

## ارائه راهکارهایی برای بهبود برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی در ایران

ساغر معصومی گودرزی<sup>۱</sup>، رحمت ستوده قره‌باغ<sup>۲</sup> و سهیلا گرجی کندی<sup>۳</sup>

**چکیده:** هدف از برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی آماده کردن دانشجویان برای فعالیت در حرفه‌های مرتبط با آن است. ارائه برنامه آموزشی مناسب به دانشجویان کمک می‌کند تا با صنعت ارتباط بهتری برقرار کنند و بتوانند در بهبود وضعیت صنعت و پیشرفت آن در آینده نقش مؤثرتری داشته باشند. هدف از این مطالعه ارائه راهکارهایی مناسب برای بهبود برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی در دانشگاه‌های ایران است. با توجه به این موضوع که برنامه درسی مهندسی شیمی بسیار گسترده است و واحدهای درسی آن یکی از وسیع‌ترین زمینه‌ها را برای ظهور مفاهیم علوم پایه فراهم می‌کند، روشهای مختلفی برای ارائه دروس این رشته در دانشگاه‌های مختلف مطرح شده است. در این بررسی برنامه‌های آموزشی دانشگاه‌های برتر دنیا با رتبه‌های جهانی زیر ۱۰۰ در رشته مهندسی شیمی از جمله دانشگاه‌های Yale، Cambridge، California، Imperial، Columbia، Michigan، Penn و Toronto با برنامه‌های آموزشی دانشگاه‌های ایرانی مقایسه و در انتها راهکارهای مناسبی برای بهبود برنامه آموزشی دانشگاه‌های ایرانی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: برنامه آموزشی، واحدهای درسی، سرفصلهای درسی، مفاهیم  
مهندسی شیمی، آموزش مهندسی شیمی.

۱. دانشکده مهندسی شیمی پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استاد دانشکده مهندسی شیمی پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران، [sotudeh@ut.ac.ir](mailto:sotudeh@ut.ac.ir)

۳. دانشکده مهندسی شیمی پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران، [soheilagorji@yahoo.com](mailto:soheilagorji@yahoo.com)

(دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۱۲)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۸/۴)

## ۱. مقدمه

دوره کارشناسی مهندسی شیمی یکی از دوره‌های آموزش عالی با قدمتی نزدیک به هشت دهه است و هدف از تأسیس آن تربیت کارشناسان ماهر برای اداره صنایع شیمیایی و صنایع مرتبط و بهره‌برداری از آنها بوده است. مجموعه دروسی که برای این دوره تدوین شده است، ترکیبی از دروس علوم پایه مهندسی، دروس اصلی مهندسی شیمی و دروس تخصصی در زمینه‌های وابسته به رشته مهندسی شیمی است. مطابق اسناد و مدارک موجود اولین نسخه دروس مهندسی شیمی در سال ۱۸۸۵ در لندن منتشر و با گذشت زمان تکمیل و اصلاح شده و به صورت امروزی در آمده است [۱].

گرچه در دوره نسبتاً طولانی آموزش مهندسی در کشور ایران تغییرات و تحولات بسیاری در زمینه آموزش دانشجویان این رشته صورت گرفته است، به نظر می‌رسد به سبب وجود برخی مشکلات در نظام آموزشی هنوز این مهم در مسیر واقعی و صحیح خود قرار ندارد. مشکلات مربوط به آموزش این رشته در کشور ایران را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد که هر یک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. اولین دسته از مشکلات را می‌توان همپا نبودن پیشرفت آموزش این رشته با پیشرفتهای تکنولوژیکی و علمی دانست. کمتر دیده شده است که در کشور ما و در آموزش این رشته مرزهای دانش طی و ایده‌های جدید ارائه شود. این مسئله به عوامل بسیاری نظیر سطح ارتباطات پایین با مراکز علمی جهان، اختصاص بودجه‌های ناکافی به امر پژوهش به عنوان زمینه توسعه علمی، خروج متخصصان و عدم توانایی علمی بیشتر مراکز آموزشی از نظر امکانات آموزشی و نیروی متخصص وابسته است. دسته دوم مشکلات را می‌توان در نامشخص بودن تعریف صنعت از مهندسی شیمی ذکر کرد. صنعت کشور ما که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با صنعت نفت و صنایع شیمیایی ارتباط تنگاتنگی دارد، هنوز رضایت‌چندانی از دانش آموختگان مهندسی کشور ندارد و انتظارات خود را از متخصص مهندسی شیمی ارائه نداده است. گسیختگی بیش از حد مطالب آموزش داده شده از یک سو و وارداتی بودن فناوری مربوط به صنایع داخل از سوی دیگر، باعث شده است تا دانش آموختگان دچار سردرگمی شوند و با اطمینان خاطر اندکی پا به محیط کار بگذارند. اما دسته سوم از مشکلات را می‌توان در امر پذیرش، آموزش و تربیت متخصصان این رشته جستجو کرد. بسیاری از مشکلات، معایب و نواقص مهندسان شیمی در کشور ایران، چه در زمینه کارایی و چه در زمینه کاربرد آموخته‌ها، به صورت ریشه‌ای به این دسته مربوط می‌شود [۲].

مهندسان ایرانی نقش بسیار مهم و ارزنده‌ای در ارائه خدمات مهندسی و فناوری در ایران داشته‌اند و نقش آنان در توسعه کشور بسیار چشمگیر است. اما میزان استفاده صنایع از مهندسان در بهره‌برداری و نگهداری صنایع به مراتب بیش از استفاده از توانمندیهای آنها در نوآوری، تحقیق، توسعه و بهره‌وری بوده است. بنابراین، باید به دنبال برقراری تناسب بین آموزش دانشگاهی و انتظارات صنعت باشیم. بدون شک، آموزش مطلوب در مهندسی شرط اساسی و پیش‌نیاز است. آموزش علوم مهندسی در

کشور ایران از دو دیدگاه باید تقویت شود: اول افزایش مهارت‌های تجربی و آزمایشگاهی و کارورزی و دوم آشنایی دانشجویان با علوم اقتصادی و تجارت، مدیریت، محیط زیست و ارتباطات و مسائل جهانی و همچنین، باید در آینده به صورت فرا رشته‌ای به آموزش و پژوهش پرداخته شود [۳].

اگر به تاریخ تحول آموزش مهندسی شیمی در جهان مراجعه شود، مشاهده می‌شود که هسته اصلی برنامه آموزشی با علم و صنعت ارتباط دارد. در ابتدا مفاهیم مهندسی شیمی مورد توجه بود و سپس، ترمودینامیک و سینتیک و با انتشار کتاب Bird مرکز توجه به پدیده‌های انتقال معطوف شد و پس از آن مهندسی واکنشها و دینامیک و در نهایت، محیط‌زیست، ایمنی، انرژی، بیوتکنولوژی، شبیه‌سازی و نانوتکنولوژی کانون توجه قرار گرفت. همان‌طور که مشخص است، این تکامل به دلیل نیاز جامعه و صنعت صورت گرفته است. به مرور زمان تعداد دروس توصیفی کاهش و ابزارهای جدید (شبیه‌سازها و علوم کامپیوتری) و نیاز به صنعت (بیولوژی) افزایش یافته است. پس با توجه به اهمیت این مسئله به بازنگری دروس آموزشی دانشگاهها به صورت مقایسه‌ای با دروس سایر دانشگاههای برتر دنیا پرداخته می‌شود [۴].

## ۲. برنامه‌های آموزشی دانشگاههای برتر دنیا

### ۲.۱. دروس مشترک دانشگاهها

برای بررسی برنامه‌های آموزشی دانشگاههای برتر دنیا ابتدا در جدول ۱ دروس و سرفصلهای درسی مشترک دانشگاهها بررسی و سپس، به مباحث ویژه هر دانشگاه به صورت جداگانه توجه شده است.

جدول ۱: دروس مشترک رشته مهندسی شیمی در مقطع کارشناسی

عنوان درس	توضیحات
موازنه جرم و انرژی	موازنه جرم و انرژی در سیستم‌های باز و بسته و کاربرد آن در حل مسائل و سیستم‌های زیست محیطی و بیولوژیکی، مفهوم تعادل، بررسی و تحلیل مسائل مهندسی شیمی با مفاهیم این درس و آشنایی با مهندسی شیمی به عنوان یک حرفه.
مکانیک سیالات	بررسی موازنه مومنتم در سیستم‌های کامل و دیفرانسیلی، جریان آرام و درهم در لوله‌ها و تجهیزات، روابط برای سیالات دو فازی و غیر نیوتنی. در تعدادی از دانشگاهها مباحث این درس در درس پدیده‌های انتقال تدریس می‌شود.
ترمودینامیک مهندسی شیمی	بررسی مفاهیم ترمودینامیک کلاسیک و کاربردهای شیمیایی آن، قوانین اول و دوم ترمودینامیک، کاربرد سیستم‌های باز و بسته، معادلات حالت و محاسبات ترمودینامیکی، سیستم‌های چند جزئی، فوگاسیته، ضریب فعالیت، مدل کردن محلولهای غیرایده‌آل، سیستم‌های تعادلی، مفهوم آنتروپی، موتور گرمایی، محاسبه پتانسیل ترمودینامیکی، محاسبه خواص ترمودینامیکی با نرم‌افزار و آشنایی مختصری با ترمودینامیک آماری.
پدیده‌های انتقال	بررسی قانون تبدیل برای یکسان سازی رفتار پدیده‌های انتقال، روابط فلاکس و شرایط مرزی،

<p>انتقال از طریق نفوذ و بالک، انتقال جرم همراه با واکنشهای هموزن و هتروژن، تغییر فاز و پدیده-های انتقال بین سطوح، مدلسازی ریاضی از طریق فرمولبندی، انتقال حرارت از طریق رسانش و جابه‌جایی، انتقال جرم در مخلوط هم‌دمای سیالات نیوتنی، انتقال جرم از طریق نفوذ و بالک در مخلوط سیالات، قانون فوریه، رسانش گرمایی گذرا و ناگذر، بررسی مبدلها، ضریب انتقال حرارت، نفوذ گذرا و ناگذر، ضریب انتقال جرم، انتقال همزمان جرم و انرژی و حل معادلات به روشهای تحلیلی، تقریبی و حل عددی.</p>	
<p>بررسی تئوری طراحی فرایندهای جداسازی برای مخلوطهای چند جزئی و چند فازي با بهره‌گیری از مفاهیم تعادل و سرعت انتقال پدیده‌ها، عملیات واحدهای صنعتی از جمله جذب، دفع، استخراج، تقطیر، کندانس جزئی، فیلتراسیون و کریستاله شدن، مدل کردن و کاربرد آنها در مهندسی محیط‌زیست (کنترل آلودگی آب و هوا)، مهندسی بیوشیمی (اندام مصنوعی و خالص سازی دارو) و صنایع غذایی.</p>	<p>فرایندهای جداسازی و خالص‌سازی</p>
<p>بررسی نحوه انجام شدن واکنشهای شیمیایی، مکانیزم و سینتیک واکنشهای هموزن و هتروژن و کاتالیستهای آنها، مدلسازی ریاضی راکتورهای شیمیایی، واکنشهای کاتالیستی، روند واکنشهای دو یا چندگانه، انتخاب‌پذیری و بازده در راکتورها، واکنشهای شیمیایی همراه با انتقال جرم و سیستم‌های غیرهم‌دمای. مفاهیم این درس به حل مسائل دروس محیط‌زیست، بیو و مهندسی مواد کمک می‌کند.</p>	<p>سینتیک و طراحی راکتورهای شیمیایی</p>
<p>جبر خطی، معادلات دیفرانسیلی معمولی و جزئی، معادلات انتگرالی و کاربرد آنها در حل مسائل مهندسی شیمی، روشهای عددی شامل چند جمله‌ایها و جداسازی متغیرها برای حل معادلات، الگوریتمهای رایانه‌ای و آشنایی با نرم‌افزار MATLAB.</p>	<p>کاربرد ریاضیات در مهندسی شیمی</p>
<p>مدلسازی سیستم‌های ناپایدار، بررسی روشهای کنترل فرایندهای شیمیایی، طراحی سیستم‌های دینامیکی شیمیایی، روش کنترل عملکرد دینامیکی، آشنایی با کنترلرهای چند متغیره و ...</p>	<p>دینامیک و کنترل سیستم‌های شیمیایی</p>
<p>بررسی روشهای طراحی فرایندهای شیمیایی و واحدهای عملیاتی، قوانین طراحی، تهیه نمودار گردش مواد (فلوشیت) برای فرایندهای شیمیایی، انتخاب تجهیزات، تخمین هزینه‌ها، بهینه‌سازی اقتصادی و فرایند، جداسازی چند جزئیها، نحوه اتصال شبکه مبدلها، شبیه‌سازی، استفاده از نرم‌افزارها و طراحی اجزای تشکیل دهنده یک واحد.</p>	<p>طراحی فرایندهای شیمیایی</p>
<p>مهندسی سیستم‌های بیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی، بررسی سینتیک و طراحی راکتور برای فرایندهای آنزیمی و تخمیر، جداسازی در سیستم‌های بیو، آشنایی با روشهای طراحی برای سیستم‌های زیستی.</p>	<p>مهندسی بیوشیمی</p>
<p>آشنایی با مهندسی بیومولکول و کاربردهای آن، بررسی قوانین و مفاهیم اولیه، بیولوژی، شیمی بیوفیزیک، مهندسی پروتئین و محاسبه خواص فیزیکی و شیمیایی که در سیستم‌های بیولوژیکی کاربرد دارد.</p>	<p>مهندسی بیومولکول</p>
<p>این درس فرصتی را برای دانشجویان فراهم می‌آورد تا در پروژه‌های تیمی مسائل مربوط به مهندسی شیمی را حل کنند. این تحقیقات معمولاً شامل کاربرد ریاضیات در حل مسائل، پروژه-های طراحی، آزمایشگاهی و تئوری است. در بعضی از دانشگاهها این درس به صورت اختیاری در هر ترم ارائه می‌شود.</p>	<p>روش تحقیق</p>

1. Flow Sheet

ساغر معصومی گودرزی، رحمت ستوده قره‌باغ و سهیلا گرجی کندی ۷۹

## ۲.۲. دانشگاه Yale

در جدول ۲ نام دروسی که در دانشگاه Yale ارائه می‌شود و نیز توضیحاتی در باره آنها آورده شده است. این دروس علاوه بر دروس مشترک در این دانشگاه ارائه می‌شود [۸].

### جدول ۲: دروس رشته مهندسی شیمی در مقطع کارشناسی ویژه دانشگاه Yale

عنوان درس	توضیحات
قوانین مدلسازی در مهندسی شیمی	بررسی انتقال و واکنش اجزای شیمیایی، کاربرد آن در حل مسائل مهندسی شیمی و سیستم‌های شیمیایی، بیو و محیط‌زیست، مدلسازی ریاضی، آنالیز ابعادی و شرح آزمایش‌های مرتبط.
آزمایشگاه مهندسی شیمی	انجام دادن آزمایش‌های ابتدایی شامل کنترل سطح مایع، انتقال حرارت از طریق همرفت، حرکت ذرات کلوئیدی معلق در مایع به وسیله نیروی برق <sup>۱</sup> ، اندازه‌گیری تنش سطح، اندازه‌گیری قابلیت تر شدن <sup>۲</sup> سطح، جریان در منطقه متخلخل.
آشنایی با مهندسی محیط زیست	
کنترل آلودگی آب	
کنترل آلودگی هوا	

## ۲.۳. دانشگاه کمبریج

### سال اول

در سال اول هر یک از دانشجویان باید یکی از دو زمینه مهندسی یا علوم پایه را انتخاب کنند و با توجه به آن زمینه دروسی را بگذرانند. افرادی که زمینه مهندسی را انتخاب می‌کنند، دروس پایه مهندسی شامل ریاضیات، مکانیک، ارتعاشات، ترمودینامیک، مکانیک ساختاری، مواد، مدارهای الکترونیکی و الکترومغناطیس و همچنین واحدهای آزمایشگاهی، پروژه‌هایی در زمینه طراحی، محاسبات، ابزارهای الکترونیکی و مدیریت را می‌گذرانند. افرادی که زمینه علوم پایه را انتخاب می‌کنند، باید سه درس از دروس شیمی، فیزیک، علم مواد، بیولوژی سلولها، علم زمین‌شناسی، علوم کامپیوتر و فیزیولوژی ارگانیسم‌ها<sup>۳</sup> را انتخاب کنند. این دانشجویان نیز واحدهای آزمایشگاهی و پروژه

1. Electrophoresis
2. Wet Ability
3. Physiology of Organisms

۸۰ ارائه راهکارهایی برای بهبود برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی در ایران

را باید بگذرانند که البته، در مقایسه، واحدهای آزمایشگاهی بیشتر و پروژه‌های کمتری را نسبت به گروه دیگر می‌گذرانند [۹].

سال دوم

بخش اول دروس اصلی مهندسی شیمی در سال دوم ارائه می‌شود. دروس ارائه شده در این سال برای دانشجویانی که از زمینه‌های مهندسی یا علوم پایه وارد شده‌اند، در ۸۵ درصد موارد مشترک است. با این تفاوت که دانشجویانی که از زمینه علوم پایه وارد شده‌اند دروس بیشتری در ارتباط با علوم مهندسی و دانشجویانی که از زمینه مهندسی وارد شده‌اند دروس مرتبط با شیمی بیشتری را باید بگذرانند. دروسی که در سال دوم تدریس می‌شوند را می‌توان به ۵ دسته اصول اولیه، عملیات واحد، سیستم‌های فرایند، روشهای ریاضی و توانمندسازی تقسیم کرد. توضیحات مربوط به این دروس در جدول ۳ آورده شده است [۹].

**جدول ۳: دروسی که دانشجویان رشته مهندسی شیمی در سال دوم در دانشگاه کمبریج می‌گذرانند**

عنوان درس	توضیحات
اصول اولیه	معرفی و بررسی معادلات پایه و کاربرد عملی آنها، محاسبه خواص ترمودینامیکی، موازنه جرم و انرژی، ترمودینامیک مخلوط‌ها، تعادل واکنشها، مباحثی در باره سلولهای بیولوژی و بررسی پدیده-های انتقال که شامل انتقال حرارت به روشهای رسانش، همرفت و تابش و انتقال جرم از طریق نفوذ و بالک است.
عملیات واحد	تقطیر، استخراج مایع - مایع، استخراج جامد - مایع و جذب گاز در ستون، بررسی واحدهای انتقال حرارت و جرم مانند مبدلها، ستونهای پر شده و راکتورها، آشنایی با واکنشهای شیمیایی و طراحی راکتورهای همدمای ساده.
سیستم‌های فرایند	این درس لزوم وجود واحدهای عملیاتی مختلف را به دانشجویان آموزش می‌دهد. همچنین، دانشجویان با گذراندن این درس متوجه می‌شوند که چگونه تجهیزات عملیاتی مختلف باید کنار هم قرار گیرند تا یک واحد به وجود آید. همچنین، مباحث ایمنی، سلامت، محیطزیست و بررسی اقتصادی در این درس مطرح می‌شود.
روشهای ریاضی	روشهای عددی برای حل معادلات و حل معادلات از طریق برنامه‌نویسی کامپیوتری ارائه می‌شود.
توانمند سازی	دانشجویانی که زمینه علوم پایه را انتخاب کرده‌اند، مباحثی در باره مکانیک، مواد و دینامیک و دانشجویانی که زمینه مهندسی را انتخاب کرده‌اند، مباحثی در خصوص ترمودینامیک شیمیایی، سینتیک واکنشها، پیوندهای شیمیایی را مطالعه می‌کنند. هر دو گروه موضوعاتی مرتبط با ساخت تجهیزات یک واحد فرایند را مطالعه می‌کنند.
تکالیف	همه دانشجویان باید واحدهای آزمایشگاه مکانیک سیالات و پدیده‌های انتقال و همچنین، کلاسهای آموزش نرم‌افزارهای کامپیوتری برای حل مسائل مهندسی شیمی را بگذرانند. آزمایشگاههای کاربردی که در آنجا طراحی و ساخت تجهیزات فرایند آموزش داده می‌شود، از دیگر واحدهایی است که باید دانشجویان آن را بگذرانند.

ساغر معصومی گودرزی، رحمت ستوده قره‌باغ و سهیلا گرجی کندی ۸۱

هر دو هفته یک بار در طول یک نیمسال یک پروژه برای حل مسائل مهندسی شیمی و در آخر هر ترم نیز یک پروژه طراحی برای طراحی یکی از تجهیزات فرایند مانند مبدل به دانشجویان ارائه می‌شود. همچنین، کارگاههایی برای تقویت توانایی دانشجویان در ارائه شفاهی پروژه‌ها، کارهای تیمی، برنامه‌ریزی پروژه و رهبری تیم برگزار می‌شود [۹].

سال سوم

تمام دروس ارائه شده در سال دوم به صورت تکمیلی در سال سوم ارائه می‌شود. دروس ارائه شده در سال سوم هسته مهندسی شیمی را تشکیل می‌دهد و گذراندن آنها اجباری است. در این سال یک پروژه طراحی به دانشجویان ارائه می‌شود [۹].

#### جدول ۴: دروسی که دانشجویان رشته مهندسی شیمی در سال سوم در دانشگاه کمبریج می‌گذرانند

عنوان درس	توضیحات
اصول اولیه	بررسی مکانیک سیالات در سیستم‌های پیچیده مانند مدلسازی جریان متلاطم، سیالات غیر نیوتنی، سیالات دو فازی و روابط ترمودینامیک برای توضیح رفتار تعادل فازها در مخلوط.
عملیات واحد	روشهای جداسازی پیشرفته مانند رطوبت‌گیری، جداسازی با غشاء، فرایندهای خالص‌سازی محصولات بیوبی و راکتورهای کاتالیستی و هتروژنی.
سیستم‌های فرایندی	بررسی رفتار ناپایدار سیستم‌های فرایند که در فرایندهای دینامیکی و کنترل تدریس می‌شود. بررسی اقتصادی فرایند برای تشخیص روش فرایند، گسترش نمودار جریان مواد و مباحث عرضه و تقاضا در دروس اقتصاد و فرایند ارائه می‌شود.
توانمند سازی	این درس شامل مباحثی است که دانشجویان را برای پروژه طراحی آماده می‌کند. در این درس بهینه‌سازی و استاتیک نیز تدریس می‌شود.
پروژه طراحی	این پروژه شامل بخشهای طراحی فرایند مانند رسم نمودار جریان مواد، بررسی اقتصادی و ... است. در این پروژه‌ها دانشجویان به بررسی واحدهایی مانند تولید گاز طبیعی، تصفیه شکر و ... می‌پردازند. این پروژه تمام مفاهیم مهم طراحی را در بردارد و یکی از ویژگیهای مهم آن استفاده از ابزارهای IT مانند شبیه‌سازها، ابزارهای ریاضیاتی، بسته‌های طراحی و نرم افزار office است.

سال چهارم

در این سال دروس اختیاری و اجباری ارائه می‌شوند. هدف از ارائه این دروس فهم عمیق‌تر مسائل بنیادی و آشنایی با مباحث تخصصی مهندسی شیمی است. مباحث اجباری: این مباحث شامل مباحث ضروری برای فعالیتهای حرفه‌ای مثلاً بررسی خصوصیات

بنیادی گروههای مختلف مواد و وابستگی آنها به فرایند است. یادگیری این مباحث مستلزم خواندن مقالات جدید و مروری است.

پروژه تحقیقاتی: هر دانشجو در سال چهارم یک پروژه تحقیقاتی را انجام می‌دهد و هر یک از دانشجویان برای اجرای پروژه از سوی یکی از اعضای هیئت علمی راهنمایی می‌شود. این پروژه‌ها می‌تواند آزمایشگاهی، تئوری یا رایانه‌ای باشد. بعضی از پروژه‌ها را شرکت‌های علاقه‌مند حمایت می‌کنند [۹].

#### ۴.۲. دانشگاه کالیفرنیا

در جدول ۵ نام دروسی که در دانشگاه کالیفرنیا ارائه می‌شود و نیز توضیحاتی در باره آنها آورده شده است. این دروس علاوه بر دروس مشترک در این دانشگاه ارائه می‌شود [۱۰].

**جدول ۵. دروس رشته مهندسی شیمی در مقطع کارشناسی ویژه دانشگاه کالیفرنیا**

عنوان درس	توضیحات
آشنایی با مهندسی شیمی	برگزاری سمینارهای هفتگی توسط استادان دانشگاه و سخنرانی‌های خارج از دانشگاه در باره موضوعات جدید، تحقیقات و پروژه‌ها در سطح مقدماتی.
مفاهیم مهندسی شیمی	بررسی مفاهیم اولیه مهندسی شیمی مانند موازنه جرم و انرژی و جداسازی مرحله‌ای.
نگارش علمی	آموزش نحوه نوشتن گزارش، مقاله و متون علمی.
خواص مواد	آشنایی با مفاهیم حالت جامد، بررسی مواد و دستگاههایی که کاربرد الکتریکی دارند، ویژگی فرایندهایی مانند نفوذ، اکسیداسیون و تغلیظ.
آزمایشگاه مهندسی شیمی	ارائه پروژه‌های طراحی که دانشجویان را ملزم می‌سازد تا در گروههایی فعالیت و سیستمهایی را طراحی کنند. هر گروه موظف است به بررسی پروژه از جمله تشخیص عملکرد، نقصها و هزینه‌های آن بپردازد. دانشجویان با کمک گرفتن از مفاهیم مهندسی شیمی به طراحی، اجرا و بهینه‌سازی سیستم می‌پردازند.
آزمایشگاه طراحی مهندسی شیمی	پروژه‌هایی در ارتباط با فرایندهای شیمیایی در میکرو راکتورها ارائه می‌شود. پروژه‌ها شامل ترکیب محصولات شیمیایی، شناسایی و تخریب آلودگیهای محیطزیست است. هر دانشجو باید یک میکرو راکتور طراحی و پس از ساخت آن را ارزیابی و بهینه‌سازی کند و در صورت امکان به بررسی هزینه‌های فرایند بپردازد.
آزمایشگاه مهندسی بیومولکول	طراحی، ساخت و شناسایی سیستم‌های بیولوژیکی که در سیستم‌های باکتریایی، مخمر و سلول آزاد اجرا می‌شود، تأکید بر انجام دادن پروژه‌هایی است که روند طراحی معقول و تکاملی را در خصوص سیستم‌های مهندسی بیولوژیکی به کار می‌برند.
فیزیک پلیمرها	آشنایی با ساختار فیزیکی پلیمرها و دینامیک آنها در مایعات و جامدات، اندازه‌گیری خواص فیزیکی، بررسی ترکیبات یک زنجیره پلیمری تحت شرایط حلالهای مختلف، ترمودینامیک پلیمرها، گذر شیشه‌ای و کریستاله شدن.
شیمی کاتالیستها	بررسی کاتالیستهای هموزن و هتروژن، نقش آنها در مسائل انرژی، کاتالیستهای فلزی، زئولیت‌ها، کمپلکسهای فلزی محلول و کاربرد کاتالیستها در روشهای تغییر انرژی.
آشنایی با ترمودینامیک آماری	آشنایی با مفاهیم اولیه و کاربردهای ساده ترمودینامیک آماری، بررسی اساس مکانیزم آماری، عدم فعل و انفعالات کوانتوم و گازهای کلاسیک، ساختار سیالات کلاسیک و روشهای شبیه‌سازی کامپیوتری.



## ۲.۵.. دانشگاه Imperial

برنامه درسی مهندسی شیمی در این دانشگاه بر پایه پروژه‌ها بنا شده است. در بین دروس تعدادی واحدهای تخصصی وجود دارد که مهارت‌های دانشجویان را برای اشتغال مانند مدیریت، اقتصاد و تجارت افزایش می‌دهد. تجربه‌هایی که دانشجویان در انجام دادن محاسبات و استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری به دست می‌آورند، برای حل مسائل مهندسی شیمی بسیار کاربرد دارد. مباحث درسی این دانشگاه به صورت زیر دسته‌بندی می‌شود:

۱. دروس تئوری: ریاضی، شیمی، خواص مواد، ترمودینامیک، پدیده‌های انتقال، فرایند، محیط‌زیست و ایمنی؛

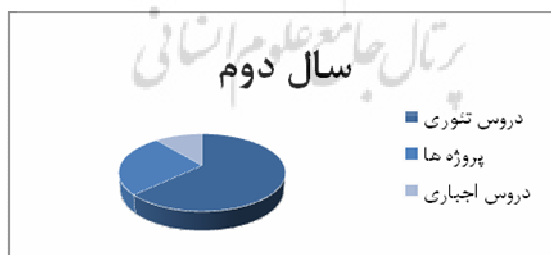
۲. پروژه‌ها و تکالیف: آزمایشگاه‌ها، طراحی، محاسبات و پروژه طراحی در سال چهارم؛

۳. موضوعات اجباری: مدیریت و اقتصاد؛

نمودارهای ۱ تا ۴ نشان می‌دهد که دانشجویان چه درصدی از وقت خود را در هر سال به هر یک از مباحث درسی اختصاص می‌دهند.



نمودار ۱: تقسیم‌بندی زمان دانشجویان در سال اول در دانشگاه Imperial



نمودار ۲: تقسیم‌بندی زمان دانشجویان در سال دوم در دانشگاه Imperial



نمودار ۳: تقسیم‌بندی زمان دانشجویان در سال سوم در دانشگاه Imperial



نمودار ۴: تقسیم‌بندی زمان دانشجویان در سال چهارم در دانشگاه Imperial

با یک نگاه اجمالی به برنامه درسی این دانشگاه ملاحظه می‌شود که در دو سال اول مفاهیم اولیه دروس محاسبات فرایند (محاسبات مواد، موازنه انرژی و ...)، مکانیک سیالات، انتقال جرم و انرژی و فناوری جداسازی مواد ارائه و در سالهای بعد مباحث تکمیلی این دروس تدریس می‌شود، مثلاً در سال سوم در درس فرایند جداسازی فناوریهای جدید مانند غشاء و در بسیاری از دروس، ایمنی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. در سال اول درس آشنایی با نرم‌افزارهای کامپیوتری ارائه می‌شود که طی آن دانشجویان باید با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و برنامه‌نویسی آشنا شوند تا بتوانند از آنها برای انجام دادن پروژه‌ها و تکالیف درسی استفاده کنند، ضمن اینکه پروژه‌ها شامل طراحی، تئوری، مطالعات کامپیوتری و فعالیتهای آزمایشگاهی است [۱۱].

پروژه‌های طراحی

طراحی یک واحد<sup>۱</sup>: همه دانشجویان علاوه بر اینکه باید بتوانند نمودار جریان (فلوشیت) یک واحد را تجزیه و تحلیل کنند و ایمنی فرایند را گسترش دهند، همچنین، باید قادر باشند محاسبات لازم و موازنه انرژی را برای تولید یک محصول انجام دهند و جداسازی گازها را کنترل و بهینه‌سازی کنند [۷ و ۱۱].

## آموزش طراحی

درس طراحی در طول چهار سال به طور پیوسته تدریس می‌شود. این درس با طرح مسائل مهندسی شیمی و مشکلات صنعتی تدریس می‌شود. در سال اول دانشجویان باید دو پروژه با عناوین زیر را آماده کنند و تحویل دهند که می‌توان تسلط بر مفاهیم و حل مسائل مهندسی شیمی را از فواید این پروژه‌ها برشمرد:

۱. نحوه نگهداری و تعمیر ایستگاه قدرت راکتور

۲. طراحی شبکه مبدل حرارتی یک واحد

در سال دوم نیز دانشجویان باید دو پروژه با عناوین زیر را طراحی و اجرا کنند:

۱. ارائه برنامه کامپیوتری برای یک راکتور کاتالیستی با درصد تبدیل مشخص حجم راکتور

۲. کنترل یک کوره برای تأمین حرارت نفت خام با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی

انجام دادن پروژه در سال سوم برای دانشجویان به چهار پروژه با عناوین زیر افزایش می‌یابد:

۱. تهیه نمودار جریان (فلوشیت) و طراحی فرایند یک واحد

۲. طراحی مکانیکی خط فشار

۳. بهینه‌سازی اقتصادی و بررسی فناوریهای جدید

۴. مطالعات موردی<sup>۱</sup> در خصوص طراحی واحد شامل اندازه سیستم‌ها، تخمین فشار و ...

انجام دادن پروژه در سال چهارم به اجرای یک پروژه اصلی که در برگیرنده تمام جوانب طراحی

واحد است، منتهی می‌شود که دانشجویان باید آن را در زمان مقرر طراحی کنند و تحویل دهند [۷ و ۱۱].

۲. ۶. دانشگاه کلمبیا

دروس رشته مهندسی شیمی که در دانشگاه کلمبیا ارائه می‌شود، در جدول ۶ آورده شده است. این دروس علاوه بر دروس مشترک در این دانشگاه ارائه می‌شود [۱۲].

**جدول ۶: دروس رشته مهندسی شیمی در مقطع کارشناسی ویژه دانشگاه کلمبیا**

عنوان درس	توضیحات
ترمودینامیک آماری	بررسی مفاهیم بنیادی و فرضیات ترمودینامیک آماری، قضیه بولتزمن، هلمولتز و انرژی آزاد گیبس <sup>۱</sup> برای سیستم‌های باز و سیالات پیچیده.
مهندسی مولکول و طراحی محصول	دانشجویان را با مهندسی شیمی بیشتر آشنا می‌کند. روشهای مختلف تولید محصول بررسی می‌شود. دانشجویان در این درس از طریق خواندن مقالات و بازدیدهای صنعتی و ... با مباحث مهندسی شیمی بیشتر آشنا می‌شوند.
انتقال در سیستم‌های بیولوژیکی	بررسی حرکت بالک و نفوذ همراه با واکنش در سیستم‌های بیولوژیکی، سینتیک واکنشهای هموزن و هتروژن در محیط بیولوژیکی، مکانیزم انتقال از طریق غشاء.
آزمایشگاه مهندسی شیمی	شامل آزمایشهایی است که به طراحی و بهینه‌سازی تجهیزات و مواد می‌پردازد.
مفاهیم صنعتی	بررسی مفاهیم اولیه فرایندهای الکتروشیمی، مثالهایی از کاربردهای صنعتی آن، تحلیل آن از طریق انجام دادن آزمایش مانند رفتار الکترولیتها و سلولهای سوختی.
طراحی فرایند و محصول ۱	مقدمه‌ای بر مهندسی فرایند، طراحی فرایندهای شیمیایی، بررسی تجهیزات فرایند و واحدها، بهینه‌سازی اقتصادی پروژه‌ها و انجام دادن محاسبات آماری برای تعیین کیفیت محصول از طریق مثالهای مشابه صنعتی.
طراحی فرایند و محصول ۲	بررسی طراحی فرایند و محصول از طریق ارتباط مستقیم با صنعت و ارائه پروژه.
آزمایشگاه مواد پلیمری	روشهای شناسایی مواد نرم (پلیمرها، سیالات پیچیده و مواد بیو)، کالریمتری، کروماتوگرافی نفوذ ژل و اسپکتروسکوپی.
شیمی فیزیک ماکرومولکولها	بررسی یافته‌های جدید در خصوص رفتار ایستا و دینامیک در سیستم‌های ماکرومولکول، ترمودینامیک محلولها، گذرشیشه‌ای، نفوذ و رفتار ویسکوالاستیک‌ها.
پدیده‌های مولکولی در مهندسی شیمی	این واحد آخرین واحدی است که در برنامه درسی این دانشگاه قرار دارد و هدف از آن آشنا کردن دانشجویان با اساس مولکولی مفاهیم ارائه شده در سایر واحدهاست.

## ۷.۲ دانشگاه Michigan

دروس مهندسی شیمی این دانشگاه در جدول ۷ آورده شده است. این دروس علاوه بر دروس مشترک در این دانشگاه ارائه می‌شود [۱۳].

### جدول ۷: واحدهای درسی رشته مهندسی شیمی در مقطع کارشناسی ویژه دانشگاه Michigan

عنوان درس	توضیحات
آزمایشگاه مهندسی شیمی	انجام دادن آزمایشهای مرتبط با ترمودینامیک، انتقال جرم، حرارت، مومنتم، اندازه‌گیری میزان خطای احتمالی، بررسی سرعت فرایندهای جداسازی در مقیاسی که مدلهای فرایند آزمایش می‌شوند و آشنایی با ابزار آنالیز و کنترل فرایند.
عیب یابی و تعمیر دستگاهها	هدف این واحد افزایش مهارت‌های دانشجویان برای حل مسائل، اندیشیدن، کشف عیب و نقص و کمک به آنها برای ورود به محیط کار است. در این واحد دانشجویان با باید‌ها و نیاید‌های محیط کار آشنا می‌شوند و در گروههایی به بررسی مشکلات کامپیوتری و انجام دادن پروژه‌ها می‌پردازند.
مواد پلیمری	شناسایی ساختار ذرات، فرایند تولید مواد پلیمری، اندازه‌گیری خواص پلیمرها مانند ویسکوزیته و شکنندگی، روشهای تولید پلیمرها و بازیافت آنها.
سینتیک کاربردی	بررسی سینتیک از دید مولکولی، رابطه بین سینتیک و مکانیزم واکنش، مکانیزم و سینتیک فرایندهای شیمیایی مانند پلیمریزاسیون، احتراق و واکنشهای آنزیمی.
شیمی سطح	بررسی نیروی جاذبه و دافعه بین سطوح توسط دینامیک بین سطحی، بررسی استحکام ماکرومولوسئونها و ساختار و خواص میکرومولوسئونها <sup>۲</sup> .
ترمودینامیک آماری و برگشت ناپذیر	بررسی قوانین آمار و احتمال برای به دست آوردن خواص در حالت میکروسکوپی و ماکروسکوپی سیستم‌ها، ارتباط بین ترمودینامیک کلاسیک و آماری و بررسی موازنه آنتروپی.
انتقال پدیده‌ها بین دو محیط	بررسی انتقال جرم و حرارت با واکنش شیمیایی در سه بعد، موازنه جرم و انرژی در حالت ناپایدار در سه بعد، تئوری لایه مرزی، تخمین ضرایب انتقال بین سطوح و کاربرد آنها در طراحی تجهیزات.
محاسبات علم نانو برای مواد مختلف	روشها، قابلیت‌ها و محدودیتهای شبیه‌سازی کامپیوتری برای مدل‌سازی، شبیه‌سازی مواد در مقیاس نانو و شبیه‌سازی آزمایشگاهی.
مطالعات مستقیم در مهندسی شیمی	به دانشجویان این فرصت را می‌دهد که یک پروژه صنعتی مرتبط با رشته خود را تجربه کنند.

1. Macro Emulsion
2. Micro Emulsion

## ۲.۸. دانشگاه Penn

برنامه آموزشی این دانشگاه به گونه‌ای است که در دو سال اول به دروس پایه توجه بیشتری شده و دروسی مانند ریاضی، فیزیک، شیمی و بیولوژی در اولویت قرار گرفته است. سپس، دانشجویان واحدهای اصلی مهندسی شیمی شامل موازنه جرم و انرژی، ترمودینامیک، انتقال جرم، حرارت، مکانیک سیالات و مهندسی واکنشهای شیمیایی را می‌گذرانند. این واحدها به همراه واحدهای آزمایشگاهی و طراحی که فرصتی است برای دانشجویان تا با تجهیزات و نرم‌افزارهای محاسباتی آشنا شوند، برنامه آموزشی این دانشگاه را تشکیل می‌دهد. واحدهای اختیاری نیز در زمینه‌های فرایندهای بیو، فناوری نانو، پلیمر، بیوسنسور و ایمنی فرایندها ارائه می‌شود. در این دانشگاه دانشجویان ملزم به انتخاب یکی از چهارگرایش زیر هستند:

الف. گرایش عمومی

گرایشی است که بیشتر شاخه‌های مهندسی شیمی را در می‌گیرد و برای بیشتر دانشجویان بهترین گرایش محسوب می‌شود.

ب. گرایش بیو فرایند و بیو مولکول

این گرایش دانشجویان را برای شغل‌هایی در زمینه بیوتکنولوژی مانند شرکتهای داروسازی، فرایند تولید مواد غذایی و صنایع مرتبط با محیط‌زیست آماده می‌کند. هسته اصلی شاخه بیوتکنولوژی را فرایند مواد بیوشیمیایی ( داروها، آنزیمها و ...) و مواد زنده (گیاه، سلول میکروبی) تشکیل می‌دهد.

پ. گرایش مهندسی انرژی و سوخت

این گرایش دانشجویان را برای مشاغلی در زمینه تولید و مدیریت انرژی آماده می‌کند. این گرایش با فرایندهای شیمیایی که با تولید و استفاده انرژی همراه است، سر و کار دارد. مباحثی مانند تصفیه و پالایش سوخت، تبدیل و بهره‌وری مانند استفاده بهینه از محصول ناخواسته، تجهیزاتی برای حداکثرسازی بهره‌وری و تبدیل انرژی سوخت با کمترین تأثیر بر محیط‌زیست بررسی می‌شود.

ت. گرایش مهندسی پلیمر

این گرایش دانشجویان را برای مشاغلی در زمینه فرایند پلیمر آماده می‌کند و مباحثی از جمله شیمی پلیمر، ترکیب و ساختار مواد پلیمری، ساختار ماکرو مولکولها و رابطه آن با خواص فیزیکی و شیمیایی را در بر می‌گیرد.

فرصتهای ویژه: فرصتهای مختلفی برای دانشجویانی که علاقه‌مند به فعالیتهای تحقیقاتی هستند، وجود دارد. آنها می‌توانند به صورت مستقیم با دانشگاه برای حل مسائل و مشکلات مهندسی شیمی همکاری کنند. در ادامه به تعدادی از این فرصتهای ویژه اشاره شده است، ضمن اینکه دروسی که دانشجویان در هر ترم می‌گذرانند در جدول ۸ آورده شده است.

ساغر معصومی گودرزی، رحمت ستوده قره‌باغ و سهیلا گرجی کندی ۸۹

- یکی از این فرصتها همکاری در پروژه بیودیزل است. این پروژه تبدیل روغن غیر خوراکی به سوخت بیودیزل است. دانشجویان باید به صورت گروهی در اجرا و بهینه‌سازی این فرایند، آزمایش و شناسایی محصول نهایی و بررسی پتانسیل بازار برای سوختهای بیودیزلی فعال باشند. دانشگاه از دانشجویانی که در فصل تابستان در آزمایشگاهها کارهای تحقیقاتی انجام می‌دهند، حمایت مالی به عمل می‌آورد.
- از فرصتهای دیگر، گذراندن تعدادی از واحدهای درسی در دانشگاههای مطرح خارجی است.
- از دیگر برنامه‌های دانشگاه برقراری ارتباط با صنعت است. دانشجویان بعد از گذراندن یک ترم به صورت تئوری در دانشگاه می‌توانند در صنعت فعالیت کنند تا با کاربرد دروس آشنا شوند [۱۴].

#### جدول ۸: دروسی که دانشجویان دانشگاه Penn در هر ترم باید بگذرانند

نیمسال	توضیحات
اول	مفاهیم شیمیایی، مفاهیم آزمایشگاهی، ریاضی ۱، آشنایی با مهندسی طراحی، علم بیان و سمینار سال اول
دوم	مفاهیم شیمیایی، آزمایشگاه شیمی، ریاضی ۲ و فیزیک مکانیک
سوم	شیمی آلی، معادلات دیفرانسیلی معمولی و جزئی، الکتروسیته و مغناطیس و آنالیز بردار
چهارم	موازنه جرم، ترمودینامیک، شیمی آلی و آزمایشگاه شیمی آلی
پنجم	فاز و تعادل شیمیایی، مکانیک سیالات، نگارش علمی، واحدهای اختیاری تخصصی، بیولوژی سلولی و مولکولی
ششم	سمینار حرفه‌ای، انتقال حرارت، ریاضی، شیمی فیزیک تجربی، ترمودینامیک مولکولی و مهندسی بیو
هفتم	عملیات انتقال جرم، راکتور و واحدهای اختیاری تخصصی
هشتم	طراحی فرایند، آزمایشگاه شیمی و واحدهای اختیاری تخصصی

#### ۹.۲ دانشگاه Toronto

برنامه درسی این دانشگاه واحدهای تئوری و عملی را شامل می‌شود که با تأکید بر یادگیری تدوین شده است. در این دانشگاه دانشجویان باید مفاهیم پایه‌ای مهندسی شیمی از جمله انتقال جرم و حرارت، مکانیک سیالات، کنترل فرایند و ... را فرا گیرند و در پایان سال دوم درگرایش مورد علاقه خود نام‌نویسی کنند. دروس پایه مانند شیمی تحلیلی، فیزیک، مواد آلی و غیر آلی که در دروس اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ابتدا آموزش داده می‌شوند. دانشجویان با گذراندن واحدهای اختیاری، مباحث تکمیلی، مطالعات تکنیکی، تحقیق و پژوهش با مباحث بیشتری آشنا و علاقه‌مندتر می‌شوند. گرایشهای اختیاری شامل صنایع غذایی، پلاستیک و پلیمرها، کاغذسازی،

۹۰ ارائه راهکارهایی برای بهبود برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی در ایران

فرایندهای بیو، مهندسی بیوشیمی، محیط‌زیست، مدلسازی فرایند و شبیه‌سازی است. این واحدها بیشتر در سالهای سوم و چهارم ارائه می‌شود. در سال چهارم این فرصت به دانشجویان داده می‌شود تا در طراحی یک واحد مشارکت کنند و این فرصت منحصر به فردی است که به گروه دانشجویان اجازه می‌دهد تا یک واحد صنعتی را با اطلاعات قبلی خود در مدت ۱۰ روز طراحی کنند. به علاوه، دانشکده برای دانشجویان یک برنامه اختیاری در تابستان تدارک می‌بیند تا توانایی آنها را در زمینه‌های کارگاه و سخنرانی بالا ببرد و از طریق بازدید از کارخانه و آموزش، اطلاعات جدیدی به دست آورند [۱۵].

### ۳. برنامه آموزشی دانشگاههای ایران

برای ارزیابی برنامه آموزشی دانشگاههای ایران در خصوص رشته مهندسی شیمی ابتدا برنامه آموزشی که وزارت علوم، تحقیقات و فناوری آن را ارائه کرده است، بررسی می‌شود. و سپس، برنامه پنج دانشگاه کشور مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار می‌گیرد.

۳.۱. برنامه آموزشی ارائه شده توسط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دروس پایه و اصلی که دانشجویان مقطع کارشناسی باید بگذرانند، به شرح جداول ۹ و ۱۰ است [۵].

#### جدول ۹: دروس پایه دوره کارشناسی مهندسی شیمی

عنوان درس	توضیحات
ریاضی ۱ و ۲ و مهندسی، معادلات دیفرانسیل	اصول و تئوریهای مقدماتی، نحوه حل معادلات دیفرانسیل درجه اول و دوم.
شیمی عمومی، شیمی آلی، شیمی تجزیه و آزمایشگاه	اصول مقدماتی شیمی، بررسی مکانیزم واکنشها، مونومرها و پلیمرها، دستگاههای اندازه‌گیری خواص شیمیایی و انجام دادن آزمایشهای مرتبط با آنها.
برنامه نویسی کامپیوتری	آشنایی با نرم افزارهای ++C، Fortran، پاسکال و ... و ارائه تکالیف و پروژه‌هایی در این زمینه.
فیزیک ۱ و ۲ و آزمایشگاه	اصول مقدماتی و تئوریهای فیزیک، بررسی مدارهای الکتریکی به صورت مختصر و انجام دادن آزمایشهای مرتبط با آنها.
استاتیک و مقاومت مصالح	بررسی نیروهای تنشی و برشی و لنگر وارد بر یک جسم ساکن، تعریف تعادل و شرایط آن و حل مسائل خرابا.
محاسبات عددی	حل معادلات با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری مانند MATLAB، Fortran و ...
کارگاه نرم‌افزار مهندسی	آشنایی با نرم‌افزارهای معتبر مهندسی مانند MATLAB، MATHEMATICA و ...



**جدول ۱۰: دروس اصلی دوره کارشناسی مهندسی شیمی**

عنوان درس	توضیحات
آشنایی با مهندسی شیمی	تعریف مهندسی شیمی، بررسی تجهیزات فرایندهای صنایع شیمیایی، کاربرد کامپیوتر در مهندسی شیمی و روش گزارش نویسی.
موازنه انرژی و مواد	مقدمه‌ای بر موازنه جرم و انرژی، آشنایی مقدماتی با واحدهای عملیاتی و بررسی موازنه جرم و انرژی در آنها، به دست آوردن دید کلی از مهندسی شیمی و انجام دادن پروژه.
ترمودینامیک مهندسی شیمی ۲	بررسی مفاهیم تعادل، قوانین ترمودینامیک، روابط بین خواص ترمودینامیکی، مفهوم آنتروپی، تخمین خواص فیزیکی و شیمیایی، بررسی مختصری از معادلات حالت، محاسبه ضریب فعالیت و فوگاسیته‌ها، خواص ترمودینامیکی مخلوطهای همگن.
مکانیک سیالات ۱ و ۲ و آزمایشگاه	موازنه مومنتم، جرم و انرژی، بررسی جریان آرام و درهم در لوله، سیالات غیر نیوتونی و انجام دادن آزمایشهایی مرتبط با مفاهیم ارائه شده.
انتقال جرم	بررسی انتقال جرم از طریق نفوذ، بالک اجباری و اختیاری.
انتقال حرارت ۱	بررسی انتقال حرارت از طریق رسانش و مدل‌های تجربی انتقال حرارت از طریق جابه‌جایی.
انتقال حرارت ۲	بررسی انتقال حرارت از طریق تابش و طراحی می‌دَل.
آزمایشگاه حرارت	انجام دادن آزمایشهایی مرتبط با مفاهیم انتقال حرارت و کار با دستگاههای انتقال حرارت.
شیمی فیزیک و آزمایشگاه	تئوری جنبشی گازها، معیارهای ترمودینامیک تعادلی، پدیده‌های سطحی، الکترولیتها و الکتروشیمی و انجام دادن آزمایشهایی مرتبط با آنها.
عملیات واحد ۱ و ۲ و آزمایشگاه	بررسی عملیات واحدهایی مانند برج تقطیر، برج عریان ساز، برج تبخیر ناگهانی، جذب، دفع، رطوبت زدایی، استخراج جامد - مایع و ... و کار با بعضی از این واحدها در مقیاس آزمایشگاهی.
سینتیک و طراحی راکتور	سینتیک واکنشها و کاربردهای آن در طراحی راکتور پیوسته و ناپیوسته.
کاربرد ریاضیات در مهندسی شیمی	مقدمه‌ای بر فرمولاسیون ریاضی مسائل مطرح مهندسی شیمی، حل معادلات دیفرانسیل، حل عددی و ارائه پروژه.
کنترل فرایند ۱ و ۲ و آزمایشگاه	بررسی سیستم‌های درجه اول و دوم، مکانیزم کنترل کننده‌ها، پایداری، کنترل کننده‌های واقعی، آشنایی با سیستم‌های کنترلی و انجام دادن آزمایشهایی مرتبط با آنها.
کارگاه نرم‌افزار مهندسی شیمی	آشنایی با نرم‌افزارهای مهندسی شیمی از جمله PRO.II, HYSYS و CHEMCAD.
طرح و اقتصاد	بررسی نمودارهای جریان (فلوشیتها)، بهینه‌سازی، بررسی اقتصادی فرایندها و طراحی اساسی فرایندها.
پایان نامه کارشناسی	هر دانشجو با حمایت یکی از اعضای هیئت علمی دانشکده یک موضوع را انتخاب می‌کند و پروژه‌ای را در آن زمینه انجام می‌دهد.
کار آموزی	دانشجویان وارد محیطهای صنعتی می‌شوند و کاربرد دروس ارائه شده را در صنعت به صورت عملی تجربه می‌کنند. این واحد معمولاً در تابستان ارائه می‌شود.

1. Stripper

2. Flash

۹۲ ارائه راهکارهایی برای بهبود برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی در ایران

### ۲.۳. برنامه آموزشی دانشگاه صنعتی شریف

دروس ویژه دانشگاه شریف که تعدادی از آنها به عنوان گرایش و تعدادی دیگر به عنوان دروس اختیاری به حساب می‌آیند، علاوه بر دروس جداول ۹ و ۱۰ در این دانشگاه ارائه می‌شود که به شرح زیر است:

فرایند پتروشیمی، بیوشیمی مواد غذایی، مبانی اقتصاد، تحلیل سیستم‌ها، فرایند پالایش نفت و گاز، محاسبات مهندسی پالایش، مدیریت صنعتی، آزمایشگاه نفت، مهندسی بیوشیمی، بیوتکنولوژی در صنایع نفت، مقدمه‌ای بر مهندسی مخازن، ساخت و کاربرد پلیمرها، میکرو بیولوژی عمومی، میکروبیولوژی صنعتی، تعیین خصوصیات و طراحی پلیمرها، مقدمات رئولوژی و شکل‌دهی پلیمرها، آزمایشگاه پلیمر، صنایع غذایی ۱ و ۲، کنترل کیفیت مواد غذایی، فناوری نگهداری مواد غذایی، اصول حفاظت محیط‌زیست، انرژی و محیط‌زیست، تصفیه آب‌های صنعتی، تصفیه آب و فاضلاب، ایمنی در صنایع، کاتالیزورهای صنعتی، پدیده‌های انتقال در محیط‌های متخلخل، اصول احتراق، طراحی دستگاه‌های تبادل گرمی حرارتی، سیستم‌های اندازه‌گیری، جداسازی غشاء، مهندسی محیط‌زیست، بیوشیمی، مبانی مهندسی پلیمر، مهندسی صنایع غذایی، انتقال و توزیع گاز، سیالات دوفازی، مهندسی نفت و زبان تخصصی [۱۶].

### ۳.۳. برنامه آموزشی دانشگاه تهران

دروس ویژه دانشگاه تهران نیز که تعدادی از آنها به عنوان گرایش و تعدادی دیگر به عنوان دروس اختیاری محسوب می‌شود، علاوه بر دروس جداول ۹ و ۱۰ در این دانشگاه ارائه می‌شود که به شرح زیر است:

انتخاب و تعیین مشخصات دستگاهها، روشهای اندازه‌گیری کمیتها، مهندسی احتراق، مدیریت صنعتی، خوردگی، بهینه‌سازی فرایند، زبان تخصصی، مهندسی محیط‌زیست، طراحی واحدهای عملیاتی، موارد ویژه نفت و گاز، سیالات دوفازی، رزینهای صنعتی، آزمایشگاه پلیمر، میکروبیولوژی عمومی، فرایندهای پالایش، طراحی راکتورهای کاتالیستی، فرایندهای پتروشیمی، انتقال و توزیع گاز، فرایندهای گاز، خواص مواد پلیمری، مهندسی پلاستیک و الاستومر، شبیه‌سازی فرایند، طراحی فرایند، مهندسی بیوشیمی، فرایندهای بیوتکنولوژی و صنایع غذایی و [۱۷].

### ۴.۳. برنامه آموزشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

علاوه بر دو دانشگاه یاد شده، دروس ویژه دانشگاه صنعتی امیرکبیر نیز که تعدادی از آنها به عنوان گرایش و تعدادی دیگر به عنوان اختیاری بر شمرده می‌شود، علاوه بر دروس جداول ۹ و ۱۰ در این

دانشگاه ارائه می‌شود که به شرح زیر است:

اصول مهندسی احتراق، تصفیه آبهای صنعتی، زبان تخصصی، شیمی و بیوشیمی مواد غذایی، فرایندهای پتروشیمیایی<sup>۱</sup>، مبانی شیمی و تکنولوژی پلیمر، مدیریت صنعتی، میکروبیولوژی مواد غذایی، کنترل کیفی مواد غذایی [۱۸]، آزمایشگاه رئولوژی، آزمایشگاه بیوتکنولوژی، آزمایشگاه صنایع غذایی و میکروبیولوژی، آزمایشگاه نگهداری و بسته‌بندی مواد غذایی، آزمایشگاه کاتالیست و طراحی راکتور، آزمایشگاه اندازه‌گیری ذرات با لیزر، آزمایشگاه میکروبیولوژی مواد غذایی و آزمایشگاه کنترل کیفی مواد غذایی [۱۹].

۳.۵. برنامه آموزشی دانشگاه علم و صنعت ایران

در دانشگاه علم و صنعت ایران واحدهای درسی که به عنوان دروس ویژه ارائه می‌شود، به شرح زیر است که البته، دربردارنده مواردی علاوه بر دروس مطرح شده در جداول ۹ و ۱۰ در این دانشگاه است:

فرایندهای پالایش نفت، فرایندهای گاز، فرایندهای پتروشیمی، فرایندهای موادمعدنی، فرایندهای پلیمری، زیست فناوری، فرایندهای نو در مهندسی شیمی، تعیین مشخصات و انتخاب دستگاهها، روشهای اندازه‌گیری کمیتها، خواص مواد و خوردگی، ایمنی در صنایع شیمیایی، مدیریت صنعتی، فناوری پودر، مهندسی محیط‌زیست، سیستم‌های انرژی و مبانی کارآفرینی [۲۰].

۳.۶. برنامه آموزشی دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشگاه صنعتی اصفهان نیز دروس ویژه‌ای را در برنامه‌های آموزشی خود علاوه بر دروس جداول ۹ و ۱۰ به شرح زیر گنجانده است:

دروس تخصصی و اختیاری گرایش پتروشیمی: فرایندهای پتروشیمی، مقدمات مهندسی پالایش و گاز، آزمایشگاه نفت، مبانی شیمی و فناوری پلیمر، تصفیه آبهای صنعتی، خوردگی در صنایع نفت، ایمنی در صنایع شیمیایی، اصول حفاظت محیط زیست و مبانی مهندسی برق.

دروس تخصصی و اختیاری گرایش پلیمر: شیمی و سینتیک پلیمریزاسیون، خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمرها و آزمایشگاه، شیمی فیزیک پلیمرها، آزمایشگاه شیمی پلیمرها، رئولوژی پلیمرها، فناوری پلاستیک، تکنولوژی کامپوزیتها و مواد افزودنی، تکنولوژی الاستومر، وسایل اندازه‌گیری مشخصات مولکولی و اصول مهندسی پلیمریزاسیون.

دروس تخصصی و اختیاری گرایش بیوتکنولوژی: میکروبیولوژی و آزمایشگاه، بیوشیمی، بیوتکنولوژی و فرایند تخمیر، آزمایشگاه بیوتکنولوژی، جداسازی محصولات بیوتکنولوژی، سینتیک و تکنولوژی

۹۴ ارائه راهکارهایی برای بهبود برنامه آموزشی رشته مهندسی شیمی در ایران

آنزیم، طراحی آزمایشها و آنالیز اطلاعات، تصفیه پساب شهری و صنعتی، اصول ژنتیک و آزمایشگاه ژنتیک [۲۱].

#### ۴. مقایسه برنامه آموزشی دانشگاههای ایران با دانشگاههای برتر دنیا

در جدول ۱۱ مشخص شده است که در هر دانشگاه کدام یک از دروس ارائه می‌شود و مقایسه بین برنامه آموزشی دانشگاههای برتر و دانشگاههای ایران صورت گرفته است.

جدول ۱۱: مقایسه برنامه آموزشی دانشگاههای ایران با دانشگاههای برتر دنیا

عنوان درس	یل	کمبریج	کالیفرنیا	امپریال	کلمبیا	میشیگان	پن	ایران
موازنه جرم و انرژی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ترمودینامیک مهندسی شیمی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
پدیده‌های انتقال *	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مکانیک سیالات	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
فرایندهای جداسازی و خالص سازی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
سینتیک و طراحی راکتورهای شیمیایی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
کاربرد ریاضیات در مهندسی شیمی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
دینامیک و کنترل سیستم‌های شیمیایی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
طراحی فرایندهای شیمیایی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مهندسی بیو شیمی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۱،۲،۵*
مهندسی بیو مولکول	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	۱،۲،۵
تحقیق و پژوهش	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
قوانین مدلسازی در مهندسی شیمی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
آزمایشگاه مهندسی شیمی	✓					✓		✓
آشنایی با مهندسی محیط زیست	✓							۱،۲،۴،۵
کنترل آلودگی آب	✓							۱،۵
کنترل آلودگی هوا	✓							
خواص مواد	✓							
فیزیولوژی ارگانسیم‌ها	✓							

ادامه جدول ۱۱

	✓				✓	✓	✓	پروژه طراحی
✓						✓		آشنایی با مهندسی شیمی
						✓		نگارش علمی
						✓		فرایند الکترونیکی مواد
						✓		آزمایشگاه طراحی مهندسی شیمی
۳.۵						✓		آزمایشگاه مهندسی بیومولکول
۱.۲	✓	✓	✓			✓		شیمی فیزیک پلیمرها
			✓			✓		مباحث ویژه در انتقال پدیده‌ها
✓			✓			✓		شیمی کاتالیستها
		✓	✓			✓		آشنایی با ترمودینامیک آماری
۲		✓	✓					سینتیک کاربردی
			✓					مهندسی مولکول و طراحی محصول
۵			✓					انتقال در سیستم‌های بیولوژیکی
			✓					مفاهیم الکتروشیمی صنعتی
۱.۵			✓					آزمایشگاه مواد پلیمری
			✓					پدیده‌های مولکولی در مهندسی شیمی
		✓						تعمیر دستگاهها در کارگاه
		✓						کلونید و سطح
		✓						انتقال پدیده‌ها بین دو محیط
		✓						محاسبات علم نانو برای مواد مختلف
		✓						مطالعات مستقیم در مهندسی شیمی

\* درس پدیده‌های انتقال در دانشگاه‌های ایران با عنوان دو درس انتقال جرم و حرارت ارائه می‌شود.  
 \*\* در برنامه آموزشی دانشگاه‌های ایران دروسی که با علامت تیک نشان داده شده است، دروسی هستند که در برنامه وزارت علوم، تحقیقات و فناوری آمده است و در تمام دانشگاه‌های ایران ارائه می‌شود. دروسی که با شماره نشان داده شده‌اند، دروسی هستند که فقط در تعدادی از دانشگاه‌ها

ارائه می‌شود به شرح زیر است:

۱. دانشگاه صنعتی شریف
۲. دانشگاه تهران
۳. دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۴. دانشگاه علم و صنعت ایران
۵. دانشگاه صنعتی اصفهان

##### ۵. نتیجه‌گیری و ارائه راهکارهای مناسب

با مقایسه برنامه‌های آموزشی دانشگاه‌های ایرانی با دانشگاه‌های برتر دنیا می‌توان راهکارهای مناسبی برای بهبود برنامه آموزشی دانشگاه‌های ایران استنباط و ارائه کرد که به مواردی از آنها در زیر اشاره می‌شود:

- افزودن واحدهای آزمایشگاهی، کارگاهی و افزایش امکانات آنها: همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، برنامه آموزشی از جنبه تجربی و آزمایشگاهی ضعیف است و باید تقویت شود و با توجه به پیشرفتهای جدید در زمینه مهندسی شیمی اهمیت آشنایی با واحدهای آزمایشگاهی کاملاً مشخص است. بنابراین، توصیه می‌شود واحدهای زیر به برنامه آموزشی اضافه شود:
  - آزمایشگاه طراحی به منظور آماده کردن دانشجویان برای انجام دادن پروژه طراحی؛
  - آزمایشگاه فرایندهای نانو تکنولوژی به منظور آشنایی با فناوری جدید نانو؛
  - آزمایشگاه مهندسی بیومولکول؛
  - آزمایشگاه مواد پلیمری؛
  - کارگاههایی از جمله تعمیر دستگاهها به منظور افزایش مهارتهای دانشجویان برای ورود به محیط کار.
- افزودن نرم‌افزارهای تخصصی: با توجه به پیشرفت علوم کامپیوتری، گسترش نرم‌افزارها و کاربرد آنها در دروس مهندسی شیمی، پیشنهاد می‌شود که نرم‌افزارهای تخصصی و جدید به صورت فراگیر و اصولی تدریس شوند و پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:
  - گنجانیدن نرم‌افزارها در متن دروس و استفاده از آنها برای تدریس؛
  - حذف درس برنامه‌نویسی و تدریس نرم‌افزارهای پرکاربرد.
- برقراری ارتباط با صنعت: همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، ارتباط دانشگاه و صنعت نیاز امروز صنایع ماست تا بتوانند از پتانسیل و توانمندیهای مهندسان داخلی استفاده کنند.
  - برگزاری دوره‌های تخصصی درخواستی مراکز صنعتی که از مهندسان شیمی استفاده می‌کنند؛
  - افزایش تعداد کارآموزی در هر سال و کیفیت آن؛

ساغر معصومی گودرزی، رحمت ستوده قره‌باغ و سهیلا گرجی کندی ۹۷

- ارائه درسی با عنوان " کاربرد صنعتی دروس " برای آشنایی بیشتر با کاربردهای صنعتی دروس مطالعه شده و انجام دادن پروژه‌هایی مرتبط با آنها.
- ارائه دروس جدید: متناسب با پیشرفت علوم باید محتوای برنامه آموزشی تغییر کند و علوم جدید وارد برنامه آموزشی شوند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود دروس زیر به برنامه آموزشی اضافه شود:
  - "مدلسازی در مهندسی شیمی" به منظور آشنا کردن دانشجویان با نحوه مدلسازی و کاربرد آن در دروس مختلف؛
  - "کنترل آلودگی هوا" برای آشنا کردن دانشجویان با روشهای جلوگیری از آلودگی هوا که در کشور ما کاربرد زیادی دارد؛
  - "نگارش علمی" به منظور آشنا کردن دانشجویان با نحوه گزارش نویسی و مقاله نویسی؛
  - "ترمودینامیک آماری" برای آشنایی دانشجویان با مفاهیم ترمودینامیک آماری؛
  - "مهندسی مولکول و طراحی محصول" برای آشنا کردن دانشجویان با روشهای تولید محصول که کاربردهای صنعتی دارد؛
  - "محاسبات نانو" برای آشنا کردن دانشجویان با فناوری و علم روز دنیا؛
  - "مفاهیم الکتروشمیایی صنعتی" برای آشنایی دانشجویان با کاربرد الکتروشیمی در صنعت؛
  - "نقشه‌کشی" متناسب با احتیاجات مهندسی شیمی شامل نقشه‌خوانی، رسم PFD ایزومتری و Flow sheeting.
- افزودن واحدهای تحقیق و پژوهش: برای افزایش مهارت و انگیزه دانشجویان در انجام دادن پروژه باید واحدهای تحقیق و پژوهش ارائه شود تا دانشجویان پروژه‌های کارآمد و جدید را انجام دهند و با کاربرد دروس بیشتر آشنا شوند. همچنین، روحیه انجام دادن کارهای گروهی در آنها تقویت می‌شود.
  - "تحقیق و پژوهش" به منظور آماده کردن دانشجویان برای انجام دادن پروژه و کارهای گروهی؛
  - "پروژه طراحی" به عنوان یک واحد مجزا برای افزایش مهارت دانشجویان در طراحی فرایند؛
  - یادگیری مفاهیم دروس با انجام دادن پروژه؛
  - پیگیری بیشتر پروژه کارشناسی.

- نکات مهم دیگر

- ارائه درسی با عنوان "آشنایی با منابع علمی مهندسی شیمی" که شامل معرفی منابع مختلف مهندسی شیمی و چگونگی دسترسی و استفاده از آنها و همچنین، چگونگی گزارش نویسی و ارائه نتایج کار باشد.
- ارائه درس "زبان تخصصی" به صورت اجباری.
- نگاه کاربردی به دروس و بررسی کاربرد هر درس در دروس دیگر [۶].
- حذف همپوشانیها در دروس مختلف [۶].
- در نظر گرفتن نیاز بازار کار در تدوین سرفصلها [۶].
- حذف دروسی که در حال حاضر کاربرد چندانی در صنعت ندارند [۱].
- افزودن سقف دروس اختیاری و تنوع بخشی به آنها به منظور گسترش معلومات دانشجویان [۱].

تقدیر و تشکر

در تهیه این مقاله از دیدگاههای ارزشمند آقای مهندس محمدعلی ضیا ظریفی بهره برده شده است و بدین وسیله از ایشان تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

۱. گروه های آموزشی شورای بازنگري و ستاد برنامه ريزي دانشگاه اصفهان، بازنگري دروس مهندسي شيمي مقطع کارشناسی.
۲. طاهري، منصور و امير رحيمي، "اولويتهاي اساسي در تغيير ساختار آموزش مهندسي شيمي در ايران"، **فصلنامه آموزش مهندسي ايران**، سال چهارم، شماره ۲۱، صفحه ۷، پاييز ۱۳۸۱.
۳. سلطانیه، محمد، "آموزشهای مهندسی و نیازهای صنعت در ایران"، **فصلنامه آموزش مهندسی ایران**، سال پنجم، شماره ۱۸، صفحه ۱۰۳، تابستان ۱۳۸۲.
4. Favre, E., V. Falk, C. Roizard and E. Schaer, E., "Trends in Chemical Engineering Education: Process, Product and Sustainable Chemical Engineering Challenges", **Elsevier**, pp. 22-27, 2008
۵. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، مشخصات کلی برنامه و سر فصل دروس مورخه ۱۳۸۱/۱۰/۲۱.



ساغر معصومی گودرزی، رحمت ستوده قره‌باغ و سهیلا گرجی کندی ۹۹

۶. زاهدی، غلامرضا، «نقدی بر برنامه جدید آموزشی دوره کارشناسی رشته مهندسی شیمی»، یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی در دانشگاه تربیت مدرس، آذرماه ۱۳۸۵.

7. Perkin, J., "Education in Process Systems Engineering: Past, Present and Future", Elsevier, No. 26, pp. 283-293, 2000.

- سایت دانشگاهها

8. [www.seas.yale.edu/departments-chemical-chemical-undergraduate-courses.php](http://www.seas.yale.edu/departments-chemical-chemical-undergraduate-courses.php) access on ۱۳۸۹/۶
9. [www.ceb.cam.ac.uk/pages.html](http://www.ceb.cam.ac.uk/pages.html) access on ۱۳۸۹/۶
10. <http://pr.caltech.edu/catalog/09-10/courses/listing/che.html> access on ۱۳۸۹/۶
11. <http://workspace.imperial.ac.uk/chemicalengineering/public/chemical-Engineering.pdf> access on ۱۳۸۹/۶
12. <http://bulletin.engineering.columbia.edu/courses-3> access on ۱۳۸۹/۶
13. [www.engin.umich.edu/dept/che/chemengin/courses/checourses.html](http://www.engin.umich.edu/dept/che/chemengin/courses/checourses.html) access on ۱۳۸۹/۶
14. [www.engr.psu.edu/advisingcenter/progguide/08-09/CHE-0809.pdf](http://www.engr.psu.edu/advisingcenter/progguide/08-09/CHE-0809.pdf) access on ۱۳۸۹/۶
15. [www.prospective.engineering.utoronto.ca/skule/undergraduate/chemeng/learn.html](http://www.prospective.engineering.utoronto.ca/skule/undergraduate/chemeng/learn.html) access on ۱۳۸۹/۶
16. <http://Che.sharif.ir/form-bs/Chem-eng-courses-after%2085-26-5-88.pdf> access on ۱۳۸۹/۷
17. <http://eng.ut.ac.ir/eng-acad> access on, ۱۳۸۹/۷
18. <http://chemeng.aut.ac.ir/autcms/chemical-engineering/fa/courses/courseofferingview> access on ۱۳۸۹/۷
19. <http://chemeng.aut.ac.ir/autcms/labs/list.htm?depurl=chemical-engineering & lang=fa & cid =27641> access on ۱۳۸۹/۷
20. [www.iust.ac.ir/page.php?slct-pg-id=5746&sid=15&slc-lang=fa](http://www.iust.ac.ir/page.php?slct-pg-id=5746&sid=15&slc-lang=fa) access on ۱۳۸۹/۷
21. <http://che.iut.ac.ir/images/ketabche88.pdf> access on ۱۳۸۹/۷