۱۸۴۴)

c = انتقال

s = تشعشع

شکل ۶گروه‌های بدون بعدی که امروزه در تشابهات حرارتی بیش‌تر از همه استفاده می‌شوند را به روش تصویری گراسمن [۵] نشان می‌دهد. نسبت جریان حرارتی در جابه‌جایی و هدایت، «عدد نوسلت» نامیده می‌شود و وابستگی آن به عدد رینولدز و عدد پرنتل [۶] اساس انتقال حرارت در مهندسی شیمی است.

ضمناً، روش نوسلت در وارد کردن پدیده مشابه‌سازی در فرایندهای حرارتی به‌شدت مورد انتقاد قرار گرفت و در آلمان برای مدت طولانی تا دهه ۱۹۵۰ مورد قبول واقع نشد.

۱۱. تشابه در انتقال جرم

ارنست اشمیت [۷] با تز مهندسی‌اش به نام «تبخیر و انتقال حرارت» اساس کاربرد تشابه در زمینه انتقال جرم را پایه گذاری کرد [۱۵]. وی او را به عنوان یک پروفسور جوان مهندسی حرارت در سال ۱۹۲۹ در دانشگاه فنی دانزیگ [۸] معرفی کرد. با توجه به این‌که اشمیت و نوسلت هر دو دانشجوی نوبلاوچ بوده‌اند، در کارهای علمی خود خیلی به هم نزدیک هستند و در سال ۱۹۵۲، اشمیت به عنوان پروفسور دانشگاه فنی مونیخ جانشین نوسلت شد. با کاربرد اصل تشابه در مورد معادلات دیفرانسیل مربوط، اشمیت نشان داد که فرایندهای انتقال حرارت، انتقال جرم و انتقال مومنتوم می‌توانند به‌وسیله گروه‌های بدون بعد مشابه نمایش داده شوند.

---

۱ - Thomas Stanton

۲ - Josef Stefan

۳ - Meredith Thring

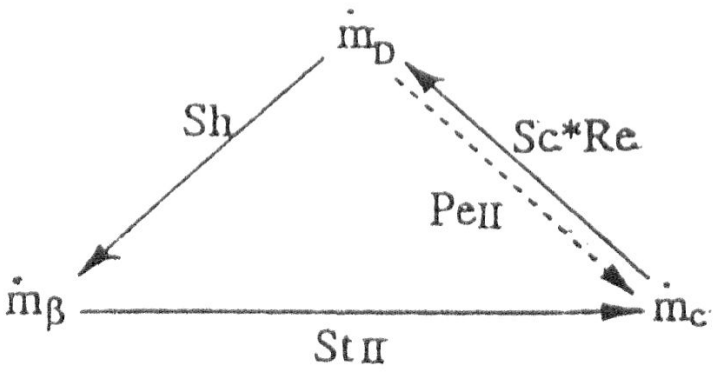
۴ - Ludwing Boltzmann

۵ - Grassmann

۶ - Prandtl

۷ - Ernest Schmidt

۸ - Danzig



شکل ۷ گروه اعداد بدون بعد در تشابه انتقال جرم

Sc = ارنست اشمیت [۱] (۱۸۹۲-۱۹۷۵)

Sh = توماس کی. شروود [۲] (۱۹۰۳-۱۹۷۶)

St_{II} = استانتون - زاهل [۳] برای انتقال جرم

Pe_{II} = پکله - زال [۴] برای انتقال جرم

m_D = نفوذ

m_C = جابجایی

m_B = انتقال

موضوع مهم در این‌جا وابستگی انتقال جرم به نفوذ است که به‌عنوان «عدد شروود» نامیده شد. طی دهه ۱۹۲۰ با توجه به این که مهندسی شیمی در امریکا گسترش یافته بود، از اصل تشابه در ارتباط با انتقال جرم استفاده می‌شد. این موضوع در آلمان بعد از جنگ جهانی دوم به کار گرفته شد. تعدادی گروه‌های بدون بعد به‌وجود آمدند که اعداد لوئیس [۵]، کلبورن [۶]، استانتون [۷] و چیلتون [۸] نامیده شدند. دانشمندان کارهای اشمیت را در معرض توجه جامعه علمی بین‌المللی قرار دادند و عدد اشمیت را به مراجع تخصصی معرفی کردند.

۱۲. تشابه در واکنش‌های شیمیایی

چگونه اصل تشابه می‌تواند در مورد *واکنش‌های شیمیایی* به کار گرفته شود؟ می‌توان به کارهای

---

۱ - Ernest Schmidt

۲ - Thomas K. Sherwood

۳ - Stanton - Zahl

۴ - Peclet - Zahl

۵ - Lewis

۶ - Colburn

۷ - Stanton

۸ - Chilton

پیشگامانه دانشمند آلمانی گارهورد دمکهلر[۱] مراجعه کرد [۱۱]. بعد از این‌که وی درجه دکتری خود را گرفت دو سال را در صنعت در مونیخ سپری کرد. او توسط آنولد اوکن[۲] در سن ۲۶ سالگی به انستیتوی شیمی فیزیک گتیگن دعوت شد. به پیشنهاد اوکن، دمکهلر توجه خود را به سرعت واکنش‌های شیمیایی در جریانها مبذول داشت و مقالاتی در مورد «تأثیر جریان، نفوذ و انتقال حرارت روی ظرفیت راکتورها» نوشت. به‌وسیله معادلات دیفرانسیل جرم، مومنتوم و موازنه حرارت، دمکهلر سعی کرد که اصل تشابه فرایندهای شیمیایی را به کار ببندد. او چهار گروه بدون بعد یافت که بعداً «اعداد دمکهلر» نام گرفتند.

$Da_{(I)}$ = افزایش شیمیایی اجزا با واکنش وابسته به افزایش توسط جابجایی

$Da_{(II)}$ = افزایش شیمیایی اجزا با واکنش وابسته به افزایش نفوذ

$Da_{(III)}$ = گرمای واکنش شیمیایی وابسته به انتقال حرارت کلی

$Da_{(IV)}$ = گرمای واکنش شیمیایی وابسته به هدایت حرارتی

دمکهلر دریافت که امکانات محدودی برای افزایش مقیاس فرایندها توسط این گروه کمیت‌های بدون بعد وجود دارد. کارکرد راکتور فقط می‌تواند از ۲ تا ۵ برابر کارکرد اصلی آن افزایش مقیاس داده شود. به‌دلیل تعداد زیاد کمیت‌های مؤثر دیگر، اصل تشابه در مرحله افزایش مقیاس بزرگ‌تر کارایی ندارد. علی‌رغم تلاش‌های بسیار و متنوع سایر دانشمندان در طی سال‌ها که در مرجع [۲] گزارش شده‌اند در این امر، پیشرفتی حاصل نشده است.

۱۳. نتیجه گیری

از نظر تکنولوژی صنعتی، مهندسی شیمی یک رشته بسیار قدیمی است، اما فقط درصد سال گذشته در دنیا به‌عنوان یک رشته علمی و مهندسی مستقل ظهور کرده است. مهندسی شیمی خیلی از زمینه‌های تخصصی را با به کار بردن پایه‌های علمی آن‌ها با هم ترکیب کرده و در عین حال آن‌ها را پیشرفت داده است. بعضی زمینه‌های نظری از قبیل اصل تشابه، کم و بیش به نهایت خود رسیده‌اند، اما آینده آبستن سؤالاتی است؛ از قبیل:

توسعه فرایندهایی که در عین حال از محیط زیست و منابع محافظت می‌کنند، به‌عبارت دیگر

---

۱ - Garhord Damkohler

۲ - Arnold Eucken

آغاز کنیم با کیفیت بالای محصول،

- دینامیک و کنترل فرایند،

- تحلیل و توصیف مهندسی پدیده‌های سطحی و واردکردن آن‌ها در طراحی راکتورها و تجهیزات جداسازی،

- بررسی تئوری مهندسی فرایند برای مواد جامد یا مهندسی حفاظت محیط زیست.

آینده درخشانی در برابر مهندسان شیمی قرار گرفته است.

۱۴. مراجع

1. K. Krug, Zur Entwicklungsgeschichte der Verfahrenstechnik von den Quellen bis zur Emanzipation. Dissertanon B, Dresden, 1983.
2. K.P. Meinicke, Der Theoriebildungsproze β in der Harausbildungspriode der Verfahrenstechnik.
3. E. Blass, T. Liebl, M. Haberl, Solvent Extraction - a historical review. Proc. ISED 96, Melbourne, Vol. 1,3/10.
4. A. Libavius, Die Alchemie des Andreas Libavius. Ein Lehrbuch der Chemie aus dem Jahre 1597. Verlag Chemie, Weinheim, 1964.
5. G. Agricola, De re Metallica. Basel 1561 (Deutsche Ubersetzung von C. Schiffner), Berlin, 1928.
6. L. Deibele, Die Entwicklung der Destillationstechnik im 19. Jahrrhundert. Dissertation, Techn. Universitat Munchen, 1992.
7. K. Krug, Zur Entwicklungsgeschichte des Chemieingeneieurwesens. Chem. Ing. Tech. 62(1990)3, 183/190.
8. E. Hausbrand,

   a) Die Wirkungsweise der Rectificir - und Destillir - Apparate. Springer, Berlin, 1893.

   b) Das Trocknen mit Luft und Dampf. Springer, Berlin, 1898.

c) Verdampfen, Kondensieren und Kuhlen. Springer, Berlin, 1899.

9. R. Landau, Chemical engineering, key to the growth of the chemical process industries. AICHE Symp. Ser. 89(1990)274, 9/39.
10. H. H. Echardt, R. Seiden, J.A. Reavell, S. Kamei, H. Molinari, Die Ausbildung des Chemie-Ingenieurs im Ausland. Teil I, Amerika, Teil II, England. Tiel III, Japan, Teil IV, Russiand. Teil V, Danemark. Teil VI, Italian, Die Chemische Fabrik 5(1932)14, 115 ff.
11. E. Wicke, G. Damkohker in E. Blass, VDI - Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, gestern - heute - morgen. K.G. Saur - Veriag, Munchen, 1984.
12. M. Hampe, Ein fruher Beitrage zur Mehrphasenstromung, Newtons Widerstand - sgesetz fur die Kugelumstromung. Vortarg vor dem GVC - Fachausschu β Mehrphasenstromungen am 9. und 10.3.1990 in Berlin, Chem-Ing. - Tech. 62(1990)7, S. 594.
13. Newton: Philosophiae naturalis principia mathematical. Aufl. London 1687, 2. Aufl. Cambridge 1713, 3. Aufl. London 1726.
14. P. Grassmann: Physikalische Grundlagen der Verfahrenstechnik. Shalle and Saueflander, Frankfurt a. M. and Aarau, 3. Aufl. 1983.
15. U. Grigull: Selected papers of Wilhelm Nusselt and Ernst Schmidt. Hemisphere Publishing Corp., Washington - New York - London, 1983.
16. E. Blass, The history of Chemical engineering and its theories. 12th international Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA'96 Praha, Czeck Republic 25-30 August 1996.

(تاریخ دریافت مقاله: ۷۷/۷/۲۷)