

# پیدایش آموزش مهندسی شیمی و تاریخچه 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 - بدان جا 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 و مرسه‌بورگ 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 انجام دادن کارها پایبند بودند و هیچ‌گونه بررسی سیستماتیک در باره فرایند فیزیکی و فیزیکی 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.

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 نتیجه‌گیری به عمل 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 به طور کلی مهندسی شیمی را به دست 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<sup>۱</sup> مربوط به سال ۱۹۸۳ [۱] و کلاوس پیتر مینیک<sup>۲</sup> که در سال ۱۹۸۹ نوشته شد [۲] استفاده به عمل 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 به منظور ساخت عطر و دارو نمونه‌ای از این تلاش‌ها است. می‌توان گفت که قدیمی‌ترین تکنولوژی‌ها در مرحله بین دوران انسان شکارچی و دوران انسان شهرنشین به وجود آمد. کشاورزی و گله‌داری فقط موقعی موفق است که نظم پدیده‌های طبیعی شناخته شود و به عبارت دیگر زمانی که انسان با مفهوم فیزیک آشنا شده باشد. فرایند شهرنشین شدن انسان حدود ۷۰۰۰ سال پیش در دوران نئولیتیک<sup>۳</sup> بوقوع

۱ - Kkaus Krug

۲ - Klaus - Peter Minicke

۳ - Neolithic

پیوست.

گاهواره تمدن بشر در آسیای صغیر (ترکیه امروز) و در بین‌النهرین، سرزمین بین‌رودهای 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 پرستش‌مردگان 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 روم 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 انجام دادن کارها پای‌بند بودند، هیچ‌گونه بررسی سیستماتیک در مورد فرایند فیزیکی و فیزیک و شیمیایی به‌عمل نمی‌آمد. در اموری از قبیل دارو، استخراج شکر و به‌ویژه 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، کم‌کم 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<sup>۱</sup> توسط دانشجوی آلمانی آندره‌آس لیبایوس<sup>۲</sup> اهل فرانکفورت منتشر شد [۴]. قسمت اول این کتاب به مطالعه روش‌ها می‌پردازد. لیبایوس 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، لیبایوس را پدر پدیده عملیات واحد نامید.

کار بزرگ لیبایوس 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 لیبایوس 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 به وجود 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 به وجود نیاورد. از این رو 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

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 به طور 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<sup>۱</sup> برای تهیه کربنات کلسیم روشن کرد. سولوه متخصص شیمی صنعتی بلژیکی (ارنست سولوه ۱۹۲۲-۱۸۳۸)<sup>۲</sup> که مهندسی را نزد خود فرا گرفته 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<sup>۳</sup> 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 به علاوه، 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 به صورت 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.

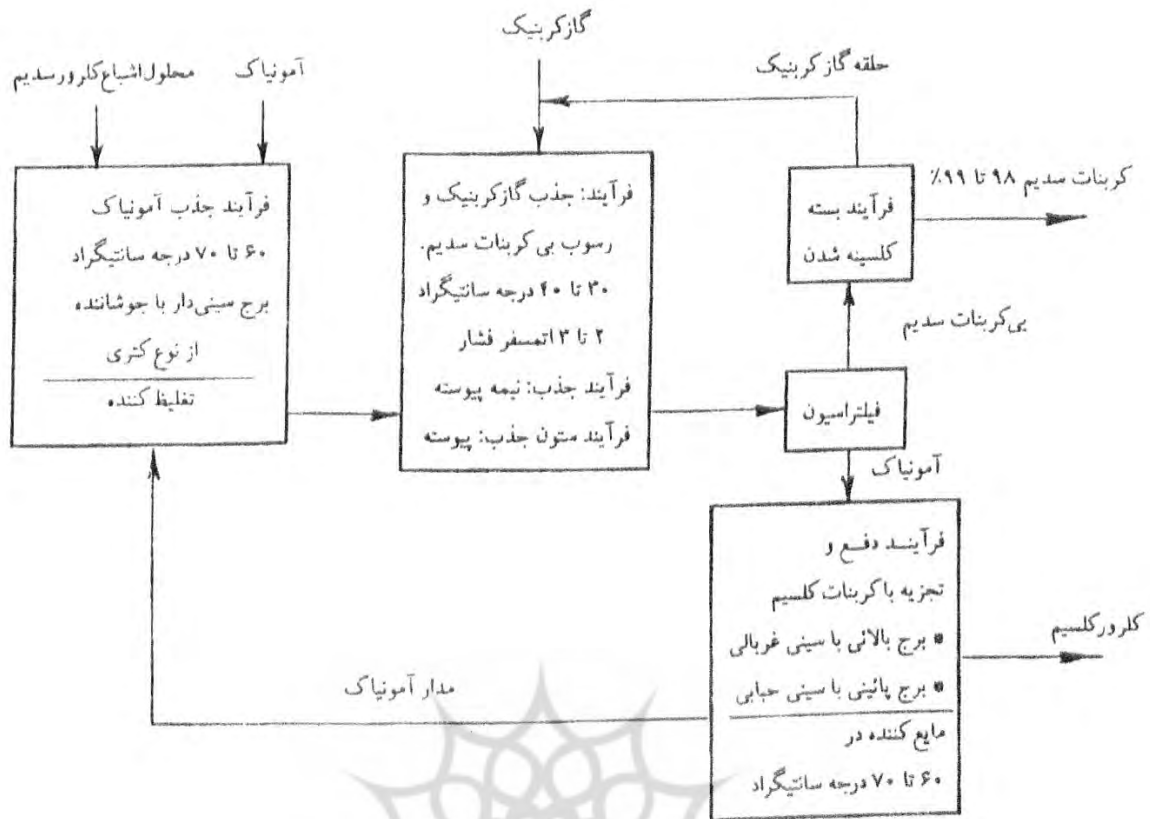
مهندسی شیمی با فرایند هابر بوش<sup>۴</sup> برای تولید آمونیاک از سال ۱۹۱۰ به بعد ظاهر شد، و این ۵۰ سال بعد از فرایند سولوه است.

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

- 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<sup>۱</sup> در لایپزیک بود. می توان نشان داد که از آغاز قرن جاری در صنایع شیمیایی آلمان، متخصصان شیمی فیزیک و شیمی آلی به طور مساوی به هم پیوستند و همکاری این دو با مهندسی مکانیک، ایده مهندسی شیمی به عنوان یک شاخه مستقل از علوم مهندسی را پس زد. به همین دلیل کتاب اوژن هاوس برند<sup>۲</sup> در مورد کارکرد و محاسبه دستگاه های جداسازی مختلف که در سال های ۱۸۹۰ منتشر شد، به وسیله پژوهشگران آلمانی زبان، نادیده گرفته شد، اگرچه وی از اصول مهندسی شیمی، مانند ترکیب کمی مواد و شاخص های عملیاتی بحث کرده بود [۸]. هاوس برند، قدیمی ترین کارخانه صنعتی ساخت تجهیزات در آلمان به نام هکمن<sup>۳</sup> در لایپزیک را بمدت بیش از ۴۴ سال سرپرستی کرد. در سال های اخیر اوژن هاوس برند را به عنوان پدر اندیشمند پدیده عملیات واحد و همراه با لیبایوس<sup>۴</sup>، به عنوان بنیانگذاران مهندسی شیمی شناخته شدند.

توسعه مهندسی در امریکا در جهت کاملاً مختلفی حرکت کرد. در آن جا شیمی و مهندسی خیلی زود کاربرد مشترکی در مهندسی شیمی به عنوان یک شاخه مستقل پیدا کردند. نیاز به انرژی و ضرورت مکانیزه کردن، الزام بیش تری برای ایجاد کارخانجات بزرگ تر و مخاطره آمیز فرایندهای صنایع شیمیایی آلی را نسبت به آلمان باعث شد. از سال ۱۸۸۸ به بعد، شیمیدانها و مهندسان دوراندیش در ام. آی. تی<sup>۵</sup> به این روند توسعه با عرضه درس هایی در مهندسی شیمی کمک کردند [۷]. آنها امید داشتند که روش های سالم سیستماتیک، علمی و ریاضی را جایگزین تجربه گرایی کنند. جدول ۱ نام عده ای از بنیانگذاران اصلی مهندسی شیمی را در ام. آی. تی - مکانی که مهندسی شیمی در امریکا از آن جا 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، به عنوان 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

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

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 به دلیل 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<sup>۱</sup> برای انجمن مهندسان شیمی امریکا بیانیه زیر را تدوین کرد که یک مهندس شیمی باید بتواند به وسیله 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 حتماً باید از آن در رده امریکا یاد کرد [۱۰]، برای اولین بار در سال ۱۸۹۵ از طریق دانشگاه فنی کپنهاگ 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<sup>۲</sup>، 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 به عنوان 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

آلمانی»<sup>۱</sup> آغاز شد و در سال ۱۹۲۶، «انجمن آلمانی طراحی تجهیزات شیمیایی»<sup>۲</sup> از انجمن قبلی سر برآورد.

رودلف پلانک، متخصص ترمودینامیک و صنعت تبرید کارلسروهه در ترم زمستان سال ۱۹۲۸ تعدادی سخنرانی توسط امیل کرچباوم<sup>۳</sup>، 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 این جا 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

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

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<sup>۶</sup> [۱۲] که در دانشگاه فنی دارمشتات<sup>۷</sup>

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 به نام «نظریه جریان چندفازی» که به زبان لاتین در یکی از آثار فرهنگ اروپا یعنی فلسفه طبیعی پدیده‌های ریاضی<sup>۸</sup> 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 گفت‌فرید<sup>۹</sup> 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<sup>۱۰</sup> مطرح کرد و آن را به گرانش 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 به صورت روابطی ارائه کند.

فرضیه‌ای که در این جا 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 - Darmstadt

۸ - Philosophia Naturalis Principia Mathematica

۹ - Wilhelm Leibniz Gottfried

۱۰ - Drag

جدول ۴ نیروهای وارد بر یک کره غوطه‌ور

$F_w = \pi r_k^2 \rho_m v^2 (\zeta = 2/00)$	تصادم کاملاً قابل ارتجاع
$F_w = \frac{1}{2} \pi r_k^2 \rho_m v^2 (\zeta = 1/00)$	تصادم کاملاً صلب
$F_w = \frac{1}{4} \pi r_k^2 \rho_m v^2 (\zeta = 0/5)$	برای سیستم‌های آبکی

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 سنت پل<sup>۱</sup> در لندن انجام داد.

حالا نیوتن مسیر افتادن گلوله‌ها را با توجه به نتایج آزمایشگاهی و نتایج تئوری به دست آمده از مدل‌های ریاضی برای مسیر افتادن گلوله‌ها مشخص کرده است. از عبارات ریاضی او می‌گذریم، زیرا آن‌ها به صورت 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 به وسیله 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 نشان دادن چگونگی شکل‌گیری تئوری‌ها، در عین حال به یکی از رشته‌های اساسی مهندسی شیمی به نام 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.

## 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 اندازه‌گیری.
- 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 رومی ویرتوویوس<sup>۱</sup> نوشت [۲]: «واقعیت این است که هرکاری 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 به نام 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<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup>، 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 این جا 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<sup>۴</sup> در شروع قرن نوزدهم، یا برای مدل‌های تجربی سازه‌های مشهور پل‌های بریتانیا، وکنوی<sup>۵</sup> بر روی ترعه منیا<sup>۶</sup> خارج از ویلز<sup>۷</sup>، 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<sup>۸</sup> و توماس تلفورد<sup>۹</sup> 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<sup>۱۰</sup> 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 به نام 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<sup>۱۱</sup> 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<sup>۱۲</sup> فیزیکدان، این معیار عدد رینولدز نامیده شد، اگرچه آیزورن رینولدز<sup>۱۳</sup> 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

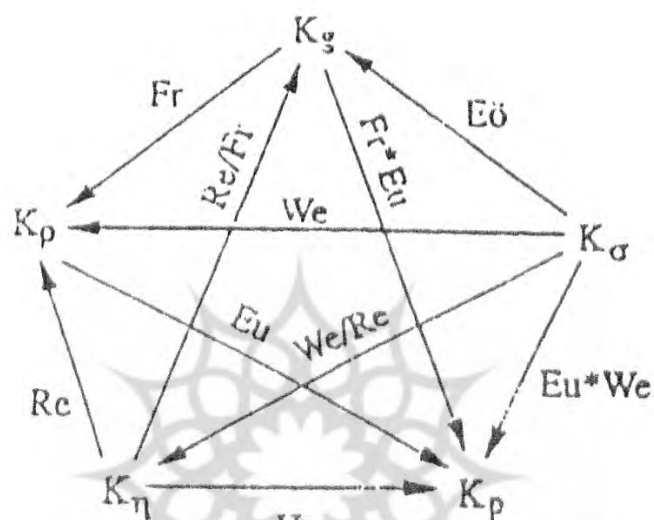
۱۲ - Arnold Sommerfeld

۱۳ - Osborne Reynolds



مشابه سازی دینامیکی به عنوان یک رابطه بدون بعد بین دو نوع مختلف از نیرو، میوه های دیگری به فرم گروه های بدون بعد دیگر به بار آورده است.

شکل ۵ نظر پ. گراسمن<sup>۱</sup> [۱۴] در مورد منظم کردن پارامترها در یک پنج ضلعی را نشان می دهد، با عدد فراود به عنوان نسبت جرم و وزن، عدد رینولدز به عنوان نسبت بین جرم و اصطکاک و غیره. اکنون این گروه های بدون بعد در روش های محاسباتی مهندسی شیمی به طور گسترده ای به کار می رود.



شکل ۵ گروه اعداد بدون بعد در تشابه دینامیکی

$Kg$ = نیروی وزن	$Eu$ = لئونارد اولر <sup>۲</sup> (۱۷۰۷-۱۷۸۳)
$K\rho$ = نیروی جرم ضرب در شتاب	$Fr$ = ویلیام فراود (۱۸۱۰-۱۸۷۹)
$K\sigma$ = نیروی کشش سطحی	$Ha$ = گوتلیف هاگن <sup>۳</sup> (۱۷۹۷-۱۸۸۴)
$K\eta$ = نیروی اصطکاک	$Re$ = آیزورن رینولدز (۱۸۴۲-۱۹۱۲)
$k\rho$ = نیروی حاصل از فشار	$We$ = موریتز وبر <sup>۴</sup> (۱۸۷۱-۱۹۵۱)
	$Eo$ = رولند و. اتووس <sup>۵</sup> (۱۸۴۹-۱۹۱۹)

۱ - P. Grassmann

۲ - Leonard Euler

۳ - Gotthilf Hagen

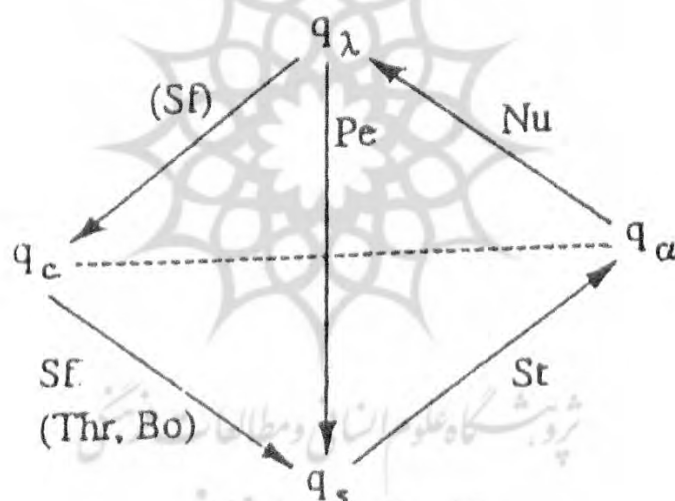
۴ - Moriz Weber

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<sup>۱</sup> «اصول شبیه‌سازی حرارتی» را معرفی کرد.

زمانی که نوسلت دانشجوی دانشگاه صنعتی مونیخ بود، توجه فیزیکدان صنعتی اسکار نوبلاوچ<sup>۲</sup> به مسائل عملی انتقال حرارت معطوف شده بود. نوسلت بعد از گرفتن درجه دکتری سخنرانی خود را در سال ۱۹۰۷ در درسدن<sup>۳</sup> تحت عنوان «انتقال حرارت در لوله‌ها» ایراد کرد. در آن زمان درسدن زیر نظر ریچارد مولیر<sup>۴</sup> 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

$$\alpha = \text{جابجایی}$$

$$\lambda = \text{هدایت}$$

$$\text{Nu} = \text{ویلهلم نوسلت (۱۸۸۲-۱۹۵۷)}$$

$$\text{Pe} = \text{ژان س. ای. پکله (۱۷۹۳-۱۸۵۷)}^۵$$

۱ - Wilhelm Nusselt

۲ - Oskar Knoblauch

۳ - Dresden

۴ - Richard Mollier

۵ - Jean C.E. Pecllet

$c =$ انتقال	St = توماس استانتون <sup>۱</sup> (۱۸۶۵-۱۹۳۱)
$s =$ تشعشع	Sf = ژوزف استفان <sup>۲</sup> (۱۸۳۵-۱۸۹۳)
	Thr = مردیت ترینگ <sup>۳</sup>
	Bo = لودویگ بولتزمن <sup>۴</sup> (۱۸۴۴-۱۹۰۶)

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

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

## ۱۱. تشابه در انتقال جرم

ارنست اشمیت<sup>۷</sup> با تز مهندسی‌اش به نام «تبخیر و انتقال حرارت» اساس کاربرد تشابه در زمینه انتقال جرم را پایه‌گذاری کرد [۱۵]. وی او را به عنوان یک پروفیسور جوان مهندسی حرارت در سال ۱۹۲۹ در دانشگاه فنی دانزیگ<sup>۸</sup> 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 پروفیسور 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 به وسیله گروه‌های بدون بعد مشابه نمایش داده شوند.

۱ - Thomas Stanton

۲ - Josef Stefan

۳ - Meredith Thring

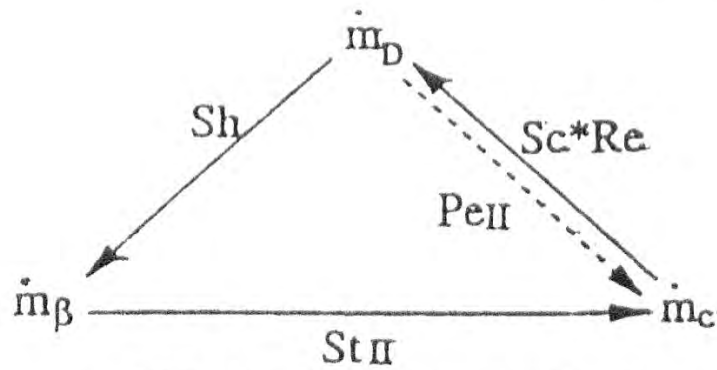
۴ - Ludwig Boltzmann

۵ - Grassmann

۶ - Prandtl

۷ - Ernest Schmidt

۸ - Danzig



شکل ۷ گروه اعداد بدون بعد در تشابه انتقال جرم

$m_D =$ نفوذ	$Sc =$ ارنست اشمیت <sup>۱</sup> (۱۸۹۲-۱۹۷۵)
$m_C =$ جابجایی	$Sh =$ توماس کی. شروود <sup>۲</sup> (۱۹۰۳-۱۹۷۶)
$m_B =$ انتقال	$St_{II} =$ استانتون - زاهل <sup>۳</sup> برای انتقال جرم
	$Pe_{II} =$ پکله - زال <sup>۴</sup> برای انتقال جرم

موضوع مهم در این جا وابستگی انتقال جرم به نفوذ است که به عنوان «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 به وجود آمدند که اعداد لوئیس<sup>۵</sup>، کلبورن<sup>۶</sup>، استانتون<sup>۷</sup> و چیلتون<sup>۸</sup> 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<sup>۱</sup> مراجعه کرد [۱۱]. بعد از این که وی درجه دکتری خود را گرفت دو سال را در صنعت در مونیخ سپری کرد. او توسط آنولد اوکن<sup>۲</sup> در سن ۲۶ سالگی به انستیتوی شیمی فیزیک گتینگن دعوت شد. به پیشنهاد او کن، 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. به وسیله 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. به دلیل تعداد زیاد کمیت‌های مؤثر دیگر، اصل تشابه در مرحله افزایش مقیاس بزرگ تر 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

سال جامع علوم انسانی

### ۱۳. نتیجه گیری

از نظر تکنولوژی صنعتی، مهندسی شیمی یک رشته بسیار قدیمی است، اما فقط در صد سال گذشته در دنیا به عنوان 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 آستن سؤالاتی است؛ از قبیل:

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

آغاز کنیم با کیفیت بالای محصول،

- دینامیک و کنترل فرایند،

- تحلیل و توصیف مهندسی پدیده‌های سطحی و وارد کردن 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  $\beta$  in der Harausbildungsperiode 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 Übersetzung von C. Schiffner), Berlin, 1928.
6. L. Deibele, Die Entwicklung der Destillationstechnik im 19. Jahrhundert. Dissertation, Techn. Universitat Munchen, 1992.
7. K. Krug, Zur Entwicklungsgeschichte des Chemieingenieurwesens. 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 Kühlen. 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. Echaradt, R. Seiden, J.A. Reavell, S. Kamei, H. Molinari, Die Ausbildung des Chemie-Ingenieurs im Ausland. Teil I, Amerika, Teil II, England. Teil III, Japan, Teil IV, Russland. Teil V, Danemark. Teil VI, Italien, Die Chemische Fabrik 5(1932)14, 115 ff.
11. E. Wicke, G. Damkohler in E. Blass, VDI - Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, gestern - heute - morgen. K.G. Saur - Verlag, Munchen, 1984.
12. M. Hampe, Ein fruher Beitrage zur Mehrphasenstromung, Newtons Widerstand - sgesetz fur die Kugelumstromung. Vortrag vor dem GVC - Fachausschu  $\beta$  Mehrphasenstromungen am 9. und 10.3.1990 in Berlin, Chem-Ing. - Tech. 62(1990)7, S. 594.
13. Newton: Philosophiae naturalis principia mathematica. 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.