مطالعات پشتیبان

دانشکده: مهندسی

رشته: مهندسی شیمی

گرایش: طراحی فرآیندها

مقطع: کارشناسی ارشد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه
دانشگاه فردوسی مشهد

مطالعات پشتیبان

رشته: مهندسی شیمی

گرایش: طراحی فرایندها

مجری طرح:

دکتر نفیسه فرهادیان

همکاران طرح:

دکتر محمدعلی فنایی شیخ‌الاسلامی

دکتر اکبر شاهسوند

دکتر مهدی پور افشاری چنار

دکتر سید مصطفی نوعی باغبان

دکتر مهدی پناهی

دکتر الهام یساری

دکتر بیژن حجازی

دکتر مهدی کریمی

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول: کلیــات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- معرفی رشته مهندسی شیمی، گرایش طراحی فرایند ۳

۱-۳- تاریخچه ۳

۱-۳-۱- تاریخچه گرایش طراحی فرایند در دنیا ۳

۱-۳-۲- تاریخچه گرایش طراحی فرایند در ایران ۴

۱-۳-۳- تاریخچه گرایش طراحی فرایند در دانشگاه ۴

۱-۴- اهمیت و اولویت گرایش طراحی فرایندها ۴

۱-۵- روش ارزیابی بهره‌وری دروس گرایش طراحی فرایند ۴

۱-۶- جامعه آماری ۵

۱-۶-۱ جامعه آماری مرتبط با پایش دانش‌آموختگان ۵

۱-۶-۲ جامعه آماری مرتبط با کارفرما ۵

۱-۷- نمونه ۶

۱-۸- ابزار ۶

۱-۹- روش تحلیل ۶

فصل دوم: تحلیل اسناد فرادست

۲-۱- سند چشم‌انداز ۲۰ ساله ۸

۲-۲- نقشه جامع علمی کشور ۸

۲-۳- سند تحول راهبردی علم و فناوری کشور ۸

۲-۴- سند راهبردی دانشگاه ۹

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۵-۲- سند راهبردی دانشکده ۹

۶-۲- دلالت‌های اسناد فرادست در بازنگری برنامه درسی گرایش طراحی فرآیند ۱۰

فصل سوم: بررسی تجربیات دانشگاه‌های برتر دنیا

۱-۳- مقدمه ۱۲

۲-۳- لیست دانشگاه‌های خارجی موردبررسی ۱۲

۳-۳- دانشگاه MIT ۱۳

۱-۳-۳ معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن ۱۳

۲-۳-۳ ساختار برنامه درسی ۱۳

۴-۳- دانشگاه فنی مونیخ (Technische Universitat) ۱۷

۱-۴-۳- معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن ۱۷

۲-۴-۳- ساختار برنامه درسی ۱۷

۵-۳- دانشگاه Kyoto ژاپن ۱۹

۱-۵-۳- معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن ۱۹

۲-۵-۳- ساختار برنامه درسی ۱۹

۶-۳- دانشگاه Manchester ۲۱

۱-۶-۳ - معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن ۲۱

۲-۶-۳- ساختار برنامه درسی ۲۱

۷-۳- دانشگاه MC Gill کانادا ۲۵

۱-۷-۳-معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن ۲۵

۲-۷-۳-ساختار برنامه درسی ۲۵

۸-۳- دانشگاه British Colombia ۲۸

۱-۸-۳- معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن ۲۸

۲-۸-۳- ساختار برنامه درسی ۲۸

۹-۳- ترسیم ماتریس به‌منظور بررسی نقاط اشتراک و افتراق دانشگاه‌های مختلف ۳۱

۱۰-۳-همپوشانی سرفصل دروس مشترک فردوسی با دانشگاه‌های خارج ۳۳

۱۱-۳ دلالت‌های بررسی دانشگاه‌های برتر دنیا ۴۳

فصل چهارم: بررسی تجربیات دانشگاه‌های برتر ایران

۴-۱ مقدمه و روش بررسی دانشگاه‌ها ۴۵

۴-۲-دانشگاه‌های داخلی موردبررسی ۴۵

۴-۳ -دلایل انتخاب دانشگاه‌ها ۴۵

۴-۴ ساختار برنامه درسی..... ۴۶

۴-۴-۱ ویژگی‌های برنامه درسی (سرفصل دروس، منابع پیشنهادی و روش ارزیابی) ۵۰

۴-۴-۲ ترسیم ماتریس به‌منظور بررسی نقاط اشتراک و افتراق چارت درسی ۷۱

۴-۵- دلالت‌های بررسی دانشگاه‌های داخلی ۷۶

فصل پنجم: پایش دانش‌آموختگان

۵-۱- بررسی وضعیت جامعه آماری از جهت نوع اشتغال افراد ۷۹

۵-۲- بررسی وضعیت جامعه آماری از نظر محل زندگی افراد ۷۹

۵-۳- بررسی وضعیت جامعه آماری از نظر میزان رضایت شغلی افراد ۸۰

۵-۴- بررسی دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند..... ۸۰

۵-۵- بررسی دروس تخصصی (اختیاری) گرایش طراحی فرآیند ۸۱

۵-۶- بررسی نرم‌افزارها ۸۳

۵-۶-۱- نرم‌افزارهای محاسباتی ۸۴

۵-۶-۲- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی فرآیند ۸۴

۵-۶-۳- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیکی فرآیند ۸۵

۵-۶-۴- نرم‌افزارهای محاسبات اقتصادی ۸۵

۵-۶-۵- نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی ۸۶

۵-۶-۶- نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ۸۷

۵-۶-۷- سایر نرم‌افزارها ۸۷

۵-۷- بررسی ضرورت وجود بازدیدهای صنعتی..... ۸۸

۵-۷-۱- بررسی دروس ضروری برای بازدیدهای صنعتی ۸۸

۵-۹-بررسی میزان ضرورت حذف سمینار و جایگزینی واحد درسی به‌جای آن ۹۰

۵-۱۰- بررسی ضرورت اخذ دروس از سایر گرایش‌های نوین‌تر مانند پلیمر، نانو فناوری .... در گرایش طراحی فرآیند ۹۱
۵-۱۱- نظرات تکمیلی افراد ۹۱
۵-۱۲ -دلالت‌های پایش دانش‌آموختگان ۹۳

فصل ششم: پایش کارفرمایان

۶-۱ - بررسی میزان اهمیت دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند ۹۵
۶-۲ - بررسی میزان اهمیت دروس اختیاری – تخصصی گرایش طراحی فرآیند ۹۵
۶-۳- بررسی اهمیت نرم‌افزارها ۹۶
۶-۴ - بررسی سؤالات تکمیلی ۹۸
۶-۵ - بررسی سؤالات تکمیلی‌تر ۹۹
۶-۶ - دلالت‌های پایش کارفرمایان..... ۱۰۰

فصل هفتم: باهم نگری و نتیجه‌گیری

۷-۱ -رابطه مطالعات انجام‌شده با برنامه درسی..... ۱۰۲
۷-۲ - برنامه درسی پیشنهادی ۱۰۴

فهرست جداول

جدول ۱-۳– لیست دانشگاه‌های مورد بررسی ۱۲

جدول ۲-۳- جدول دروس اصلی و اختیاری دانشگاه MIT ۱۳

جدول ۳-۳ – سرفصل دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه MIT ۱۴

جدول ۴-۳- جدول دروس دانشگاه فنی مونیخ ۱۷

جدول ۵-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه فنی مونیخ ۱۷

جدول ۶-۳- جدول دروس دانشگاه Kyoto ۱۹

جدول ۷-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه Kyoto ۲۰

جدول ۸-۳- جدول دروس دانشگاه منچستر ۲۱

جدول ۹-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه Manchester ۲۲

جدول ۱۰-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه Manchester ۲۵

جدول ۱۱-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه Mc-Gill ۲۶

جدول ۱۲-۳- جدول دروس دانشگاه British Colombia ۲۸

جدول ۱۳-۳- سرفصل دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه British Colombia ۲۹

جدول ۱۴-۳- ماتریس نقاط اشتراک و افتراق دانشگاه‌ها ۳۲

جدول ۱۵-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه MIT با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد ۳۳

جدول ۱۶-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه فنی مونیخ با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد ۳۴

جدول ۱۷-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه kyoto با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد ۳۶

جدول ۱۸-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه British Colombia با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد ۳۸

جدول ۱۹-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه Manchester با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد ۳۹

جدول ۲۰-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه Mc Gill با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد ۴۲

جدول ۱-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه فردوسی مشهد ۴۶

جدول ۲-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه صنعتی شریف ۴۶

جدول ۳-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه تهران ۴۶
جدول ۴-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه تربیت مدرس ۴۷
جدول ۵-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه علم و صنعت ایران ۴۸
جدول ۶-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه صنعتی اصفهان ۴۹
جدول ۷-۴- سرفصل دروس دانشگاه صنعتی شریف ۵۰
جدول ۸-۴- سرفصل و نحوه ارزیابی دروس ارائه شده در دانشگاه‌های مختلف بر اساس مصوب وزارت علوم ۵۷
جدول ۹-۴ - ماتریس مربوط به بررسی نقاط اشتراک و افتراق دانشگاه‌ها ۷۲
جدول ۱۰- ۴- نقاط اشتراک سرفصل درس محاسبات عددی دانشگاه فردوسی با درس ریاضیات عددی پیشرفته دانشگاه صنعتی شریف.. ۷۳
جدول ۱۱ -۴ نقاط اشتراک سرفصل درس طراحی راکتور پیشرفته دانشگاه فردوسی با دانشگاه صنعتی شریف ۷۴
جدول ۱۲-۴ نقاط اشتراک سرفصل درس طراحی به کمک کامپیوتر دانشگاه فردوسی با دانشگاه صنعتی شریف ۷۵
جدول ۱۳-۴ نقاط اشتراک سرفصل درس بهینه‌سازی دانشگاه فردوسی با دانشگاه صنعتی شریف ۷۵
جدول ۱-۶ اهمیت دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند ۹۴
جدول ۲-۶ اهمیت دروس اختیاری – تخصصی گرایش طراحی فرآیند ۹۴
جدول ۳-۶ نرم‌افزارهای محاسباتی ریاضی و مدل‌سازی (نرم‌افزارهای عمومی) ۹۵
جدول ۴-۶ نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی فرآیند ۹۵
جدول ۵-۶ نرم‌افزارهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی دینامیکی فرآیند ۹۶
جدول ۶-۶ نرم‌افزارهای محاسبات اقتصادی ۹۶
جدول ۷-۶ نرم‌افزارهای CFD ۹۶
جدول ۸-۶ نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی ۹۶
جدول ۱-۷ مقایسه برنامه درسی قدیم و جدید ۱۰۴

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل ۱-۵– توزیع و پراکندگی اشتغال افراد ۷۸

شکل ۲-۵- توزیع محل زندگی افراد ۷۸

شکل ۳-۵- نمودار آماری میزان رضایت شغلی افراد ۷۹

شکل ۴-۵- نمودار آماری اهمیت دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند ۷۹

شکل ۵-۵- اهمیت دروس تخصصی (اختیاری) از دیدگاه جامعه آماری ۸۲

شکل ۶-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای عمومی محاسباتی ۸۳

شکل ۷-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی فرآیند ۸۳

شکل ۸-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیکی فرآیند ۸۴

شکل ۹-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای محاسبات اقتصادی ۸۴

شکل ۱۰-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی ۸۵

شکل ۱۱-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای CFD ۸۶

شکل ۱۲-۵ نمودار آماری ضرورت وجود بازدیدهای صنعتی ۸۷

شکل ۱۳-۵- نمودار آماری ضرورت تغییر واحدهای درسی از ۳ واحد به ۲ واحد ۸۹

شکل ۱۴-۵- نمودار آماری نظرات افراد درباره ضرورت حذف سمینار ۸۹

شکل ۱۵-۵- نمودار آماری نظرات افراد درباره میزان ضرورت اخذ دروس از سایر گرایش‌ها ۹۰

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه:

هدف از ارائه دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی تربیت طراحان و پژوهشگران در صنایع مختلف مرتبط با صنایع شیمیایی، پتروشیمی و پالایشگاهی می‌باشد. فراگیران ضمن آشنایی با اصول مهندسی شیمی در سطح پیشرفته و با تحقیق در یکی از موضوعات مهندسی شیمی قادر خواهند بود پاسخگوی نیازهای صنایع و مراکز صنعتی و تحقیقاتی کشور در زمینه‌های متنوع و مختلف تحقیقاتی در رابطه با مهندسی شیمی باشند. اولین درس در زمینه مهندسی شیمی نخستین بار توسط پروفسور "نورتون[1]" در سال ۱۸۸۱ در دانشگاه MIT[2] و در دانشکده مکانیک تدریس شد؛ نورتون شیمی صنعتی تدریس می‌کرد. در آن زمان صنایع شیمیایی رو به توسعه گذاشته بودند و لازم بود ساخت و بهره‌برداری از فرایندهای شیمیایی توسّط افراد متخصّص صورت گیرد. در آن زمان طرّاحی و نظارت بر ساخت فرایندهای شیمیایی و صنایع شیمیایی به دو شکل صورت می‌گرفت:

- به‌وسیله شیمی‌دان‌هایی که از تئوری‌های شیمیایی و علوم آزمایشگاهی آگاهی داشته، ولی اطلاعات فنی و تجارب کافی از طراحی صنعتی نداشتند.
- به‌وسیله مهندسان مکانیکی که تجربه طرّاحی صنعتی داشتند، ولی اطلاعات کافی از فرایندهای شیمیایی نداشتند.

این موضوع باعث شد که تا مدّتی برای طرّاحی واحدهای شیمیایی از شیمیدانان و مهندسان مکانیک به‌صورت مشترک استفاده شود. امّا برای هماهنگ کردن کار این دو گروه، به افرادی نیاز بود که هم از فرایندهای شیمیایی و هم از طرّاحی صنعتی مطلع باشند و هم تجربه‌های آزمایشگاهی لازم را داشته باشند. ازاین‌رو رشته‌ای جدید در دانشگاه‌ها با نام «شیمی صنعتی» به وجود آمد. با توسعه تدریجی صنایع شیمیایی، نیاز به چنین متخصّصانی که هم در زمینه طرّاحی صنعتی و هم در زمینه فرایندهای شیمیایی تخصص داشتند، بیشتر احساس شد. به‌این‌ترتیب، دوره‌هایی با نام «مهندسی شیمی مدرن» در دانشگاه‌ها پایه‌گذاری شدند. توسعه صنایع شیمیایی باعث شد که دانشگاه‌ها اقدام به تأسیس دانشکده مهندسی شیمی به‌صورت مجزّا کرده و آن را جدا از رشته‌های شیمی و مکانیک تدریس کنند.

ازجمله گرایش‌های مهندسی شیمی، گرایش طراحی فرآیند است که یکی از قدیمی‌ترین و کاربردی‌ترین این گرایش‌ها محسوب می‌شود که دارای سابقه ۲۰ ساله در ایران می‌باشد. در ادامه تاریخچه این گرایش در دنیا، کشور و دانشگاه فردوسی مشهد موردبررسی قرار خواهد گرفت.

[1] Norton

[2] Massachusetts Institute of Technology

۲-۱ معرفی رشته مهندسی شیمی، گرایش طراحی فرایند

مهندسی شیمی علم گسترده‌ای است که تبدیل مواد به یکدیگر، جداسازی آمیزه‌ها، اختلاط مواد و پدیده‌های انتقال را موردمطالعه قرار می‌دهد. دانش‌آموختگان این رشته قادر به طراحی، راه‌اندازی، اداره و کنترل واحدهای صنعتی صنایع شیمیایی می‌باشند. دامنه علم مهندسی شیمی آن‌چنان گسترده است که زمینه‌های متعددی ازجمله صنایع پتروشیمی، صنایع غذایی، صنایع مواد معدنی و پالایش نفت و گاز را نیز در برمی‌گیرد .

یکی از گرایش‌های بسیار کاربردی رشته مهندسی شیمی، گرایش طراحی فرآیندها است. در این گرایش مباحث طراحی پایه و تفصیلی و شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی موردتوجه می‌باشد.

۳-۱- تاریخچه گرایش طراحی فرآیند

۱-۳-۱- تاریخچه گرایش طراحی فرایند در دنیا

مهندسی سیستم‌های فرآیند یا Process System Engineering که به اختصار PSE خوانده می‌شود یکی از بخش‌های نسبتاً جوان مهندسی شیمی به شمار می‌آید. اولین بار که این اصطلاح مورداستفاده قرار گرفت در سمپوزیم انجمن مهندسی شیمی آمریکا (AICHE[1]) در سال ۱۹۶۱ بود. بااین‌حال تا سال ۱۹۸۲ که اولین سمپوزیم بین‌المللی مهندسی فرآیند در Kyoto ژاپن برگزار شده بود چندان پذیرفته نبوده است. از این سال به بعد مهندسی فرآیند و اصطلاح PSE رو به گسترش بیشتری رفت و در دامنه وسیع‌تری مورداستفاده قرار گرفت. اولین کتاب در زمینه مهندسی فرآیند در سال ۱۹۶۸ توسط Dale F. Rudd, Charles C. Watson تحت عنوان استراتژی‌های مهندسی فرآیند توسط انتشارات WILEY به چاپ رسید. بخش فناوری رایانه و سیستم انجمن مهندسی شیمی آمریکا (CAST[2]) در سال ۱۹۷۷ بنا شد که در حال حاضر ۱۲۰۰ عضو دارد و به چهار بخش عمده طراحی فرآیند، کنترل فرآیند، عملیات فرآیندی و ریاضیات کاربردی تقسیم می‌شود.

اولین مجله در زمینه مهندسی فرآیند نیز در سال ۱۹۷۷ تحت عنوان Computer and Chemical Engineering شروع به کار کرده است. کنفرانس Computer Aided Process Design در سال ۱۹۸۰ در زمره اولین کنفرانس‌های تخصصی مهندسی فرآیند به شمار می‌رود. این دسته کنفرانس‌ها امروزه مطالب پیشرفته و کاربردی را در زمینه‌های عملیات فرآیندی،

[1] American Institute of Chemical Engineers

2 Computing & Systems Technology Division

کنترل فرآیند و طراحی فرآیندها عنوان می‌کنند. مهندسی فرآیند یکی از زمینه‌های کاربردی و فعال مهندسی شیمی در این سال‌ها بوده که در کشورهای انگلیس، آلمان، ایالات‌متحده آمریکا، ژاپن و کره جنوبی بسیار گسترش یافته است.

۱-۳-۲ تاریخچه گرایش طراحی فرایند در ایران

گرایش طراحی فرآیند در ایران حدود ۳۰ سال پیش برای اولین بار در دانشگاه صنعتی شریف پایه‌گذاری شد و با توجه به ماهیت کاربردی آن در صنایع کشور به‌ویژه صنعت نفت، گاز و پتروشیمی در دیگر دانشگاه‌های کشور نیز موردتوجه قرار گرفت.

۱-۳-۳ تاریخچه گرایش طراحی فرایند در دانشگاه

گرایش طراحی فرایند در سال ۱۳۷۱ در دانشگاه فردوسی مشهد در دانشکده مهندسی و گروه مهندسی شیمی تأسیس شد و تاکنون حدود ۱۵۰ دانشجو در این گرایش از دانشگاه فردوسی مشهد فارغ‌التحصیل شده‌اند.

۱-۴- اهمیت و اولویت گرایش طراحی فرایندها

کشور جمهوری اسلامی ایران دارای منابع سرشار نفت و گاز می‌باشد و تبدیل این منابع به مواد مصرفی مستلزم آشنایی با طراحی انواع فرایندهای شیمیایی است. اینجاست که نیاز آشنایی به گرایش طراحی فرایند در هر سطحی از کاربرد از حوزه صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی گرفته تا صنایع غذایی، داروسازی و محیط‌زیست احساس می‌شود. لذا تربیت متخصصین در حوزه طراحی فرایندها از اولویت خاصی برخوردار است.

۱- ۵ روش ارزیابی بهره‌وری دروس گرایش طراحی فرایند

برنامه دروس گرایش طراحی فرایند اولین بار در سال ۱۳۹۴ توسط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تدوین و موردبازنگری قرارگرفته است. به‌منظور ارتقاء کیفیت دروس ارائه‌شده برای دانشجویان ورودی به گرایش طراحی فرایندها در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی شیمی و کمک به فعالیت‌های پژوهشی ایشان، یک نظرسنجی توسط گروه مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد و زیر نظر سرکار خانم دکتر نفیسه فرهادیان انجام شد. برای انجام نظرسنجی مذکور، ابتدا یک فرم پرسشنامه توسط مجری طرح تدارک دیده شد. فرم اولیه توسط برخی از اساتید رشته مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی و صاحب‌نظر در حوزه طراحی فرایند همچون آقایان دکتر اکبر شاهسوند، دکتر مهدی پناهی و سرکار خانم دکتر الهام یساری بررسی شد. پس از تائید اولیه فرم توسط همکاران محترم، نظرسنجی از دانشجویان، دانش‌آموختگان و کارفرمایان مرتبط با رشته مهندسی شیمی انجام شد. هدف از این نظرسنجی، ارزیابی بهره‌وری دروس گرایش طراحی فرایند و بررسی نرم‌افزارهای مرتبط با این گرایش بود.

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۱-۶ جامعه آماری

۱-۶-۱ جامعه آماری مرتبط با پایش دانش‌آموختگان

جامعه آماری برای این نظرسنجی بالغبر ۱۰۰ نفر انتخاب شدند؛ اما متأسفانه بسیاری از این افراد پاسخگو نبوده و در نهایت جمعاً ۵۰ نفر به سؤالات پاسخ دادند. این افراد در یکی از پنج گروه ذیل قرار داشتند:

- **گروه اول** دانشجویان در حال تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد یا دکتری بودند. این افراد حداقل در یکی از مقاطع تحصیلی خود در گرایش طراحی فرایند تحصیل کرده و یا پروژه مرتبط با این گرایش داشته‌اند. تعداد این افراد ۲۴ نفر بود.
- **گروه دوم** فارغ‌التحصیلان در مقطع کارشناسی ارشد یا دکتری بودند. این افراد حداقل در یکی از مقاطع تحصیلی خود در گرایش طراحی فرایند تحصیل کرده و یا پروژه مرتبط با این گرایش داشته‌اند و در حال حاضر مشغول به فعالیتی صنعتی در زمینه مرتبط با گرایش طراحی فرایند بودند. تعداد این افراد ۱۲ نفر بود.
- **گروه سوم** فارغ‌التحصیلان در مقطع کارشناسی ارشد یا دکتری بودند. این افراد حداقل در یکی از مقاطع تحصیلی خود در گرایش طراحی فرایند تحصیل کرده و یا پروژه مرتبط با این گرایش داشته‌اند اما در حال حاضر مشغول به فعالیتی غیر از زمینه مرتبط با گرایش طراحی فرایند بودند. تعداد این افراد ۳ نفر بود.
- **گروه چهارم** فارغ‌التحصیلان مقطع دکتری که در حال حاضر مشغول به فعالیت آموزشی – پژوهشی به‌عنوان عضو هیئت‌علمی دانشگاه‌ها یا پژوهشگاه‌ها در زمینه مرتبط با گرایش طراحی فرایند بودند. تعداد این افراد ۹ نفر بود.
- **گروه پنجم** دانشجویان و فارغ‌التحصیلان رشته مهندسی شیمی بودند که در هیچ‌یک از مقاطع تحصیلی خود در گرایش طراحی فرایند تحصیل نکرده بودند و پروژه مرتبط با این گرایش نیز نداشتند. تعداد این افراد ۲ نفر بود. به علت عدم ارتباط مستقیم و غیرمستقیم با گرایش طراحی فرایند از نتایج نظرسنجی حذف شدند.

۱-۶-۲ جامعه آماری مرتبط با کارفرما

جهت بررسی نظرات کارفرما پرسشنامه مذکور برای برخی از مهندسان و صاحب‌نظران شاغل در صنعت که در حوزه خود به برون‌سپاری پروژه‌های صنعتی می‌پرداختند ارسال شد. مشخصات افرادی که پاسخگو بودند عبارت‌اند از:

- آقای دکتر خوش‌رو – بخش مهندسی فرآیند و واحد مهندسی پالایش پالایشگاه نفت آبادان
- آقای مهندس مستغیثی – بخش تحقیق و توسعه پالایشگاه گازی سر خون قشم
- آقای مهندس محجوبی – رئیس پژوهش و فناوری پالایشگاه گاز هاشمی نژاد سرخس
- خانم دکتر عدلی – مدیریت و نظارت بر تولید واحد نفت و گاز و کارشناس ارشد تأسیسات پالایش و انتقال گاز ستاد شرکت ملی نفت

۱-۷- نمونه

در اجرای این نظرسنجی مشکلاتی وجود داشت. تعداد زیادی از دانشجویان و فارغ‌التحصیلان رشته مرتبط تمایلی برای همکاری در نظرسنجی نداشتند. بااینکه فرم نظرسنجی چندین بار برای آن‌ها ارسال شد اما پاسخی مبنی بر تکمیل فرم دریافت نشد.

در نهایت تعداد ۵۰ نفر پرسشنامه را تکمیل نموده و در جامعه آماری قرار گرفتند.

در بررسی نظرات کارفرما، متأسفانه همکاری این گروه بسیار کم و با مشکلات عدیده‌ای ازنظر پاسخگویی به سؤالات همراه بود. برای این منظور پرسشنامه مذکور برای کارشناسان ارشد چندین شرکت ارسال شد، اما تنها موفق به دریافت نظرات ۴ نفر که همگی در حوزه صنایع نفت و گاز مشغول بودند شدیم.

۱-۸- ابزار

پرسشنامه تهیه‌شده با استفاده از نرم‌افزار آماری موجود در Google form به‌صورت ایمیل و نیز از طریق تلگرام برای افراد و کانال‌های تلگرامی مرتبط مانند کانال تلگرامی دانش‌آموختگان دانشگاه علم و صنعت ایران، دانش‌آموختگان دانشگاه فردوسی مشهد، دانشگاه صنعت نفت، دانشگاه صنعتی شریف و ... ارسال شد. همچنین پرسشنامه نهایی برای دانشجویان و فارغ‌التحصیلان تحصیلات تکمیلی دانشگاه فردوسی مشهد و سایر دانشگاه‌های معتبر کشور همچون دانشجویان دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه تهران، دانشگاه امیرکبیر، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه شیراز و دانشگاه صنعت نفت به‌صورت ایمیل و نیز از طریق کانال تلگرامی فرستاده شد. هم‌چنین پرسشنامه مذکور برای کلیه اساتید دانشگاه‌های نامبرده از طریق پست الکترونیکی و برای برخی افراد از طریق تلگرام ارسال گردید.

۱-۹- روش تحلیل

برای ارزیابی کمیت و کیفیت برنامه درسی، مقایسه‌ی آماری به همراه نقد و بررسی انجام‌شده و با در نظر گرفتن شرایط کشور و امکانات موجود اصلاحاتی جهت اعمال در برنامه درسی قدیمی ارائه شد.

دانشگاه فردوسی مشهد
شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

فصل دوم

تحلیل اسناد فرادست

در این قسمت اهمیت حضور و بازنگری گرایش طراحی فرآیند به‌عنوان یکی از گرایش‌های بنیادین و حیاتی مهندسی شیمی در اسناد فرادستی و بالادستی اعم از سند چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور، نقشه جامع علمی کشور، سند تحول راهبردی علم و فناوری و سند راهبردی دانشگاه فردوسی مشهد و دانشکده مهندسی موردبررسی قرار گرفته است.

۲-۱ سند چشم‌انداز ۲۰ ساله

با توجه به سند چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور، ایران بایستی کشوری توانا در تولید علم و فناوری باشد. هم‌چنین بایستی کشور به رتبه نخست اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی با تأکید بر تولید علم، رشد مستمر اقتصادی و ارتقاء سطح درآمد سرانه کشور برسد؛ لذا در چنین شرایطی اهمیت و جایگاه رشته مهندسی شیمی و گرایش طراحی فرآیند ازاین‌جهت ضروری می‌نماید که این گرایش ارتباط تنگاتنگی با جلوگیری از خام فروشی منابع نفت و گاز و توسعه فرآیندهایی جهت دست‌یابی به مواد مفیدتر ازجمله مواد پتروشیمی را دارا باشد. لذا طراحی فرآیندهای بهینه و پربازده برای استفاده درست از منابع خام نفت و گاز و تولید مواد با ارزش و پالایش آن‌ها می‌تواند ایران را با توجه به حجم منابع عظیم نفت و گاز به‌عنوان صادرکننده بزرگ مواد و محصولات نفتی و پتروشیمی تبدیل کند که در ایجاد اشتغال و درآمدزایی کشور نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.

۲-۲ نقشه جامع علمی کشور

با توجه به نقشه جامع علمی کشور ضرورت تثبیت جایگاه کشور در حوزه‌های فناوری مربوط به نفت و گاز به‌منظور دستیابی به نقش محوری و اساسی در منطقه مشخص شده است. از طرفی در ادامه این نقشه جامع نیز به‌ضرورت دستیابی به دانش طراحی تجهیزات مختلف با همکاری‌های بین‌المللی و جهان اسلام اشاره شده است. ازآنجاکه مهندسی شیمی و به‌خصوص گرایش طراحی فرآیند از بخش‌های اصلی فناوری‌های مربوط به صنعت نفت و گاز و پتروشیمی بوده و دانش لازم جهت طراحی و بهینه کردن تمامی ادوات و تجهیزات این صنعت را در دل خود دارد آموزش و تغییر رویکرد جدیدتر و کاربردی‌تر آن با توجه به نیاز کشور ضرورت دارد.

۲-۳ سند تحول راهبردی علم و فناوری

مطابق سند تحول راهبردی علم و فناوری کشور، مأموریت نظام در قلمروهای آموزش، پژوهش و فناوری شامل دو مورد زیر می‌باشد:

۱. نهادینه‌سازی پژوهش محوری و نوآوری در افراد و سازمان‌ها با استفاده بهینه از فرصت‌های جهانی با هدف پاسخگویی به سؤالات، نیازها و رفع چالش‌های کشور

۲. ایجاد، انتقال، جذب، بومی‌سازی، انتشار و به‌کارگیری فناوری به همراه کارآفرینی و اخلاق حرفه‌ای در سطح ملی با هدف افزایش اقتدار ملی و تولید ثروت و تأمین رفاه اجتماعی جامعه

با توجه به اینکه گرایش طراحی فرآیند به طراحی تجهیزات و سیستم‌های صنایع شیمیایی به‌خصوص صنایع نفت و گاز می‌پردازد و عموم تجهیزات این صنایع وارداتی بوده لذا اهمیت پرداختن به این گرایش و تغییر رویکرد به آن بسیار حس می‌شود تا دانش طراحی و ساخت در صنایع نفت و گاز در داخل کشور بومی‌سازی گردد.

۲-۴ سند راهبردی دانشگاه

با توجه به سند راهبردی دانشگاه فردوسی مشهد، اهداف ده‌ساله آن مطرح گردیده است که مواردی از آن‌ها ارتباط تنگاتنگی با گرایش طراحی فرآیند دارد.

اولاً در راستای افزایش کیفی و کمی تولیدات علمی، توسعه متوازن واحدهای پژوهشی و دستیابی به جایگاه ممتاز پژوهشی و فناوری در سطح ملی و فراملی می‌توان بر گرایش طراحی فرآیند تکیه کرد. به‌عبارت‌دیگر در بخش افزایش کیفی و کمی تولیدات علمی تغییر رویکرد و کاربردی‌تر شدن گرایش طراحی فرآیند می‌تواند تعیین کننده باشد؛ چراکه با استفاده کاربردی‌تر از این گرایش می‌توان محصولاتی با کیفیت بهتر و قیمت تمام‌شده کم‌تر و بهینه‌تر را جهت خودکفایی کشور خصوصاً در صنعت نفت و گاز ارائه نمود، زیرا هدف اصلی این گرایش چیدمان سلسله‌مراتب تولید یک محصول در جهتی است که بهینه‌ترین کیفیت و ازنظر قیمت تمام‌شده، مناسب‌ترین هزینه را دارا باشد.

ثانیاً در راستای اهمیت کارآفرینی می‌توان از گرایش طراحی فرآیند بهره جست. چراکه با تکیه‌بر این گرایش و تولید دانش فنی بومی و متعاقباً تولید تجهیزات و محصولات شیمیایی کاربردی می‌توان فضای کارآفرینی و شرکت‌های دانش‌بنیان و اشتغال را نیز فراهم آورد. این مسئله به بومی‌سازی دانش فنی محصولات مرتبط با حوزه نفت و گاز و پتروشیمی کمک شایانی نموده و سایر حوزه‌های صنعتی مانند پلیمر، داروسازی، صنایع غذایی، انرژی و محیط‌زیست نیز می‌توانند از دانش فرایندی دانش‌آموختگان این گرایش بهره‌مند شوند.

تأسیس پژوهشکده نفت و گاز در دانشگاه فردوسی مشهد اقدام مؤثری در پیشبرد اهداف مدنظر دانشگاه است که بسیاری از فعالیت‌های متمرکز در این پژوهشگاه مرتبط با گرایش طراحی فرایندها خواهند بود.

۲-۵ سند راهبردی دانشکده مهندسی

دانشکده مهندسی در چشم‌انداز برنامه‌های تدوین‌شده رویکرد پژوهش محور را با هدف ایجاد نهضت علمی و جهش علمی پیگیری می‌کند. تأسیس مراکز پژوهشی از دیگر برنامه‌های راهبردی دانشکده مهندسی است. ایجاد پویایی بیشتر در روابط دانشگاه با صنعت و غنی کردن این رابطه، از طریق راهکارهایی مانند افزایش

فعالیت‌های پژوهشی اعضای هیئت‌علمی، انعقاد قرارداد طرح‌های برون دانشگاهی مرتبط با هر رشته، تقویت مراکز R&D[1] و حمایت از مرکز رشد و فناوری دانشکده مهندسی، قابل‌دسترسی است. با این شرایط گرایش طراحی فرآیند به‌عنوان یکی از گرایش‌های متمرکز و مرتبط با صنعت خصوصاً صنایع نفت، گاز و پتروشیمی می‌تواند با تغییر رویکرد در آموزش و پژوهش نقش مؤثری در دانشکده از طریق حل مشکلات و مسائل صنعت ایفا کند.

۲-۶ دلالت‌های اسناد فرادست در بازنگری برنامه درسی گرایش طراحی فرآیند

با توجه به مطالب ذکرشده در بندهای بالا می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که گرایش طراحی فرایند رشته مهندسی شیمی جزء یکی از کاربردی‌ترین گرایش‌ها در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی به شمار می‌رود. تولید تجهیزات و محصولات شیمیایی مرتبط با صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و بومی‌سازی دانش مربوط به آن‌ها در سند تحول راهبردی علم و فناوری و سند چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور آمده است. به همین دلیل تربیت متخصصان مربوط به این حوزه بسیار بااهمیت می‌باشد. بازنگری دروس گرایش طراحی فرایند از منظر مقایسه با دانشگاه‌های تراز اول دنیا می‌تواند در این امر بسیار راهگشا باشد.

[1] Research & Development

فصل سوم

بررسی تجربیات

دانشگاه‌های برتر دنیا

۳-۱-مقدمه

در این فصل برنامه درسی مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه‌های خارج از کشور موردبررسی قرار گرفته است . توجه به این نکته ضروری است که اغلب دانشگاه‌های معتبر خارج کشور عموماً هسته مرکزی دروس خود (دروس اصلی) را ذکر کرده‌اند و دروس تخصصی و اختیاری برحسب ماهیت پروژه هر دانشجو با نظر استاد راهنما تعیین می‌شود.

روش مقایسه به این صورت است که برای هر دانشگاه خارجی، چارت درسی آن‌ها و سرفصل دروس با برنامه درسی گرایش طراحی فرایند دانشگاه فردوسی مشهد یک‌به‌یک مورد مقایسه قرارگرفته و تفاوت‌ها و شباهت‌های آن‌ها ذکر شده است.

۳-۲- لیست دانشگاه‌های خارجی موردبررسی

با توجه به اینکه گرایش طراحی فرایند جزء یکی از مهم‌ترین گرایش‌های رشته مهندسی شیمی است، در بسیاری از دانشگاه‌های معتبر دنیا تدریس می‌شود. لذا در تحلیل موردنظر سعی شده است تا معتبرترین دانشگاه‌های دنیا که برنامه درسی آن‌ها موجود بوده موردبررسی قرار بگیرند. از سوی دیگر تنوع دانشگاه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شد که پیشرفته‌ترین کشورهای دنیا خصوصاً در حوزه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی را شامل شوند. ازاین‌رو دانشگاه‌های معتبر آمریکا، کانادا، انگلستان، ژاپن و آلمان موردبررسی قرارگرفته‌اند. جدول ۱-۳ لیست دانشگاه‌های موردبررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۳– لیست دانشگاه‌های مورد بررسی

ردیف	کشور	نام دانشگاه	رتبه دانشگاه در رتبه‌بندی QS سال ۲۰۱۷
۱	آمریکا	MIT	رتبه ۱
۲	کانادا	McGill	رتبه ۳۲
۳	انگلستان	Manchester	رتبه ۳۴
۴	ژاپن	Kyoto	رتبه ۳۶
۵	کانادا	British Colombia	رتبه ۵۱
۶	آلمان	دانشگاه فنی مونیخ Technische Universitat	رتبه ۶۴

۳-۳- دانشگاه MIT

۳-۳-۱ معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن

دانشگاه MIT یا موسسه فنی و مهندسی ماساچوست در ایالت ماساچوست ایالات‌متحده آمریکا قرار دارد. این دانشگاه در کلیه رتبه‌بندی‌های موجود در رشته‌های فنی مهندسی و طبعاً در رشته مهندسی شیمی همواره در رتبه اول قرار داشته و در زمره سه دانشگاه برتر مهندسی شیمی دنیا قرار دارد. دانشگاه مهندسی شیمی آن از قدیمی‌ترین دانشگاه‌های مهندسی شیمی دنیا می‌باشد که در سال ۱۹۲۰ تأسیس شده است. امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی، وضعیت ارتباط با صنعت و اعضای هیئت‌علمی این دانشگاه نه تنها سرآمد تمام دانشگاه‌های آمریکا بوده که در تمام دنیا شاخص می‌باشد. هم‌چنین این دانشگاه را به‌نوعی می‌توان مادر دانشگاه‌های مهندسی دانست که خط سیر این دانشگاه در هریک از موضوعات مهندسی همواره موردتوجه سایر دانشگاه‌های دنیا بوده است.

از سوی دیگر در دسترس بودن برنامه درسی این دانشگاه باعث شد تا در لیست بررسی قرار بگیرد.

۳-۳-۲ ساختار برنامه درسی

جدول ۳-۲- جدول دروس اصلی و اختیاری دانشگاه MIT

ردیف	دروس اصلی	دروس اختیاری
۱	روش‌های عددی در مهندسی شیمی	مدل‌سازی و شبیه‌سازی
۲	ترمودینامیک مهندسی شیمی	شیمی صنعتی
۳	پدیده‌های انتقال	انرژی‌های پایدار
۴	مهندسی راکتورهای شیمیایی	اصول مربوط به تبدیلات انرژی پیشرفته
۵	–	مهندسی بیوشیمی
۶	–	نانو فناوری مهندسی
۷	–	سینتیک واکنش‌های شیمیایی
۸	–	دینامیک و کنترل فرایند
۹	–	یکپارچه‌سازی مهندسی شیمی
۱۰	–	مدیریت مهندسی
۱۱	–	تکنولوژی، حقوق و محیط کار

جدول ۳-۳ – سرفصل دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه MIT

ردیف	نام درس	سرفصل	نوع درس
۱	روش‌های عددی در مهندسی شیمی	• روش‌های عددی مرتبط با انتقال جرم و حرارت و مکانیک سیالات، مهندسی واکنش‌های شیمیایی و شبیه‌سازی مولکولی • حل معادلات خطی و غیرخطی به روش عددی • حل معادلات دیفرانسیلی ODE و PDE • روش‌های عددی شبیه‌سازی مولکولی (دینامیکی و بهینه‌سازی ساختارها و هندسه) • ارائه مثال‌های مرتبط با مهندسی شیمی (آشنایی با برنامه‌نویسی برای این درس ضروری است)	اصلی
۲	ترمودینامیک مهندسی شیمی	• ترمودینامیک مخلوط‌ها، سیستم‌های بیولوژیکی و یا شیمیایی چند فازی • کاربرد قوانین اول و دوم و سوم ترمودینامیک برای سیستم‌های باز و بسته • خواص مخلوط‌ها شامل تعادلات واکنش‌های شیمیایی، تعادلات فازی و خواص محلول‌های غیر ایده ال • سیکل‌های توان، سردسازها و سیستم‌های جداسازی	اصلی
۳	پدیده‌های انتقال	• اصول انتقال جرم و حرارت • شرایط پایا و نا پایا • نفوذ • انتقال حرارت تشعشعی • انتقال جرم و حرارت در جریان‌های آرام و توربولنت • حل مسائل مرتبط با جرم و حرارت	اصلی
۴	مهندسی راکتورهای شیمیایی	• کاربرد اصول اولیه سرعت واکنش‌ها، استوکیومتری و تعادلات در آنالیز سیستم‌های واکنشی • استخراج معادلات سرعت از مکانیسم واکنش‌ها و تعادل با فرض شرایط پایا • سینتیک رشد سلول‌ها/ مواد شیمیایی در راکتورهای آمیخته، پلاگ و ... • طراحی راکتورهای شیمیایی و بیوشیمیایی بر اساس موازنه جرم و انرژی، اصول انتقال جرم و انرژی و سینتیک واکنش‌های شیمیایی • انتقال جرم و انرژی در داخل راکتورها شامل مباحث نفوذ در ذرات کاتالیست‌ها، سلول‌ها و یا آنزیم‌ها	اصلی
۵	مدل‌سازی و شبیه‌سازی	• اصول اولیه مدل‌سازی و شبیه‌سازی کامپیوتری فرایندها • استفاده از تکنیک‌ها و شبیه‌سازها برای شبیه‌سازی، آنالیز داده‌ها • روش‌های کوانتومی، اتمی، مزوسکوپیک و پیوسته برای مطالعه مسائل کاربردی و اصولی • مثال‌هایی از ساختارهای پیچیده و مشاهدات تجربی	اختیاری

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۶	شیمی صنعتی	• آنالیزهای مربوط به شیمی فرایندها از طریق بررسی مسیر انجام واکنش‌ها (واکنش‌های رادیکالی، یونی و..) با استفاده از کاتالیست‌ها و کمپلکس‌های فلزی • مکانیسم واکنش‌های شیمیایی، سینتیک و تعادلات برای تشکیل چندین محصول • انتخاب پذیری واکنش‌ها • سیستم‌های برگشت جریان محصول و انواع جداسازی‌ها • ارائه مثال‌های صنعتی	اختیاری
۷	انرژی‌های پایدار	• بررسی سیستم‌های انرژی کنونی و انرژی‌های آینده • بررسی منابع انرژی، استخراج انرژی و تبدیل انرژی با تأکید بر نیازهای انرژی قرن ۲۱ • بررسی انواع تکنولوژی‌های مربوط با انرژی‌های مشتق شده از انواع سوخت‌ها (نفت، گاز)، انرژی‌های هسته‌ای، انرژی‌های تجدید پذیر (انرژی خورشیدی، زیست‌توده، باد، آب و ژئوترمال) • ذخیره‌سازی، انتقال و مصرف انرژی • بررسی مباحث مرتبط با حوزه‌های مهندسی، اقتصادی و اجتماعی انرژی	اختیاری
۸	اصول مربوط به تبدیلات انرژی پیشرفته	• اصول ترمودینامیکی، شیمی و انتقال مرتبط با سیستم‌های انرژی • آنالیز تبدیل انرژی • آنالیز ذخیره‌سازی انرژی در شرایط دمایی، مکانیکی، شیمیایی و الکتروشیمیایی جهت استفاده در سیستم‌های حمل‌ونقل • بررسی راندمان، کارایی و تأثیرات زیست‌محیطی انرژی‌ها • کاربرد انواع سوخت‌ها، هیدروژن، باتری‌ها، پیل سوختی، احتراق، کاتالیست‌ها، سیکل‌های هیبریدی توان-انرژی، منابع انرژی‌های تجدید پذیر و انرژی‌های هسته‌ای • جداسازی CO_2 و ذخیره‌سازی آن • انرژی‌های بیولوژیکی	اختیاری
۹	مهندسی بیوشیمی	• ارتباط مهندسی شیمی، بیوشیمی و میکروبیولوژی • اصول ریاضی حاکم بر سیستم‌های میکروبی • سینتیک رشد، مرگ و متابولیسم • انتقال جرم و افزایش مقیاس در سیستم‌های تخمیری • تکنولوژی آنزیم‌ها	اختیاری
۱۰	نانو فناوری مهندسی	• مروری بر اصول جرم، انرژی و انتقال الکترون در مواد با ساختار نانو به گونه ای‌که قوانین مکانیک کلاسیک برای آن‌ها صادق نیست. • بررسی کاربردهای خاص مرتبط با چالش‌های مهندسی امروزه در حوزه‌های مربوط به انرژی، بیولوژیکی، داروسازی، الکترونیک و طراحی مواد.	اختیاری

۱۱	سینتیک واکنش‌های	• سینتیک واکنش‌های شیمیایی از دیدگاه تئوری و تجربی شامل تئوری‌های انتقال، پراکندگی پرتوهای مولکولی، مکانیک آماری و کوانتومی تعیین ثابت سرعت واکنش‌ها • مدل‌سازی واکنش مخلوط‌ها • بررسی واکنش‌های فاز گاز، مایع و بر روی سطوح	اختیاری
۱۲	دینامیک و کنترل فرایند	• مقدمه‌ای بر فرایندهای دینامیکی • آشنایی با امور مربوط با مهندسی کنترل فرایند • مدل‌سازی استاتیکی و دینامیکی فرایندها • استراتژی‌های کنترل • طراحی ساختارهای کنترلی پس‌خور، پیش‌خور و ... • کاربرد در تجهیزات فرایندی	اختیاری
۱۳	یکپارچه‌سازی مهندسی شیمی	• معرفی و حل مسائل مربوط به مهندسی شیمی ازنظر صنعتی • تأکید بر یکپارچه‌سازی اصول اصلی حاکم در طراحی فرایندها • تأکید بر مسائل موجود در طراحی پایه، آنالیز اقتصادی و طراحی فرایند • یکپارچه‌سازی اصول حاکم از طریق تخمین خواص، کنترل فرایند، توسعه محصول و شبیه‌سازی کامپیوتری • رعایت مسائل زیست‌محیطی و ایمنی به هنگام یکپارچه‌سازی فرایندها	اختیاری
۱۴	مدیریت مهندسی	• آشنایی با مدیریت مهندسی • اصول تجارت • مدیریت نوآوری‌ها و اکتشافات • مثال‌های کاربردی • توسعه مهارت دانشجویان و یادگیری ابزارهای مدیریتی	اختیاری
۱۵	تکنولوژی، حقوق و محیط کار	• ارائه راهکار برای ارتباط بین تکنولوژی و مشکلات موجود • کاربرد دانش حقوقی در محیط کاری • ایمنی و سلامت • کنترل مواد سمی • سلامت عمومی	اختیاری

- **نکات قابل‌تأمل در سرفصل دروس دانشگاه MIT**

✓ هسته دروس اصلی این دانشگاه در چهار درس روش‌های عددی در مهندسی شیمی، ترمودینامیک، پدیده‌های انتقال و مهندسی راکتورهای شیمیایی خلاصه شده است.

✓ اصول مربوط به طراحی سیستم‌های بیولوژیکی مانند سینتیک رشد سلول‌ها، انتقال جرم و انرژی در سلول‌ها و آنزیم‌ها در سرفصل درس راکتورهای شیمیایی لحاظ شده است.

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

- ✓ اصول مربوط به محاسبات کوانتومی، اتمی و مولکولی در درس مدل‌سازی و شبیه‌سازی قرار دارد.
- ✓ اصول مربوط به مکانیک کوانتومی و آماری در تعیین ثابت سرعت واکنش‌ها در درس اختیاری سینتیک واکنش‌های شیمیایی گنجانده شده است.
- ✓ درس اختیاری مدیریت مهندسی جزء دروس اختیاری پیشنهاد شده است.

۳-۴- دانشگاه فنی مونیخ(Technische Universitat)

۳-۴-۱- معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن

دانشگاه فنی مونیخ (Technische Universitat) یکی از برجسته‌ترین مؤسسات فناوری در سراسر آلمان و دانشگاهی تحقیقاتی در شهر مونیخ است که توانسته در رده پنجم رتبه‌بندی QS قرار بگیرد. دانشگاه فنی مونیخ با دو دانشگاه MIT و مؤسسه فناوری جورجیا همکاری دارد. در این دانشگاه در مقطع ارشد رشته مهندسی شیمی و فرایند ارائه می‌شود. با توجه به نزدیکی گرایش طراحی فرایند به این عنوان، در اینجا به بررسی سرفصل این دانشگاه پرداخته شده است.

از سوی دیگر در دسترس بودن سیلابس درسی این دانشگاه نیز دلیل دیگری بر انتخاب آن می‌باشد.

۳-۴-۲- ساختار برنامه درسی

جدول ۳-۴- جدول دروس دانشگاه فنی مونیخ

ردیف	نام درس
۱	طراحی تجهیزات فرایندی
۲	علم مواد (مواد غیرفلزی)
۳	آمار و احتمال
۴	کنترل فرایند
۵	انتقال جرم و حرارت
۶	مهندسی ایمنی در مهندسی شیمی
۷	اصول شبیه‌سازی فرایند
۸	دینامیک سیالات محاسباتی

جدول ۳-۵- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه فنی مونیخ

نام درس	جزئیات سرفصل درس
طراحی تجهیزات فرایندی	• **طراحی ظروف تحت‌فشار:**

	هدف این درس انجام محاسبات مربوط به طراحی ظروف تحت‌فشار می‌باشد. اصول مربوط به انتخاب هندسه طراحی، پارامترهای مربوط به انتخاب مواد، ایمنی تجهیز، طراحی پوسته تجهیز، نازل‌ها، فلج‌ها، طراحی مبدل حرارتی و تحلیل آنالیزهای تنش • **طراحی تجهیزات حرارتی** طراحی مبدل‌های حرارتی طراحی کوره‌ها
علم مواد (مواد غیرفلزی)	• پلیمرها، ساختار آن‌ها، حالت مذاب و جامد، بررسی الاستیسیته • سرامیک‌ها و مواد شیشه‌ای، سرامیک‌های سیلیکاتی، بررسی خواص
آمار و احتمال	• اصول احتمال • تخمین پارامترها و حد اطمینان و آزمون فرضیه • آنالیز واریانس (ANOVA) • آنالیز رگرسیون
کنترل فرایند	• کنترل پیش‌خور، cascade control و • The root locus method, feedforward control, cascade control, inferential control, Smith-predictor-control analysis and design of chemical engineering single-input/single-output systems in state space, experimental modeling of chemical engineering processes (identification).
انتقال جرم و حرارت	• معادلات پایه‌ای مومنتوم • موازنه جرم و انرژی و آنتروپی • انتقال فاز • لایه‌های مرزی • جابه‌جایی آزاد
مهندسی ایمنی در مهندسی شیمی	• اصول مربوط به ایمنی فرایند • آنالیز ریسک • کنترل خطرات اصلی • محافظت در برابر انفجار • محافظت در برابر آتش • ایمنی تجهیزات دوار • مواد خطرناک در محیط کار
اصول شبیه‌سازی فرایند	• دانش مربوط به شبیه‌سازی فرایند • انواع پکیج‌های مناسب برای شبیه‌سازی
دینامیک سیالات محاسباتی	• دینامیک سیالات محاسباتی برای انواع فرایندهای مهندسی شیمی شامل: • اختلاط • توزیع گاز و مایع

	• جریان سیال در جداکننده‌ها • افت فشار • انتقال جرم بین فازها • جریان‌های چند فازی

- **نکات قابل‌تأمل در سرفصل دروس دانشگاه فنی مونیخ**

✓ در این دانشگاه کلیه دروس مرتبط با طراحی پایه واحدهای پتروشیمیایی تدریس می‌شود.

✓ تمرکز اصلی دروس بر نحوه طراحی انواع دستگاه‌های انتقال جرم، حرارت و سیالات با تکیه‌بر کاربرد نرم‌افزارهای مختلف می‌باشد.

۳-۵- دانشگاه Kyoto ژاپن

۳-۵-۱- معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن

دانشگاه کیوتو یکی از برترین دانشگاه‌های ژاپن و قاره آسیا است که ده‌ها هزار دانشجو و محقق از سراسر جهان در آن مشغول به فعالیت هستند. بخشی از موفقیت‌های علمی و اثربخشی شرکت‌های دانش‌بنیان ژاپنی را باید مدیون فعالیت‌های علمی و تحقیقاتی دانشگاه کیوتو دانست. دانشگاه کیوتو در سال ۱۸۹۷ میلادی تأسیس شد و یکی از قدیمی‌ترین دانشگاه‌های ژاپن محسوب می‌شود. در این دانشگاه تمامی سطوح تحصیلی اعم از لیسانس، فوق‌لیسانس و دکتری ارائه می‌شود. در این دانشگاه در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، گرایش وجود نداشته و فقط یک عنوان به نام "مهندسی شیمی" در مقطع کارشناسی ارشد تعریف شده است. لذا برخی از دروس آن با دروس گرایش طراحی فرایند مهندسی شیمی مشترک هستند که به بررسی سرفصل این دروس پرداخته شده است.

از سوی دیگر در دسترس بودن سیلابس درسی این دانشگاه نیز دلیل دیگری بر انتخاب آن می‌باشد.

۳-۵-۲- ساختار برنامه درسی

جدول ۳-۶- جدول دروس دانشگاه kyoto

ردیف	نام درس
۱	مباحث ویژه در پدیده‌های انتقال
۲	مهندسی فرایندهای جداسازی
۳	مهندسی واکنش‌های شیمیایی پیشرفته
۴	مهندسی فرایند

۵	مهندسی فرایند پیشرفته
۶	آنالیز داده‌های فرایندی
۷	تکنولوژی ذرات ریز
۸	مهندسی فرایندهای محیط‌زیست

جدول ۷-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه Kyoto

نام درس	جزئیات سرفصل درس
مباحث ویژه در پدیده‌های انتقال	پس از آشنایی اولیه با چگونگی حرکت سیالات پلیمری به‌عنوان نمونه مناسبی از سیالات غیر نیوتنی، ارتباط بین strain و stress توضیح داده می‌شود و علاوه بر بررسی رفتار کلاسیکی سیالات، دیدگاه مولکولی نیز بر پایه مکانیک آماری بررسی می‌شود.
مهندسی فرایندهای جداسازی	• جداسازی مرتبط با پدیده‌های انتقال جرم، حرارت و ذرات • جذب سطحی، خشک‌کردن، تقطیر و استخراج • روش‌های نوین جداسازی
مهندسی واکنش‌های شیمیایی پیشرفته	• سینتیک واکنش‌های کاتالیستی جامد-گاز • واکنش‌های CVD • واکنش‌های آنزیمی • طراحی راکتورهای گاز-جامد و راکتورهای کاتالیستی گاز-جامد • راکتورهای صنعتی شامل راکتورهای بستر ثابت، بستر متحرک و راکتورهای CSTR
مهندسی فرایند	• اصول مربوط به طراحی فرایندهای شیمیایی شامل عملیات واحد • طراحی پایه فرایندهای شیمیایی • طراحی فرایند به کمک کامپیوتر • چگونه از شبیه‌سازهای فرایندی استفاده کنیم؟ • طراحی فرایند واقعی
مهندسی فرایند پیشرفته	• طراحی و بهینه‌سازی فرایندهای شیمیایی • بهینه‌سازی غیر مقید • برنامه‌نویسی خطی • برنامه‌نویسی غیرخطی • برنامه‌نویسی دینامیکی
آنالیز داده‌های فرایندی	• آنالیز داده‌های فرایندی برای تخمین کیفیت محصول • تعیین خطاها • توسعه بازدهی محصول • موارد فوق بر پایه مبانی آمار و احتمال، آنالیز رگرسیون و ... پایه‌گذاری شده‌اند.

تکنولوژی ذرات ریز	• آنالیز رفتار ذرات در گازها • فرایندهای انتقال ذرات • بررسی تأثیر شارژ ذرات روی رفتار حرکتی ذرات در محیط‌های گاز • کنترل شارژ ذرات و کاربرد آن
مهندسی فرایندهای محیط‌زیست	• ارتباط بین انرژی و محیط‌زیست • بررسی تکنولوژی‌های جدید برای تولید انرژی • بررسی فرایندهای آلوده‌کننده محیط‌زیست از دیدگاه مهندسی شیمی

- **نکات قابل‌تأمل در سرفصل دروس دانشگاه Kyoto**
- توجه ویژه این دانشگاه به توسعه علم مواد در حوزه مهندسی شیمی است تا صنایع نفت، گاز و پتروشیمی. دروس پیشنهادی و سیلابس دروس نیز کاملاً منطبق با این هدف پایه‌گذاری شده‌اند.

✓ در این دانشگاه به استفاده از روش‌های نوین شبیه‌سازی در توسعه مفاهیم جدید توجه ویژه‌ای شده است.

۳-۶- دانشگاه Manchester

۳-۶-۱ - معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن

دانشگاه منچستر در قلب شهر منچستر در شمال انگلستان واقع شده است. این دانشگاه بر اساس رده‌بندی QS در رتبه ۲۶ برترین دانشگاه‌های مهندسی شیمی جهان و در زمره برترین دانشگاه‌های سرتاسر بریتانیا قرار دارد. این دانشگاه قدیمی در سال ۱۸۸۷ بناشده و دارای دانشکده‌ای به نام دانشکده مهندسی شیمی و علوم است. در این دانشگاه در مقطع تحصیلات تکمیلی گرایش طراحی فرآیند به‌صورت یک دانشکده جداگانه و با عنوان "طراحی و یکپارچه‌سازی پیشرفته فرایندها" تدریس می‌شود. از مزیت‌های اصلی این گرایش در این دانشگاه ارائه دروس خاص و تخصصی گرایش طراحی فرآیند و حضور اساتید برجسته این حوزه از مهندسی شیمی می‌باشد. دانشگاه منچستر ارتباط بسیار قوی با صنایع موجود در تمام بریتانیا دارد به صورتی که در سال‌های اخیر بالغبر چندین پروژه صنعتی به ارزش ۳۰ میلیون یورو در این دانشگاه زیر نظر اساتید و دانشجویان انجام شده است. این نزدیکی با صنعت در این دانشگاه به حدی است که دانشجویان ارشد یک واحد درسی جداگانه در یکی از صنایع شیمیایی ازجمله صنایع نفت، گاز پتروشیمی و .... تحت عنوان درس " طراحی پروژه " می‌گذرانند که سبب آشنایی کامل دانشگاه و صنعت به‌صورت متقابل می‌شود.

از سوی دیگر در دسترس بودن سیلابس درسی این دانشگاه باعث شد که در لیست موردبررسی قرار بگیرد.

۳-۶-۲- ساختار برنامه درسی

جدول ۸-۳- جدول دروس دانشگاه منچستر

ردیف	نام درس

۱	طراحی پروژه در مهندسی شیمی
۲	ایمنی در فرآیندها
۳	سیستم‌های جامد – سیال
۴	انتگراسیون حرارتی و انتقال حرارت
۵	تجزیه‌وتحلیل فرآیندها
۶	مهندسی واکنش‌های کاتالیستی
۷	دینامیک سیالات محاسباتی
۸	طراحی فرآیند با کمک کامپیوتر

جدول ۹-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه Manchester

نام درس	جزئیات سرفصل درس
طراحی پروژه در مهندسی شیمی	• موازنه جرم و انرژی در فرآیند و ایجاد فلوشیت • طراحی راکتور • سایزینگ برج‌های تقطیر • جزئیات طراحی مبدل‌های حرارتی • سایزینگ پمپ‌ها و کمپرسورهای حرارتی منابع پیشنهادی: Felder, RM and Rousseau, RW, Elementary Principles of Chemical Processes, 3rd Edition, Wiley, ISBN: 0471534781, Joule Library 660/FEL Himmelblau DM, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th Edition, Prentice-Hall, 1996. ISBN: 0133057984, Joule Library 660/HIM
ایمنی در فرآیندها	• حیطه مدیریتی: COSHH و مدیریت ریسک، • اجازه کار • فاکتورهای انسانی • COSHH, REACH COMAH • حیطه خطرات: آتش، آلودگی، سموم • روش‌ها: HAZAN HZOP,

سیستم‌های جامد – سیال	• مشخصه یابی ذرات جامد • حرکت ذرات در سیال • جریان سیال از میان بستر • فیلتراسیون • سیالیته شدن منابع پیشنهادی: Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, Seventh Edition, McGraw-Hill, 2005. Holdich R., Fundamentals of Particle Technology, Midland Information Technology and Publishing, 2002, ISBN: 0954388100, Joule Library 660.0049/HOL. Coulson J.M. & Richardson J.F., Chemical Engineering Volume 2, 5 Edition, Butterworth-Heinmann, 2002, ISBN:075064451, Joule library 660/COU. Rushton, A., Solid-liquid Filtration and Separation Technology, John Wiley and Sons Ltd Wiley-VCH, 2000, ISBN: 3527296042. Svarovsky L., Solid-Liquid Separation, 4 Edition, Butterworth and Heinemann, 2000, ISBN: 0750645687, Joule Library 660.022/SVA.
انتگراسیون حرارتی و انتقال حرارت	• تاریخچه آنالیز پینچ، درجه‌بندی طراحی فرآیند، سرمایه‌گذاری در شبکه مبدل‌های حرارتی و تأسیسات جانبی • اهداف انرژی • اصول بازیافت حرارتی، بازیافت حرارتی در فرآیندهای چند جریانه، منحنی‌های ترکیبی و پینچ • روش‌های طراحی شبکه مبدل حرارتی جهت دستیابی به اهداف انرژی • منحنی‌های ترکیبی گرند (Grand Composite)، انتخاب سامانه‌های پشتیبانی، انتگراسیون حرارتی موتورها و پمپ‌های گرمایی، پینچ بازیافت انرژی، الگوریتم محاسباتی برای یافتن اهداف انرژی • هدف‌گیری‌های اقتصادی طراحی شبکه مبدل حرارتی فرآیند • حداقل‌سازی تعداد مبدل‌های حرارتی، حداقل‌سازی سطح و تعداد پوسته در مبدل حرارتی، بهینه‌سازی شبکه مبدل، طراحی شبکه یا معیارهای هزینه‌ای متفاوت. • مسائل رتروفیت، مشخصات داده‌ای فرآیند، محرک‌ها و اهداف رتروفیت، آنالیز اقتصادی و روش طراحی، استفاده بازیافت مبدل حرارتی در رتروفیت • ملاحظات افت فشار • راکتورها، برج‌های تقطیر، تبخیرکننده‌ها، خشک‌کن‌ها، پمپ‌های حرارتی و یخچال‌ها منابع پیشنهادی: •Chemical and Process Integration’’, Butterworth-Heinemann Press, 2nd Edition, 2007. •W. O. Sieder, S. D. Scade and D. R. Lewin, ‘‘Process Design Principles’’, John Wiley. 2004. •R. Smith, ‘‘Chemical Process Design’’, McGraw Hill, 1nd Ed., 1995.

تجزیه‌وتحلیل فرآیندها	• مقدمه‌ای بر طراحی فرآیند و تولید و در نظر گرفتن مباحث ایمنی و اقتصادی • مبانی بهینه‌سازی و کاربرد آن در مهندسی شیمی • طراحی و برنامه‌ریزی فرآیندهای ناپیوسته • مدل‌سازی و شبیه‌سازی فلوشیت‌های فرآیندی، جریان‌های بازگشتی، سایزینگ تجهیزات، محاسبات اقتصادی، بهینه کردن یک واحد فرآیندی منابع پیشنهادی: Smith, R., Chemical Process Design and Integration, 2 edition, 2016, Wiley,. Towler, G.P. and Sinnott, R.K., Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design, 5 edition, Butterworth-Heinemann, 2012,. Seider, W.D.; Seader, J.D.; Lewin, D.R. and Widagdo, S.. Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Design, 3 rd edition, Wiley, 2010,. Biegler, L.T., and Grossmann, I. E., and Westerberg, A. W., Systematic Methods of Chemical Process Design, Prentice Hall, 1997.
مهندسی واکنش‌های کاتالیستی	• مقدمه‌ای بر مراحل واکنش‌های کاتالستی • نوع کاتالیست طراحی و تست کاتالیست‌ها • روش تحلیلی کاهش تخریب کاتالیست‌ها • به دست آوردن یک معادله سرعت برای جذب تعادلی و واکنش‌های روی سطح – انتقال جرم نفوذ و واکنش در دانه کاتالیست • طراحی ساده یک راکتور لوله‌ای منابع پیشنهادی: Bartholomew CH and Farrauto RJ, Fundamentals of Industrial Catalytic Processes, (2006). Fogler HS, Elements of Chemical Reaction Engineering, 3rd (4th) Edition, Prentice Hall 1998 (2005), ISBN 0135317088 Joule Library 660-02 FOG Additional reading material in Journal papers/book chapters in handbook is provided.
دینامیک سیالات محاسباتی	• جریان تراکم پذیر: معادله انرژی و جریان در نازل‌ها • جریان‌های غیر نیوتنی: رفتار سیالات غیر نیوتنی • میزان تنش در کنار لوله و افت فشار در لوله و منحنی مشخصه جریان • جریان‌های دوفازی: معادلات مومنتوم و اصطکاک و تعیین رژیم جریان این نوع جریان‌ها منابع پیشنهادی: Fox, McDonald, Pritchard, Fluid Mechanics 8th edition (SI version), Wiley 2012,. Holland FA & Bragg R, Fluid Flow for Chemical Engineers, 2nd Edition, Arnold, 1995 Joule Library 532 HOL, Electronic version available (Knovel). Shapiro AH, The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, Volume 1, Ronald Press Company, New York

طراحی فرآیند با کمک کامپیوتر	• مدل‌سازی فرآیند • مدل جبری خطی • مدل جبری غیرخطی • مباحث پیشرفته در حل سیستم‌های غیرخطی • طراحی آزمایش و تخمین پارامترها • سیستم‌های دینامیک • بهینه‌سازی (MIP-NLP) منابع پیشنهادی: Learning MATLAB, T.A. Driscoll (e-book) MATLAB programming for engineers, S.J. Chapman Introduction to Engineering Programming: C, MATLAB, Java, M. Austin and D. Chancogne Introduction to Applied Mathematics, G. Strang Linear Algebra with applications, S.J. Leon Matrix computations, G.H. Golub, C.F. VanLoan Edgar,T.F. and Himmelblau,D.M., Optimization of Chemical Processes, McGraw-Hill, 1988 Williams, H.P., Model Building in Mathematical Programming, J.Wiley, 1993 Reklaitis,G.V., Ravindrau,A. and Ragsdell,K., Engineering Optimization, Wiley, 1

- **نکات قابل‌تأمل در سرفصل دروس دانشگاه منچستر**

✓ در این دانشگاه توجه ویژه‌ای به محاسبات مربوط به طراحی دستگاه‌های انتقال جرم، حرارت و سیالات شده است.

✓ محاسبات اقتصادی و بهینه‌سازی فرایندی نیز در سرفصل اکثر دروس پیشنهادی این دانشگاه وجود دارد.

۷-۳- دانشگاه MC Gill کانادا

۱-۷-۳-معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن

دانشگاه McGill در شهر مونترال کانادا احداث شده است. این دانشگاه مجموعه‌ای از دانشکده‌های گوناگون را داراست که دانشکده مهندسی آن سابقه‌ای در حدود ۱۰۰ سال را دارا می‌باشد. دانشکده مهندسی شیمی این دانشگاه همواره در رتبه‌بندی QS در زمره ۲۰ دانشگاه برتر دنیا قرار دارد که در سال ۱۹۰۸ پایه‌گذاری شده است. روند تحصیلات تکمیلی این دانشگاه در گروه مهندسی شیمی در سال ۲۰۰۴ موردبازنگری قرار گرفته است. از نقاط قوت این دانشگاه می‌توان به این موضوع اشاره کرد که اساتید این دانشگاه عموماً دارای تجربیات عالی صنعتی و عینی در شرکت‌های بزرگ مهندسی دنیا بوده‌اند که ماحصل آن تربیت مهندسانی با تجربه و با دانش است که در شرکت‌های بزرگ مهندسی دنیا مشغول فعالیت هستند.

از سوی دیگر در دسترس بودن سیلابس درسی این دانشگاه باعث شد تا در لیست بررسی قرار بگیرد.

۲-۷-۳-ساختار برنامه درسی

جدول ۱۰-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه Manchester

ردیف	دروس اصلی	دروس اختیاری
۱	انتقال جرم و حرارت	فرایندهای جداسازی پیشرفته
۲	اصول مکانیک سیالات	مهندسی الکتروشیمی
۳	روش‌های محاسباتی	مهندسی پلاسما
۴	دینامیک فرایندها و کنترل	کنترل آلودگی هوا
۵	مهارت‌های پژوهشی و اخلاق حرفه‌ای	کنترل آلودگی آب‌های صنعتی
۶	ترمودینامیک	–
۷	مهندسی واکنش‌های شیمیایی	–
۸	مهندسی بیوشیمی پیشرفته	–
۹	آزمایشگاه ایمنی	–

جدول ۱۱-۳- دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه Mc-Gill

ردیف	نام درس	جزئیات سرفصل درس	نوع درس
۱	انتقال جرم و حرارت	• معادلات پیوستگی برای سطح و حجم کنترل • روش‌های حل تقریبی مسائل نفوذ • فرایندهای نفوذ همراه با واکنش، تغییر فاز • انتقال جرم و حرارت جابجایی • مثال‌هایی از مسائل پیشرفته به‌صورت انتخابی	اصلی
۲	مکانیک سیالات	• معادلات حرکت • تئوری لایه‌های مرزی • پایداری هیدرودینامیکی • جریان آشفته • بررسی نیروهای دراگ	اصلی

۳	روش‌های محاسباتی	• معادلات جبری غیرخطی • پایستگی معادلات غیرخطی • استراتژی‌های تولید مش • انتقال جابجایی • معادلات هایپربولیک • روش‌های شبیه‌سازی ذرات	اصلی
۴	کنترل فرایند	• شبیه‌سازی فرایندها • سیستم‌های کنترل پس‌خور • کنترل پیش‌خور • controller tuning; adaptive control	اصلی
۵	روش‌های پژوهشی	• این درس در سه حوزه طبقه‌بندی شده است: ۱. اخلاق حرفه‌ای ۲. انتشار و ترجمه دانش ۳. مدیریت دانش	اصلی
۶	ترمودینامیک	• تئوری و کاربرد تعادلات شیمیایی و فازی در سیستم‌های چند جزئی	اصلی
۷	مهندسی واکنش‌های شیمیایی	• تفسیر داده‌های واکنش شیمیایی خصوصاً برای سیستم‌های هتروژن • زمان اقامت • جدایی کامل • طراحی راکتور	اصلی
۸	مهندسی بیوشیمی پیشرفته	• استفاده از مهندسی شیمی و اصول بیولوژیکی در مطالعات • استفاده و تولید فرایندها و محصولات بر پایه بیولوژیک (عناوین: ترمودینامیک بیوشیمی، مهندسی پروتئین‌ها، دست‌کاری در بیان ژن، پدیده‌های انتقال و طراحی بیوراکتورها)	اصلی
۹	آزمای شگاه ایمنی	• آموزش اصول اولیه ایمنی در آزمایشگاه‌های مهندسی شیمی مانند اصول ایمنی مربوط به آتش، ضایعات آبی، اصول اورژانس	اصلی
۱۰	فرایندهای جداسازی پیشرفته	• مقدمه‌ای بر ترمودینامیک سیستم‌های چند جزئی همراه با تعادلات مایع-گاز • تقطیر مخلوط‌های چند جزئی • حل عددی معادلات مش (موازنه جرم، معادلات تعادلی، جمع و موازنه آنتالپی) برای ستون‌های تقطیر • مقدمه‌ای بر ترمودینامیک سیستم‌های غیر ایده ال • جذب گاز • شبیه‌سازی سیستم‌ها با کمک نرم‌افزارهای شبیه‌ساز	اختیاری

۱۱	مهندسی الکتروشیمی	• سیستم‌های الکتروشیمی، الکترودها، راکتورها، • استوکیومتری الکتروشیمی • ترمودینامیک و سینتیک • انتقال شارژ و جرم • تکنولوژی پیل‌های سوختی • سنسورهای الکتروشیمی • خوردگی	اختیاری
۱۲	تکنولوژی پلاسما	• توصیف حالت پلاسما و پارامترهای مؤثر • روش‌های تولید پلاسما • تجهیزات و کنترل فرایندهای مرتبط • کاربرد پلاسما مانند PVD و PECVD • سنتز نانو ذرات	اختیاری
۱۳	کنترل آلودگی هوا	• اثرات آلودگی هوا • قوانین کنترل آلودگی • اندازه‌گیری آلودگی • تخمین نشر • هواشناسی برای مهندسان کنترل آلودگی هوا • مدل‌های توزیع آلودگی • کنترل ترکیبات فرار آلاینده • اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن	اختیاری
۱۴	کنترل آلودگی آب‌ها	• روش‌های نمونه‌برداری و آنالیز از آب‌های صنعتی آلوده • فرایندهای بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی • روش‌های پیشرفته تصفیه پساب‌ها • یکپارچه‌سازی اصول مهندسی و علوم برای طراحی روش‌های جدید تصفیه پساب	اختیاری

- **نکات قابل‌تأمل در سرفصل دروس دانشگاه Mc Gill**

✓ تعداد واحدهای اصلی ارائه‌شده در این دانشگاه زیاد است که بایستی دانشجو از بین آن‌ها انتخاب نماید.

✓ دروسی همچون طراحی بیوراکتورها و مهندسی بیوشیمی پیشرفته در چارت گرایش طراحی فرایند در این دانشگاه قرار گرفته است که نشان‌دهنده توجه ویژه این دانشگاه به طراحی تجهیزات بیولوژیکی است.

✓ درس عملی آزمایشگاه ایمنی هم جزء دروس اصلی این دانشگاه ارائه شده است.

✓ دروسی همچون کنترل آلودگی هوا و آب توجه ویژه این دانشگاه را به مسائل محیط‌زیست روشن می‌سازد.

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۳-۸- دانشگاه British Colombia

۳-۸-۱- معرفی دانشگاه و دلایل انتخاب آن

به‌طورکلی کشور کانادا با توجه به حضور منابع عظیم نفت و گاز نگاه ویژه‌ای به مهندسی شیمی و گرایش طراحی فرآیند به‌عنوان گرایش کاربردی این حوزه در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی داشته است. این کشور دانشگاه‌های مطرحی در دنیا در زمینه‌های فنی و مهندسی و به‌خصوص مهندسی شیمی دارا می‌باشد. یکی از این دانشگاه‌های مطرح دانشگاه British Colombia در شهر ونکوور کانادا است که بر اساس رتبه‌بندی QS دارای رتبه ۴۳ دنیا می‌باشد. این دانشگاه در سال ۱۹۱۵ تأسیس شده و دپارتمان مهندسی شیمی آن در سال ۱۹۵۴ پایه‌گذاری شده است. این دانشگاه دارای دانشکده "مهندسی طراحی فرایندها" است. لذا ازنظر مقایسه چارت درسی، نمونه بسیار مناسبی به شمار می‌رود. این دانشگاه نیز ارتباط خوبی با صنعت داشته به‌طوری‌که بسیاری از فارغ‌التحصیلان آن عموم نیروهای زبده صنایع کانادا را تشکیل می‌دهند. در دسترس بودن سیلابس درسی این دانشگاه نیز دلیل دیگری برای انتخاب آن در لیست مقایسه دانشگاه‌های خارجی می‌باشد.

۳-۸-۲- ساختار برنامه درسی

جدول ۳-۱۲- جدول دروس دانشگاه British Colombia

ردیف	دروس اصلی و اختیاری*
۱	کاتالیست‌های همگن و طراحی راکتور
۲	تجزیه‌وتحلیل فرآیند
۳	مدل‌سازی و بهینه‌سازی در مهندسی شیمی
۴	طراحی راکتور پیشرفته
۵	روش‌های بهینه‌سازی
۶	دینامیک سیالات محاسباتی
۷	کنترل فرآیند پیشرفته
۸	ترمودینامیک پیشرفته
۹	انتقال جرم و حرارت و مکانیک سیالات
۱۰	مهندسی فرایندهای بیولوژیکی (کاربرد در محیط‌های هتروژن)
۱۱	کاتالیست‌های هتروژن
۱۲	کنترل آلودگی هوا و الکتروشیمی
۱۳	مهندسی انرژی

* نوع درس ازنظر اصلی و اختیاری در وب‌سایت این دانشگاه درج نشده بود.

جدول ۱۳-۳- سرفصل دروس مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه British Colombia

ردیف	نام درس	جزئیات سرفصل درس
۱	کاتالیست‌های همگن و طراحی راکتور	• تعریف کاتالیست‌های همگن • ویژگی‌های کاتالیست‌ها • سینتیک واکنش‌های کاتالیستی –طراحی راکتور کاتالیستی ایدئال و غیر هم‌دما • تأثیرات انتقال جرم و حرارت بر کاتالیست‌های همگن • مثال‌های راکتورهای صنعتی
۲	تجزیه‌وتحلیل فرآیند	• بررسی طراحی مفهومی فرآیند • قوانین سرانگشتی مهندسی شیمی • شبیه‌سازی در فرآیند • تجزیه‌وتحلیل شبکه‌های راکتورها و جداکننده‌ها
۳	مدل‌سازی و بهینه‌سازی در مهندسی شیمی	• مدل‌سازی فرآیندهای صنعتی شیمیایی • شبیه‌سازی ریاضی فرآیندها • مقدمه‌ای بر روش‌های عددی بهینه‌سازی
۴	طراحی راکتور پیشرفته	• طراحی راکتور بستر ثابت • راکتورهای بسترسیال و بستر متحرک • راکتورهای مناسب جهت واکنش‌های گاز – جامد و گاز – مایع • طراحی راکتورهای سه فازی جامد مایع گاز
۵	روش‌های بهینه‌سازی	• اصول اولیه بهینه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی ساختارها • روش‌های گرادیانت • روش گوس-نیوتن برای بهینه‌سازی پارامترها در مدل‌هایی با حاکمیت معادلات ODE و PDE • بهینه‌سازی مقید • بهینه‌سازی نامقید
۶	دینامیک سیالات محاسباتی	• بررسی معادلات حاکم بر سیالات غیر نیوتنی • حل معادلات ناویر استوکس • مدل‌سازی لایه‌مرزی سیالات تراکم ناپذیر • تحلیل پایداری و رژیم و مغشوش بودن جریان سیال • مدل‌سازی جریان‌های چند فازی با روش اویلر - لاگرانژ
۷	کنترل فرآیند پیشرفته	• مدل‌سازی سیستم‌ها در دامنه زمان • طراحی و مدل‌سازی کنترلرهای پیش‌بین (predictive) • چگونگی تعیین پارامترهای کنترلی • بررسی کارایی و مقاوم پذیری ((robustness کنترلرها
۸	ترمودینامیک پیشرفته	• ارتباط بین دما و فشار و حجم • تعادل فازی با روش گیبس • تعادل بخار-مایع

		• محاسبات ترمودینامیک با قانون سوم ترمودینامیک و نیز روش‌های آماری-کوانتومی • ترمودینامیک بازگشت‌ناپذیر
۹	انتقال جرم و حرارت و مکانیک سیالات	• تخمین پروفایل سرعت، دما و غلظت برای سیالات در حال حرکت • آنالوژی انتقال جرم، حرارت و سرعت • جریان توربولنت • لایه‌های مرزی
۱۰	مهندسی فرایندهای بیولوژیکی (کاربرد در محیط‌های هتروژن)	• مهندسی فرایندهای بیولوژیکی در حیطه‌های بیوتکنولوژی و دارویی • سینتیک آنزیم و سلول • محیط کشت سلول • توسعه فرایندها و بازیافت محصولات • طراحی بیوراکتورها
۱۱	کاتالیست‌های هتروژن	• تکنیک‌های مربوط به مشخصه یابی کاتالیست‌ها و خواص سطحی آن‌ها • روش‌های تجاری تهیه کاتالیست‌ها • شیمی واکنش‌های کاتالیستی و تأثیر خواص کاتالیست‌ها • مکانیسم و سینتیک مهندسی راکتور • کاربرد اکسیداسیون کاتالیستی، هیدروژناسیون، تشکیل و شکست پیوندهای کربن-کربن
۱۲	کنترل آلودگی هوا و الکتروشیمی	• مشخصه یابی انواع آلاینده‌های هوا • تأثیر آلاینده‌ها بر اتمسفر • نظارت مشکلات • تکنولوژی کنترل آلاینده‌های هوا
۱۳	مهندسی انرژی	• تأمین و کاربرد انواع منابع انرژی و سوخت‌های رایج و جایگزین • طراحی و راه‌اندازی واحدهای عملیاتی برای کاربرد سوخت‌های فسیلی، بیومس و سایر منابع انرژی • ملاحظات محیط زیستی ازنظر مصرف انرژی

- **نکات قابل‌تأمل در سرفصل دانشگاه British Colombia**

✓ در این دانشگاه توجه خاصی به دروس کاتالیست‌های همگن و طراحی راکتورها و کاتالیست شده است.

۹-۳- ترسیم ماتریس به‌منظور بررسی نقاط اشتراک و افتراق دانشگاه‌های مختلف

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

جدول ۱۴-۳- ماتریس نقاط اشتراک و افتراق دانشگاه‌ها

ردیف	نام درس	دانشگاه MIT	دانشگاه فنی مونیخ	دانشگاه Kyoto	دانشگاه British Colombia	دانشگاه منچستر	دانشگاه مک گیل
۱	محاسبات عددی پیشرفته	✓					✓
۲	سینتیک و طراحی راکتور پیشرفته	✓		✓	✓	✓	✓
۳	طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر		✓	✓		✓	
۴	طراحی تجهیزات فرآیندی		✓			✓	
۵	انتگراسیون فرآیند					✓	
۶	پدیده‌های انتقال	✓	✓	✓			✓
۷	بهینه‌سازی			✓	✓		
۸	مدل‌سازی و شبیه‌سازی	✓			✓		
۹	ترمودینامیک مهندسی شیمی	✓			✓		✓
۱۰	سینتیک واکنش‌های شیمیایی	✓			✓	✓	
۱۱	کنترل فرایند	✓	✓		✓		✓
۱۲	مهندسی انرژی	✓			✓		
۱۳	مهندسی فرایندهای محیط‌زیست			✓	✓		✓
۱۴	مهندسی بیوشیمی	✓					✓
۱۵	دینامیک سیالات محاسباتی		✓		✓	✓	
۱۶	ایمنی در فرآیندها		✓			✓	✓
۱۷	تجزیه‌وتحلیل فرآیندها	✓		✓	✓	✓	
۱۸	تکنولوژی، حقوق و محیط کار	✓					
۱۹	سیستم‌های جامد – سیال					✓	
۲۰	نانو فناوری مهندسی	✓	✓				
۲۱	آمار و احتمال		✓	✓			
۲۲	مدیریت مهندسی	✓					
۲۳	مهارت‌های پژوهشی و اخلاق حرفه‌ای						✓
۲۴	مهندسی الکتروشیمی				✓		✓
۲۵	فرایندهای جداسازی پیشرفته			✓			✓
۲۶	مهندسی پلاسما						✓
۲۷	تکنولوژی ذرات ریز			✓			

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۱۰-۳-همپوشانی سرفصل دروس مشترک فردوسی با دانشگاه‌های خارج

جدول ۱۵-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه MIT با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد (همپوشانی‌ها با خطوط مشخص شده است)

ردیف	نام درس	سرفصل دانشگاه MIT	سرفصل دانشگاه فردوسی مشهد
۱	پدیده‌های انتقال	• اصول انتقال جرم و حرارت • شرایط پایا و نا پایا • نفوذ • انتقال حرارت تشعشعی • انتقال جرم و حرارت در جریان‌های آرام و توربولنت • حل مسائل مرتبط با جرم و حرارت	مکانیک سیالات: • سیالات نیوتنی و غیر نیوتنی • استاتیک سیالات • جریان سیال و معادلات حرکت • سیالات تراکم‌ناپذیر • انتقال و اندازه‌گیری سیالات انتقال حرارت: • انتقال حرارت هدایتی • انتقال حرارت جابجایی • انتقال حرارت تابشی • انتقال حرارت همراه با تغییر فاز انتقال جرم: • کلیات فرآیندهای انتقال جرم • نفوذ مولکولی در سیالات • ضرایب انتقال جرم • انتقال جرم در فصل مشترک فازها
۲	مهندسی راکتورهای شیمیایی	• کاربرد اصول اولیه سرعت واکنش‌ها، استوکیومتری و تعادلات در آنالیز سیستم‌های واکنشی • استخراج معادلات سرعت از مکانیسم واکنش‌ها و تعادل با فرض شرایط پایا • سینتیک رشد سلول‌ها/ مواد شیمیایی در راکتورهای مخلوط، لوله‌ای و ... • طراحی راکتورهای شیمیایی و بیوشیمیایی بر اساس موازنه جرم و انرژی، اصول انتقال جرم و انرژی و سینتیک واکنش‌های شیمیایی • انتقال جرم و انرژی در داخل راکتورها شامل مباحث نفوذ در ذرات کاتالیس‌ها و سلول‌ها و یا آنزیم‌ها	• مروری بر سینتیک واکنش‌ها و طراحی راکتورهای تک فاز • اثرات دما و فشار در راکتورها: وابستگی سرعت واکنش به دما، درجه حرارت بهینه برای راکتورهای هم‌دما، اثرات فشار • مدل‌های توزیع زمان اقامت در راکتورها، راکتورهای ناکامل • راکتورهای ناپایدار: حالت گذر در راکتورهای مخلوط، راکتورهای لوله‌ای و غیره. • تئوری‌های انتقال جرم در سامانه‌های چند فازی • سینتیک واکنش‌های چند فازی • بررسی واکنش‌های چند فازی در راکتورهای ایده‌آل و ناکامل • طرح راکتورهای ناهمگن: کاتالیزورهای ناهمگون • ضرایب تیل (Thiele) و تأثیر عامل مؤثر (Effectiveness) در کاتالیزورهای جامد با اشکال هندسی مختلف • انتقال حرارت و جرم در کاتالیزورهای جامد متخلخل، طراحی راکتورهای کاتالیزوری

۳	مدل‌سازی و شبیه‌سازی	• اصول اولیه مدل‌سازی و شبیه‌سازی کامپیوتری فرایندها • استفاده از تکنیک‌ها و شبیه‌سازها برای شبیه‌سازی، آنالیز داده‌ها • روش‌های کوانتومی، اتمی، مزوسکوپیک و پیوسته برای مطالعه مسائل کاربردی و اصولی • مثال‌هایی از ساختارهای پیچیده و مشاهدات تجربی	• مقدمه‌ای بر مدل‌سازی و شبیه‌سازی، اهمیت شبیه‌سازی در آنالیز مسائل مهندسی شیمی، سامانه‌های متمرکز (Lumped) و توزیع یافته (distributed)، سامانه‌های حالت پایا و گذار، برنامه‌نویسی چند- سطحی • مروری بر روش‌های عددی حل دستگاه معادلات جبری و دیفرانسیلی • ساختار مدل‌های ریاضی، مدل‌سازی پای‌های، اصول مدل‌سازی، الگوریتم cause-and-effect قلو دیاگرام • ساختار macro- program برای شبیه‌سازی دینامیکی مسائل مهندسی شیمی • محاسبات پای‌های تعادل بخار- مایع شامل نقطه‌جوش، نقطه شبنم، فلش و مایع کردن (condensation) • مثال و مطالعه موردی سامانه‌های دینامیک سیال، سینتیک واکنش و طراحی راکتور

جدول ۱۶-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه فنی مونیخ با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد

ردیف	نام درس	سرفصل دانشگاه فنی مونیخ	سرفصل دانشگاه فردوسی مشهد
۱	طراحی تجهیزات فرایندی	• **طراحی ظروف تحت‌فشار:** اصول مربوط به انتخاب هندسه طراحی، پارامترهای مربوط به انتخاب مواد، ایمنی تجهیز، طراحی پوسته تجهیز، نازل‌ها، فلج‌ها، طراحی مبدل حرارتی و تحلیل آنالیزهای تنش • **طراحی تجهیزات حرارتی** طراحی مبدل‌های حرارتی طراحی کوره‌ها	• استانداردها و کدها طراحی تجهیزات فرآیند استانداردهایی همچون: ASTM, ASME, API • طراحی انواع تانک‌های ذخیره‌سازی کروی و استوانه‌ای– انتخاب نوع مخزن ذخیره برحسب ماده، طراحی پایه مخزن، انتخاب جنس ساخت، طراحی تجهیزات جانبی موردنیاز، طراحی نازل‌های مخزن، تهیه جدول اطلاعات اولیه • طراحی برج‌های تقطیر و استخراج انتخاب شرایط عملیاتی، انتخاب ماده مبرد و ماده حرارت دهنده، جایگاه استفاده از مبدل‌های فناوری پینچ پمپ حرارتی، طراحی دمایی و مکانیکی معیان کننده و جوش‌آور برج، محاسبه پارامترهای اندازه‌ای برج، طراحی پارامترهای مکانیکی، طراحی تجهیزات جانبی موردنیاز، طراحی نازل‌های مخزن، تهیه جدول اطلاعات برج و سینی. • طراحی مخازن و درام‌ها (Drum) کاربرد مخازن و درام‌ها در فرایند، طراحی فرایندی مخازن و درام‌ها بر اساس نصب افقی یا عمودی، طراحی پایه مخزن، انتخاب جنس، طراحی تجهیزات جانبی موردنیاز، طراحی نازل‌های مخزن، تهیه جدول اطلاعات اولیه

۲	پدیده‌های انتقال	نام درس: انتقال جرم و حرارت • معادلات پایه‌ای مومنتوم • موازنه جرم و انرژی و آنتروپی • انتقال فاز • لایه‌های مرزی • جابه‌جایی آزاد	مکانیک سیالات: • سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی • استاتیک سیالات • جریان سیال و معادلات حرکت • سیالات تراکم‌ناپذیر • انتقال و اندازه‌گیری سیالات انتقال حرارت: • انتقال حرارت هدایتی • انتقال حرارت جابجایی • انتقال حرارت تابشی • انتقال حرارت همراه با تغییر فاز انتقال جرم: • کلیات فرآیندهای انتقال جرم • نفوذ مولکولی در سیالات • ضرایب انتقال جرم • انتقال جرم در فصل مشترک فازها
۳	طراحی به کمک کامپیوتر	نام درس: اصول شبیه‌سازی فرایند • دانش مربوط به شبیه‌سازی فرایند • انواع پکیج‌های مناسب برای شبیه‌سازی	• مراحل سنتز فلوشیت و طراحی اولیه • مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی پایا فرآیند • روش تعیین خواص ترمودینامیکی و مدل ترمودینامیکی مناسب • جریان‌های برگشتی و محاسبات همگرایی آن‌ها • موارد طراحی مفهومی فرآیند • طراحی سیستم‌های جداسازی و روش‌های تقطیر • معرفی بانک‌های اطلاعاتی خواص ترمودینامیکی و هندبوک‌های مربوطه

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه
دانشگاه فردوسی مشهد

جدول ۱۷-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه kyoto با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد

ردیف	نام درس	سرفصل دانشگاه Kyoto	سرفصل دانشگاه فردوسی مشهد
۱	پدیده‌های انتقال	پس از آشنایی اولیه با چگونگی حرکت سیالات پلیمری به‌عنوان نمونه مناسبی از سیالات غیر نیوتنی، ارتباط بین strain و stress توضیح داده می‌شود و علاوه بر بررسی رفتار کلاسیکی سیالات، دیدگاه مولکولی نیز بر پایه مکانیک آماری بررسی می‌شود.	مکانیک سیالات: • سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی • استاتیک سیالات • جریان سیال و معادلات حرکت • سیالات تراکم‌ناپذیر • انتقال و اندازه‌گیری سیالات انتقال حرارت: • انتقال حرارت هدایتی • انتقال حرارت جابجایی • انتقال حرارت تابشی • انتقال حرارت همراه با تغییر فاز انتقال جرم: • کلیات فرآیندهای انتقال جرم • نفوذ مولکولی در سیالات • ضرایب انتقال جرم • انتقال جرم در فصل مشترک فازها
۲	مهندسی راکتورهای شیمیایی	• سینتیک واکنش‌های کاتالیستی جامد-گاز • واکنش‌های CVD • واکنش‌های آنزیمی • طراحی راکتورهای گاز-جامد و راکتورهای کاتالیستی گاز-جامد • راکتورهای صنعتی شامل راکتورهای بستر ثابت، بستر متحرک و راکتورهای CSTR	• مروری بر سینتیک واکنش‌ها و طراحی راکتورهای تک فاز • اثرات دما و فشار در راکتورها: وابستگی سرعت واکنش به دما، درجه حرارت بهینه برای راکتورهای هم‌دما، اثرات فشار • مدل‌های توزیع زمان اقامت در راکتورها، راکتورهای ناکامل • راکتورهای ناپایدار: حالت گذر در راکتورهای مخلوط، راکتورهای لوله‌ای و غیره. • تئوری‌های انتقال جرم در سامانه‌های چند فازی • سینتیک واکنش‌های چند فازی • بررسی واکنش‌های چند فازی در راکتورهای ایدئال و ناکامل • طرح راکتورهای ناهمگن: کاتالیزورهای ناهمگون • ضرایب تیل (Thiele) و تأثیر عامل مؤثر (Effectiveness) در کاتالیزورهای جامد با اشکال هندسی مختلف • انتقال حرارت و جرم در کاتالیزورهای جامد متخلخل، طراحی راکتورهای کاتالیزوری

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۳	بهینه‌سازی	نام درس (مهندسی فرایند پیشرفته) • طراحی و بهینه‌سازی فرایندهای شیمیایی • بهینه‌سازی غیر مقید • برنامه‌نویسی خطی • برنامه‌نویسی غیرخطی • برنامه‌نویسی دینامیکی	• مقدمه • مفاهیم اولیه در بهینه‌سازی (متغیر طراحی، تابع هدف، انواع قیود، بهینه‌سازی پیوسته و بهینه‌سازی گسسته، بهینه‌سازی محلی و بهینه‌سازی سراسری، بهینه‌سازی با اعمال قید و بدون اعمال قید، مسائل خطی و غیرخطی، الگوریتم‌های بهینه‌سازی، درجه آزادی در حل مسائل بهینه‌سازی، بهینه‌سازی از طریق طراحی آزمایش‌ها، نمودارهای کانتور (هم پاسخ)، مروری بر عملیات ماتریسی، اکسترمم توابع، تقعر، ماتریس هسین • بهینه‌سازی بدون اعمال قید • بهینه‌سازی بدون قید یک بعدی، روش‌های مستقیم برای مسائل یک بعدی (سرعت همگرایی، روش نیوتن، روش سکانت)، بهینه‌سازی بدون قید چندبعدی، روش‌های تکراری برای مسائل چندبعدی، روش‌های مستقیم برای مسائل چندبعدی (روش جستجوی Simplex، روش جستجوی تک متغیره، روش جستجوی مزدوج، روش پاول، روش‌های غیرمستقیم برای مسائل چندبعدی (روش گرادیان، روش نیوتن، روش سکانت) • بهینه‌سازی با اعمال قید • روش لاگرانژ، شرط لازم و کافی برای قیود تساوی و ناتساوی، تعبیر ترسیمی شرایط لازم و کافی • برنامه‌ریزی خطی • برنامه‌ریزی خطی از دیدگاه هندسی، روش سیمپلکس، روش سدی، تحلیل حساسیت، کاربرد نرم‌افزار Excel در برنامه‌ریزی خطی • برنامه‌ریزی غیرخطی با قید • روش جایگزینی مستقیم، روش تعمیم‌یافته کاهشی گرادیانی، روش تابع پنالتی، روش سدی، روش افزایشی لاگرانژی، برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی • برنامه‌ریزی روی اعداد صحیح یا مخلوط اعداد صحیح و پیوسته • فرمول‌بندی مسئله به‌صورت NLP، فرمول‌بندی مسئله به‌صورت برنامه‌ریزی روی اعداد صحیح، روش شاخه و مرز، برنامه‌ریزی خطی روی مخلوط اعداد صحیح و پیوسته، برنامه‌ریزی غیرخطی روی مخلوط اعداد صحیح و پیوسته • برنامه‌ریزی دینامیکی • مثال‌های کاربردی بهینه‌سازی در مهندسی شیمی و استفاده از نرم‌افزار MATLAB
۴	طراحی با کمک کامپیوتر	نام درس (مهندسی فرایند) • اصول مربوط به طراحی فرایندهای شیمیایی شامل عملیات واحد • طراحی پایه فرایندهای شیمیایی • طراحی فرایند به کمک کامپیوتر • چگونه از شبیه‌سازهای فرایندی استفاده کنیم؟ طراحی فرایند واقعی	• مراحل سنتز فلوشیت و طراحی اولیه • مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی پایا فرآیند • روش تعیین خواص ترمودینامیکی و مدل ترمودینامیکی مناسب • جریان‌های برگشتی و محاسبات همگرایی آن‌ها • موارد طراحی مفهومی فرآیند • طراحی سیستم‌های جداسازی و روش‌های تقطیر • معرفی بانک‌های اطلاعاتی خواص ترمودینامیکی و هندبوک‌های مربوطه

جدول ۱۸-۳-همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاهBritish Colombia با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد

ردیف	نام درس	جزئیات سرفصل درس	سرفصل دانشگاه فردوسی مشهد
۱	کاتالیست‌های همگن و طراحی راکتور	تعریف کاتالیست‌های همگن- ویژگی‌های کاتالیست‌ها – سینتیک واکنش‌های کاتالیستی –طراحی راکتور کاتالیستی ایدئال و غیر هم‌دما – تأثیرات انتقال جرم و حرارت بر کاتالیست‌های همگن – مثال‌های راکتورهای صنعتی	• مروری بر سینتیک واکنش‌ها و طراحی راکتورهای تک فاز • اثرات دما و فشار در راکتورها: وابستگی سرعت واکنش به دما، درجه حرارت بهینه برای راکتورهای هم‌دما، اثرات فشار • مدل‌های توزیع زمان اقامت در راکتورها، راکتورهای ناکامل • راکتورهای ناپایدار: حالت گذر در راکتورهای مخلوط، راکتورهای لوله‌ای و غیره. • تئوری‌های انتقال جرم در سامانه‌های چند فازی • سینتیک واکنش‌های چند فازی • بررسی واکنش‌های چند فازی در راکتورهای ایدئال و ناکامل • طرح راکتورهای ناهمگن: کاتالیزورهای ناهمگون • ضرایب تیل (Thiele) و تأثیر عامل مؤثر (Effectiveness) در کاتالیزورهای جامد با اشکال هندسی مختلف • انتقال حرارت و جرم در کاتالیزورهای جامد متخلخل، طراحی راکتورهای کاتالیزوری
۳	مدل‌سازی و بهینه‌سازی در مهندسی شیمی	مدل‌سازی فرآیندهای صنعتی شیمیایی – شبیه‌سازی ریاضی فرآیندها – مقدمه‌ای بر روش‌های عددی بهینه‌سازی	
۴	طراحی راکتور پیشرفته	طراحی راکتور بستر ثابت راکتورهای بسترسیال و بستر متحرک راکتورهای مناسب جهت واکنش‌های گاز – جامد و گاز – مایع طراحی راکتورهای سه فازی جامد مایع گاز	• مروری بر سینتیک واکنش‌ها و طراحی راکتورهای تک فاز • اثرات دما و فشار در راکتورها: وابستگی سرعت واکنش به دما، درجه حرارت بهینه برای راکتورهای هم‌دما، اثرات فشار • مدل‌های توزیع زمان اقامت در راکتورها، راکتورهای ناکامل • راکتورهای ناپایدار: حالت گذر در راکتورهای مخلوط، راکتورهای لوله‌ای و غیره. • تئوری‌های انتقال جرم در سامانه‌های چند فازی • سینتیک واکنش‌های چند فازی • بررسی واکنش‌های چند فازی در راکتورهای ایدئال و ناکامل • طرح راکتورهای ناهمگن: کاتالیزورهای ناهمگون • ضرایب تیل (Thiele) و تأثیر عامل مؤثر (Effectiveness) در کاتالیزورهای جامد با اشکال هندسی مختلف • انتقال حرارت و جرم در کاتالیزورهای جامد متخلخل، طراحی راکتورهای کاتالیزوری

جدول ۱۹-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه Manchester با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد

ردیف	نام درس	جزئیات سرفصل دروس دانشگاه منچستر	سرفصل دانشگاه فردوسی مشهد
۱	طراحی پروژه در مهندسی شیمی	• موازنه جرم و انرژی در فرآیند و ایجاد فلوشیت • طراحی راکتور • سایزینگ برج‌های تقطیر • جزئیات طراحی مبدل‌های حرارتی • سایزینگ پمپ‌ها و کمپرسورهای حرارتی منابع پیشنهادی: Felder, RM and Rousseau, RW, Elementary Principles of Chemical Processes, 3rd Edition, Wiley, ISBN: 0471534781, Joule Library 660/FEL. Himmelblau DM, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th Edition, Prentice-Hall, 1996. ISBN: 0133057984, Joule Library 660/HIM	• استانداردها و کدها طراحی تجهیزات فرآیند استانداردهایی همچون: ASTM, ASME, API • طراحی انواع تانک‌های ذخیره‌سازی کروی و استوانه‌ای– انتخاب نوع مخزن ذخیره برحسب ماده، طراحی پایه مخزن، انتخاب جنس ساخت، طراحی تجهیزات جانبی موردنیاز، طراحی نازل‌های مخزن، تهیه جدول اطلاعات اولیه • طراحی برج‌های تقطیر و استخراج انتخاب شرایط عملیاتی، انتخاب ماده مبرد و ماده حرارت دهنده، جایگاه استفاده از مبدل‌های فناوری پینچ پمپ حرارتی، طراحی دمایی و مکانیکی میعان کننده و جوش آور برج، محاسبه پارامترهای اندازه‌ای برج، طراحی پارامترهای مکانیکی، طراحی تجهیزات جانبی موردنیاز، طراحی نازل‌های مخزن، تهیه جدول اطلاعات برج و سینی. • طراحی مخازن و درام‌ها (Drum) کاربرد مخازن و درام‌ها در فرایند، طراحی فرایندی مخازن و درام‌ها بر اساس نصب افقی یا عمودی، طراحی پایه مخزن، انتخاب جنس، طراحی تجهیزات جانبی موردنیاز، طراحی نازل‌های مخزن، تهیه جدول اطلاعات اولیه • طراحی مبدل‌های حرارتی بر استاندارد TEMA طراحی مبدل‌های حرارتی پوسته– لوله، کولرهای هوایی و مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای • استفاده از نرم‌افزارهای مجموعه Aspen Tech جهت طراحی برج و مبدل حرارتی

۲	انتگراسیون حرارتی و انتقال حرارت	• تاریخچه آنالیز پینچ، درجه‌بندی طراحی فرآیند، سرمایه‌گذاری در شبکه مبدل‌های حرارتی و تأسیسات جانبی • اهداف انرژی • اصول بازیافت حرارتی، بازیافت حرارتی در فرآیندهای چند جریانه، منحنی‌های ترکیبی و پینچ • روش‌های طراحی شبکه مبدل حرارتی جهت دستیابی به اهداف انرژی • منحنی‌های ترکیبی گرند (Grand Composite)، انتخاب سامانه‌های پشتیبانی، انتگراسیون حرارتی موتورها و پمپ‌های گرمایی، پینچ بازیافت انرژی، الگوریتم محاسباتی برای یافتن اهداف انرژی • هدف‌گیری‌های اقتصادی طراحی شبکه مبدل حرارتی فرآیند • حداقل‌سازی تعداد مبدل‌های حرارتی، حداقل‌سازی سطح و تعداد پوسته در مبدل حرارتی، بهینه‌سازی شبکه مبدل، طراحی شبکه یا معیارهای هزینه‌ای متفاوت. • مسائل رتروفیت، مشخصات داده‌ای فرآیند، محرک‌ها و اهداف رتروفیت، آنالیز اقتصادی و روش طراحی، استفاده بازیافت مبدل حرارتی در رتروفیت • ملاحظات افت فشار • راکتورها، برج‌های تقطیر، تبخیرکننده‌ها، خشک‌کن‌ها، پمپ‌های حرارتی و یخچال‌ها	• تاریخچه آنالیز پینچ، درجه‌بندی طراحی فرآیند، سرمایه‌گذاری در شبکه مبدل‌های حرارتی و تأسیسات جانبی • اهداف انرژی • اصول بازیافت حرارتی، بازیافت حرارتی در فرآیندهای چند جریانه، منحنی‌های ترکیبی و پینچ • روش‌های طراحی شبکه مبدل حرارتی جهت دستیابی به اهداف انرژی • منحنی‌های ترکیبی گرند (Grand Composite)، انتخاب سامانه‌های پشتیبانی، انتگراسیون حرارتی موتورها و پمپ‌های گرمایی، پینچ بازیافت انرژی، الگوریتم محاسباتی برای یافتن اهداف انرژی • هدف‌گیری‌های اقتصادی طراحی شبکه مبدل حرارتی فرآیند • حداقل‌سازی تعداد مبدل‌های حرارتی، حداقل‌سازی سطح و تعداد پوسته در مبدل حرارتی، بهینه‌سازی شبکه مبدل، طراحی شبکه یا معیارهای هزینه‌ای متفاوت. • مسائل رتروفیت، مشخصات داده‌ای فرآیند، محرک‌ها و اهداف رتروفیت، آنالیز اقتصادی و روش طراحی، استفاده بازیافت مبدل حرارتی در رتروفیت • ملاحظات افت فشار • راکتورها، برج‌های تقطیر، تبخیرکننده‌ها، خشک‌کن‌ها، پمپ‌های حرارتی و یخچال‌ها
۳	مهندسی واکنش‌های کاتالیستی	• مقدمه‌ای بر مراحل واکنش‌های کاتالیستی • نوع کاتالیست طراحی و تست کاتالیست‌ها • روش تحلیلی کاهش تخریب کاتالیست‌ها • به دست آوردن یک معادله سرعت برای جذب تعادلی و واکنش‌های روی سطح • انتقال جرم نفوذ و واکنش در دانه کاتالیست • طراحی ساده یک راکتور لوله‌ای منابع پیشنهادی: Bartholomew CH and Farrauto RJ, Fundamentals of Industrial Catalytic Processes, (2006). Fogler HS, Elements of Chemical Reaction Engineering, 3rd (4th) Edition, Prentice Hall 1998 (2005), ISBN 0135317088 Joule Library 660-02 FOG Additional reading material in Journal papers/book chapters in handbook is provided.	•مروری بر سینتیک واکنش‌ها و طراحی راکتورهای تک فاز •اثرات دما و فشار در راکتورها: وابستگی سرعت واکنش به دما، درجه حرارت بهینه برای راکتورهای هم‌دما، اثرات فشار •مدل‌های توزیع زمان اقامت در راکتورها، راکتورهای ناکامل •راکتورهای ناپایدار: حالت گذر در راکتورهای مخلوط، راکتورهای لوله‌ای و غیره. •تئوری‌های انتقال جرم در سامانه‌های چند فازی •سینتیک واکنش‌های چند فازی •بررسی واکنش‌های چند فازی در راکتورهای ایدئال و ناکامل •طرح راکتورهای ناهمگن: کاتالیزورهای ناهمگون •ضرایب تیل (Thiele) و تأثیر عامل مؤثر (Effectiveness) در کاتالیزورهای جامد با اشکال هندسی مختلف • انتقال حرارت و جرم در کاتالیزورهای جامد متخلخل، طراحی راکتورهای کاتالیزوری

۴	طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر	• مدل‌سازی فرآیند • مدل جبری خطی • مدل جبری غیرخطی • مباحث پیشرفته در حل سیستم‌های غیرخطی • طراحی آزمایش و تخمین پارامترها • سیستم‌های دینامیک • بهینه‌سازی (MIP-NLP) منابع پیشنهادی: □ Learning MATLAB, T.A. Driscoll (e-book) □ MATLAB programming for engineers, S.J. Chapman □ Introduction to Engineering Programming: C, MATLAB, Java, M. Austin and D. Chancogne □ Introduction to Applied Mathematics, G. Strang □ Linear Algebra with applications, S.J. Leon □ Matrix computations, G.H. Golub, C.F. VanLoan □ Edgar,T.F. and Himmelblau,D.M., Optimization of Chemical Processes, McGraw-Hill, 1988 □ Williams, H.P., Model Building in Mathematical Programming, J.Wiley, 1993 □ Reklaitis,G.V., Ravindrau,A. and Ragsdell,K., Engineering Optimization, Wiley, 1	•مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی فرآیند، توضیح خلاصه‌ای از پکیج‌های محاسبات و اطلاعات اقتصادی از فرآیندها •بانک‌های اطلاعاتی خواص ترمودینامیکی و فیزیکی: DIPPR, Dechema, Janaf, TRI and API •معادلات حالت و تعادلی برای یک جزء، مخلوط‌های مشخص (ایدئال و غیر ایدئال آزوتروپی) و مخلوط‌های نامشخص (نفتی و غیرنفتی)، ضریب فعالیت، تعادلات بخار مایع VLE و تعادلات بخار مایع مایع VLLE •مشخصه یابی C7+، روش مشخصه یابی ASTM، API و شبه جزئی •عملیات واحد: محاسبات FLASH، مبدل‌های حرارتی (طراحی تفضیلی با روش BELL)، برج‌های تقطیر (روش میان‌بر، روش I/O)، همگرایی، پمپ‌های اطراف، چند خوراکه و جریان جانبی) •موارد پیشرفته: جریان برگشتی، محاسبات، بهینه‌سازی و موارد طراحی مفهومی •مورد مطالعاتی خاص

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه فردوسی مشهد

جدول ۲۰-۳- همپوشانی سرفصل دروس مشترک دانشگاه Mc Gill با سرفصل دروس دانشگاه فردوسی مشهد

ردیف	نام درس	سرفصل دانشگاه مک گیل	سرفصل دانشگاه فردوسی مشهد
۱	پدیده‌های انتقال	• **جرم و حرارت** معادلات پیوستگی برای سطح و حجم کنترل، روش‌های حل تقریبی مسائل نفوذ، فرایندهای نفوذ همراه با واکنش، تغییر فاز، انتقال جرم و حرارت جابجایی، مثال‌هایی از مسائل پیشرفته به‌صورت انتخابی • **مکانیک سیالات** • معادلات حرکت، تئوری لایه‌های مرزی، پایداری هیدرودینامیکی، جریان توربولنت، بررسی نیروهای دراگ	مکانیک سیالات: • سیالات نیوتنی و غیر نیوتنی • استاتیک سیالات • جریان سیال و معادلات حرکت • سیالات تراکم‌ناپذیر • انتقال و اندازه‌گیری سیالات انتقال حرارت: • انتقال حرارت هدایتی • انتقال حرارت جابجایی • انتقال حرارت تابشی • انتقال حرارت همراه با تغییر فاز انتقال جرم: • کلیات فرآیندهای انتقال جرم • نفوذ مولکولی در سیالات • ضرایب انتقال جرم • انتقال جرم در فصل مشترک فازها
۲	محاسبات عددی پیشرفته	• روش‌های محاسباتی معادلات جبری غیرخطی، پایستگی معادلات غیرخطی، استراتژی‌های تولید مش، انتقال جابجایی، معادلات هایپربولیک، روش‌های شبیه‌سازی ذرات	• مقدمه: معادلات دیفرانسیل در مهندسی شیمی، تقسیم‌بندی معادلات، کمبود روش‌های تحلیلی حل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای غیرخطی. • حل معادلات دیفرانسیل خطی: روش گوس (Gauss)، گوس جردن (Gauss- Jordan)، سامانه‌های سه قطری (Tri- diagonal)، روش معکوس ماتریس‌ها و غیره. • روش‌های درون‌یابی و انتگرال: روش‌های درون‌یابی چندجمله‌ای (Polynomial)، روش مکعب Spline روش درون‌یابی دوبعدی و سه‌بعدی، روش‌های انتگرال (Bracketing & Bisection)، نیوتون رفسون (Newton- Raphson) و غیره. • روش تفاوت محدود (Finite Difference): معادلات معمولی ارزش مرزی، معادلات دیفرانسیلی حاکم بر پدیده‌های انتقال، روش‌های بسط معادلات (Discretization)، روش‌های Shooting، روش‌های Relaxation، حل معادلات هدایت گرمایی، مش‌بندی (Grid Spacing)، شرایط فلوی مرزی مشترک، روش‌های صریح و ضمنی، جریان‌های دوبعدی و سه‌بعدی در انتقال حرارت، حل معادلات دیفرانسیل با عبارت‌های جابجایی، روش‌های Upwind، Hybrid، Power، Exponential، حل معادلات مکانیک سیالات به روش تفاوت محدود، عبارت افت فشار در معادله حرکت و غیره. • روش المان‌های محدود (Finite Element)، متد گالرکین (Galerkin)، متد باقیمانده‌های وزنی (weighted residuals)، متد Collocation، متد Moment، روش‌های بسط معادلات (Discretization) متد صریح و ضمنی، روش‌های انتگرال زمانی، روش حل معادلات ناویر استوکس و غیره.

۳	طراحی راکتور پیشرفته	• مهندسی واکنش‌های شیمیایی • تفسیر داده‌های واکنش شیمیایی خصوصاً برای سیستم‌های هتروژن • زمان اقامت • جدایی کامل • طراحی راکتور	• مروری بر سینتیک واکنش‌ها و طراحی راکتورهای تک فاز • اثرات دما و فشار در راکتورها: وابستگی سرعت واکنش به دما، درجه حرارت بهینه برای راکتورهای هم‌دما، اثرات فشار • مدل‌های توزیع زمان اقامت در راکتورها، راکتورهای ناکامل • راکتورهای ناپایدار: حالت گذر در راکتورهای مخلوط، راکتورهای لوله‌ای و غیره. • تئوری‌های انتقال جرم در سامانه‌های چند فازی • سینتیک واکنش‌های چند فازی • بررسی واکنش‌های چند فازی در راکتورهای ایدئال و ناکامل • طرح راکتورهای ناهمگن: کاتالیزورهای ناهمگون • ضرایب تیل (Thiele) و تأثیر عامل مؤثر (Effectiveness) در کاتالیزورهای جامد با اشکال هندسی مختلف • انتقال حرارت و جرم در کاتالیزورهای جامد متخلخل، طراحی راکتورهای کاتالیزوری

۳-۱۱ دلالت‌های بررسی دانشگاه‌های برتر دنیا

با توجه به لیست دروس ارائه شده در هر دانشگاه و نیز بررسی نقاط اشتراک و افتراق برنامه درسی دانشگاه‌های برتر دنیا لزوم ایجاد تغییرات در برنامه کنونی گرایش طراحی فرایند ضروری به نظر می‌رسد. تغییرات ایجادشده در برنامه درسی گرایش طراحی فرایند به‌صورت دروس اصلی و اختیاری می‌تواند در سیلابس دروس اعمال شود. بر این اساس پیشنهادات به‌صورت ذیل جمع‌بندی می‌گردد:

- ✓ درسی همچون سینتیک و طراحی راکتور پیشرفته در اکثر دانشگاه‌های موردبررسی ارائه می‌شود که ضرورت نیاز گرایش طراحی فرایند به این درس را نشان می‌دهد. خوشبختانه این درس در چارت گرایش طراحی فرایند دانشگاه فردوسی مشهد وجود دارد. سایر دروس در اولویت‌های بعدی قرار دارند.
- ✓ درسی با نام تجزیه‌وتحلیل فرایندها در اکثر دانشگاه‌های برتر دنیا ارائه می‌شود. این درس می‌تواند در غالب درس "طراحی مفهومی فرایندها" که مصوب وزارت علوم نیز هست به چارت دروس گرایش طراحی فرایند اضافه شود.
- ✓ درس ترمودینامیک پیشرفته نیز در اکثر دانشگاه‌های موردبررسی ارائه شده است. لذا می‌تواند به چارت درسی گرایش طراحی فرایند اضافه شود.
- ✓ درس کنترل فرایند نیز جزء دروس پرکاربرد در دانشگاه‌های برتر دنیا است که باید به لیست دروس گرایش طراحی فرایند اضافه شود.
- ✓ درس ایمنی فرایندها نیز جزء دروس اکثر دانشگاه‌های دنیا است.
- ✓ درس دینامیک سیالات محاسباتی نیز می‌تواند به دروس این گرایش اضافه شود.
- ✓ درس مهندسی فرایندهای محیط‌زیست نیز می‌تواند به دروس این گرایش اضافه شود.

فصل چهارم

بررسی تجربیات

دانشگاه‌های ایران

۴-۱ مقدمه و روش بررسی دانشگاه‌ها

در این فصل برنامه درسی مرتبط با گرایش طراحی فرایند در دانشگاه‌های بزرگ و تراز اول داخل کشور بررسی می‌گردد . لازم به ذکر است **عموم دروسی که در دانشگاه‌های داخل کشور تدریس می‌شوند منطبق با سرفصل بازنگری شده وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است** که تقریباً الگوبرداری شده از سرفصل دروس دانشگاه‌های بزرگ و معتبر دنیا هستند. تنها خلأ موجود عدم ارائه و تدریس بسیاری از دروس ارائه شده در برنامه درسی مصوب وزارت علوم توسط دانشگاه‌ها به‌عنوان دروس اختیاری است. درحالی که در دانشگاه‌های معتبر دنیا، دروسی برای دانشجو در نظر گرفته می‌شود که ارتباط تنگاتنگی با عنوان پروژه پژوهشی دانشجو داشته و برای دانشجو در آن حوزه مثمر فایده خواهد بود. البته این امر بستگی زیادی به مشکلات ایجادشده در ارائه دروس متنوع در دانشگاه‌ها و به حدنصاب نرسیدن دانشجویان آن درس خواهد داشت. لذا در این بررسی تمرکز بیشتر در بررسی دروس اختیاری دانشگاه‌های مختلف خواهد بود.

۴-۲-دانشگاه‌های داخلی موردبررسی

۱- دانشگاه صنعتی شریف

۲- دانشگاه تهران

۳- دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانشگاه علم و صنعت

۵- دانشگاه صنعتی اصفهان

۴-۳ -دلایل انتخاب دانشگاه‌ها

کلیه دانشگاه‌های انتخاب‌شده داخلی، جزء ده دانشگاه برتر ایران بوده و عناوین دروس ارائه شده در دانشگاه‌های انتخاب‌شده جهت مقایسه در دسترس بود. لازم به ذکر است که دو دانشگاه معتبر امیرکبیر و شیراز که در این تحقیق قصد بر بررسی آن‌ها بود متأسفانه اطلاعاتی از برنامه درسی ارائه شده آن‌ها موجود نبود. به همین دلیل از لیست مقایسه حذف شدند.

از سوی دیگر از بین دانشگاه‌های فوق، فقط سرفصل دانشگاه صنعتی شریف با ارائه جزئیات هر درس در اختیار بود. لذا برای سایر دانشگاه‌ها فرض بر این قرار گرفت که همگی از سرفصل مصوب وزارت علوم تبعیت می‌کنند.

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۴-۴ ساختار برنامه درسی:

جدول ۱-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه فردوسی مشهد

ردیف	نام درس	تعداد واحد	نوع درس
۱	محاسبات عددی پیشرفته	۳	اصلی
۲	سینتیک و طراحی راکتور پیشرفته	۳	اصلی
۳	پدیده‌های انتقال	۳	اصلی
۴	طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر	۳	اصلی
۵	انتگراسیون فرآیند	۳	اختیاری
۶	طراحی تجهیزات فرایندی	۳	اختیاری
۷	بهینه‌سازی	۳	اختیاری
۸	مدل‌سازی و شبیه‌سازی	۳	اختیاری
۹	سمینار	۲	اصلی
۱۰	پروژه	۶	اصلی

جدول ۲-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه صنعتی شریف

ردیف	نام درس	تعداد واحد	نوع درس
۱	ریاضیات عددی پیشرفته	۳	اصلی
۲	ترمودینامیک مهندسی شیمی پیشرفته	۳	اصلی
۳	طراحی راکتور پیشرفته	۳	اصلی
۴	مکانیک سیالات پیشرفته	۳	اصلی
۵	طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر	۳	اختیاری
۶	طراحی مفهومی فرآیندهای شیمیایی	۳	اختیاری
۷	ایمنی در فرآیندهای شیمیایی	۳	اختیاری
۸	طراحی تجهیزات فرآیندی	۳	اختیاری
۹	بهینه‌سازی فرایند	۳	اختیاری
۱۰	کنترل پیشرفته	۳	اختیاری
۱۱	افزایش مقیاس در فرایندهای شیمیایی	۳	اختیاری
۱۲	سمینار	۲	اصلی
۱۳	پروژه	۶	اصلی

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

جدول ۳-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه تهران

ردیف	نام درس	تعداد واحد	نوع درس
۱	طراحی راکتور پیشرفته	۳	اصلی
۲	ترمودینامیک پیشرفته	۳	اصلی
۳	انتقال جرم پیشرفته*	۳	اصلی
۴	انتقال حرارت پیشرفته*	۳	اصلی
۵	مکانیک سیالات پیشرفته*	۳	اصلی
۶	ریاضیات پیشرفته	۳	اصلی
۷	شبیه‌سازی پیشرفته فرآیندها	۳	اصلی / اجباری
۸	کنترل فرآیند پیشرفته	۳	اختیاری
۹	فرآیندهای پالایش پیشرفته	۳	اختیاری
۱۰	بهینه‌سازی پیشرفته	۳	اختیاری
۱۱	تکنولوژی پینچ	۳	اختیاری
۱۲	جداسازی چند جزئی	۳	اختیاری
۱۳	هیدرودینامیک‌های بسترسیال	۳	اختیاری
۱۴	طراحی و آنالیزهای راکتورهای کاتالیستی	۳	اختیاری
۱۵	اکسرژی	۳	اختیاری
۱۶	طراحی آزمایش و آمار کاربردی	۳	اختیاری
۱۷	انرژی‌های پایدار	۳	اختیاری
۱۸	دینامیک سیالات محاسباتی	۳	اختیاری
۱۹	آنالیز پینچ پیشرفته	۳	اختیاری
۲۰	فرآیندهای جذب سطحی پیشرفته	۳	اختیاری
۲۱	فرآیندهای اختلاط	۳	اختیاری
۲۲	سمینار	۲	اصلی
۲۳	پروژه	۶	اصلی

* از سه درس پدیده‌های انتقال دو درس به‌صورت اجباری اخذ می‌شود.

جدول ۴-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه تربیت مدرس

ردیف	نام درس	تعداد واحد	نوع درس
۱	ریاضیات مهندسی پیشرفته	۳	اصلی
۲	طراحی راکتور پیشرفته	۳	اصلی

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۳	ترمودینامیک پیشرفته	۳	اصلی
۴	مکانیک سیالات پیشرفته*	۳	اصلی
۵	انتقال حرارت پیشرفته*	۳	اصلی
۶	انتقال جرم پیشرفته*	۳	اصلی
۷	کنترل فرآیند پیشرفته	۳	اختیاری
۸	بهینه‌سازی	۳	اختیاری
۹	مهندسی احتراق پیشرفته	۳	اختیاری
۱۰	اصول مهندسی فرآیند	۳	اختیاری
۱۱	مدل‌سازی و مشابه‌سازی	۳	اختیاری
۱۲	طراحی به کمک کامپیوتر	۳	اختیاری
۱۳	انتگراسیون فرآیند	۳	اختیاری
۱۴	بازیافت انرژی در صنعت	۳	اختیاری
۱۵	طراحی تجهیزات فرآیندی	۳	اختیاری
۱۶	طراحی مفهومی فرآیند	۳	اختیاری
۱۷	سمینار	۲	اصلی
۱۸	پروژه	۶	اصلی

*از سه درس انتقال دانشجو موظف به گذراندن دو درس است.

جدول ۵-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه علم و صنعت ایران

ردیف	نام درس	تعداد واحد	نوع درس
۱	طرح راکتور پیشرفته	۳	اصلی
۲	ترمودینامیک پیشرفته	۳	اصلی
۳	ریاضیات مهندسی پیشرفته	۳	اصلی
۴	محاسبات عددی پیشرفته	۳	اصلی
۵	انتقال جرم پیشرفته	۳	اصلی
۶	انتقال حرارت پیشرفته	۳	اصلی
۷	مکانیک سیالات پیشرفته	۳	اصلی
۸	طراحی مفهومی فرایندها	۳	اختیاری
۹	بهینه‌سازی	۳	اختیاری
۱۰	مدل‌سازی و شبیه‌سازی	۳	اختیاری
۱۱	کنترل فرایند پیشرفته	۳	اختیاری
۱۲	دینامیک سیالات محاسباتی	۳	اختیاری
۱۳	انتقال حرارت (جابجایی)	۳	اختیاری

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۱۴	اصول مهندسی فرآیند	۳	اختیاری
۱۵	طراحی به کمک کامپیوتر	۳	اختیاری
۱۶	انتگراسیون فرآیندها	۳	اختیاری
۱۷	طراحی تجهیزات فرآیندی	۳	اختیاری
۱۸	بازیافت انرژی در صنعت	۳	اختیاری
۱۹	سمینار	۲	اصلی
۲۰	پروژه	۶	اصلی

جدول ۶-۴- چارت طراحی فرآیند دانشگاه صنعتی اصفهان

ردیف	نام درس	تعداد واحد	نوع درس
۱	ترمودینامیک پیشرفته	۳	اصلی
۲	ریاضیات مهندسی پیشرفته	۳	اصلی
۳	طراحی راکتور پیشرفته	۳	اصلی
۴	پدیده‌های انتقال پیشرفته	۳	اصلی
۵	انتگراسیون فرآیندها	۳	اختیاری
۶	بازیافت انرژی در فرایندهای شیمیایی	۳	اختیاری
۷	طراحی تجهیزات فرایندی	۳	اختیاری
۸	بهینه‌سازی	۳	اختیاری
۹	طراحی مفهومی فرآیندهای شیمیایی	۳	اختیاری
۱۰	تکنولوژی پینچ	۳	اختیاری
۱۱	آنالیز اکسرژی فرایندهای شیمیایی	۳	اختیاری
۱۲	افزایش مقیاس در فرآیندهای شیمیایی	۳	اختیاری
۱۳	طراحی و شبیه‌سازی پیشرفته فرآیند	۳	اختیاری
۱۴	طراحی خطوط لوله در صنایع شیمیایی	۳	اختیاری
۱۵	طراحی کنترل‌کننده‌ها در فرآیندهای شیمیایی	۳	اختیاری
۱۶	طراحی راکتورهای صنعتی	۳	اختیاری
۱۷	سمینار	۲	اصلی
۱۸	پروژه	۶	اصلی

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۱-۴-۴ ویژگی‌های برنامه درسی (سرفصل دروس، منابع پیشنهادی و روش ارزیابی)

جدول ۷-۴- سرفصل دروس دانشگاه صنعتی شریف

ردیف	نام درس	سرفصل دروس	منابع
۱	محاسبات عددی پیشرفته	**یادآوری از مسائل مقدماتی مانند:** • تقریب زدن‌ها و محاسبات خطاها ((error • دستگاه معادلات جبری خطی (روش حذفی گاوسین، گاوس – جردن، روش همراه تکرار) **روش‌های تجزیه ماتریس:** • روش تجزیه LU و روش تجزیه QR - **Sparse Matrix:** • کاربرد sparse matrix در پدیده‌های انتقال و فرآیندهای جداسازی **معادلات غیرخطی:** • خلاصه‌ای بر روش‌های بنیادی حل معادله غیرخطی منفرد • محاسبه ریشه‌های حقیقی و مختلط چندجمله‌ای • دستگاه معادلات جبری غیرخطی (**روش‌های عددی درون‌یابی، مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری:** • خلاصه‌ای بر روش‌های رایج درون‌یابی • روش spline و روش عملگرهای مشتق • درون‌یابی عددی و مشتق‌گیری با اپراتورهای مشتق **روش‌های عددی حل معادلات دیفرانسیل معمولی** • خلاصه‌ای از روش‌های رایج • روش‌های چندمرحله‌ای **و** روش‌های چند مقداری • روش Orthogonal Collocation برای معادلات دیفرانسیل معمولی **معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی:** • انواع مختلف معادلات با مشتقات جزئی حل معادلات مشتقات جزئی با تفاضلات محدود • **مقدمه‌ای بر روش‌های عناصر محدود حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی توسط روش Orthogonal Collocation**	**منابع:** Applied Numerical Analysis, by Gerald * Numerical Methods for Engineers, by Chapra & Canale * Applied Mathematics and Modeling for Chemical Engineers, by Rice, Duo *

۲	طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر	• مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی فرآیند، توضیح خلاصه‌ای از پکیج‌های محاسبات و اطلاعات اقتصادی از فرآیندها • بانک‌های اطلاعاتی خواص ترمودینامیکی و فیزیکی: Dechema, Janaf, TRI and API • معادلات حالت و تعادلی برای یک جزء، مخلوط‌های مشخص (ایدئال و غیر ایدئال آزوتروپی) و مخلوط‌های نامشخص (نفتی و غیرنفتی)، ضریب فعالیت، تعادلات بخار مایع (VLE) • مشخصه یابی $C7^+$، روش مشخصه یابی ASTM، API و شبه جزئی • عملیات واحد: محاسبات FLASH، مبدل‌های حرارتی (طراحی تفضیلی با روش (BELL، برج‌های تقطیر (روش میان‌بر، روش I/O، همگرایی، پمپ‌های اطراف، چند خوراکه و جریان جانبی) • موارد پیشرفته: جریان برگشتی، محاسبات، بهینه‌سازی و موارد طراحی مفهومی	Prausnitz, J. M., Lichtenhaler, R. N. and de Azevedo. E. G, Molecular Thermodynamics of fluid* phase equilibria, Prentice Hall,1999 Edmister, W.C., Applied Hydrocarbon Thermodynamics, Gulf pub Co,1988* Seader, J.D.and Henley. E. J., Separation Process Principles, John Wiley & Sons, 1998* GPSA, Engineering Data Book, GPA, 1998 * Daubert & Danner, API Technical Data Book, API, 1994 *Reklaitis, G. V. and Spriggs, H. D., Computer Aided Process Operation, CACHE, Elsevier, 1987* Westerberg, A. W. and Chien, A.A., Foundation of Computer Aided Process Design, Proceeding*
۳	ترمودینامیک مهندسی شیمی پیشرفته	• یادآوری روابط ترمودینامیک کلاسیک برای پیش‌بینی خواص ترموفیزیکی و شرایط تعادلی برای فازهای مایع و بخار خالص و مخلوط • یادآوری از معادلات درجه ۳ حالت • ارائه روابط بنیادی برای تخمین خواص ترمودینامیکی از طریق معادلات حالت • یک خلاصه از نیروهای بین‌مولکولی، تابع پتانسیل، نظریات حالت مربوطه و ضرایب اسمزی • ارائه روش‌های مختلف مبتنی بر ترمودنیامیک مولکولی و کلاسیک برای پیش‌بینی خواص ترمودینامیکی مخلوط‌های گازی • ارائه مبحث توابع اضافی برحسب قوانین لوییس و هنری • ارائه مدل‌های مختلف محلول‌ها مبتنی بر ترمودینامیک کلاسیک و مولکولی برای تعمیم خواص مایعات مخلوط	*J. M. Prausnitz, R. N. Lichtenthaler, Molecular thermodynamics of fluid-phase equilibria; 3rd Ed., 1999, Prentice Hall PTR *J. M., Smith, H. C., Van Ness, M. M. Abbott, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, Mc Graw-Hill, 7th Ed., 2005

۴	ایمنی و پیشگیری از خطر در فرآیندهای صنعتی	• مقدمه، سم‌شناسی، برنامه‌های ایمنی در صنایع • مدل‌های منبع، مدل‌های آزاد شدن و پراکندگی سموم • انفجار و آتش‌سوزی، طراحی برای جلوگیری از آتش‌سوزی و انفجار • مقدمه‌ای بر بازیافت و اندازه بازیافت • تشخیص خطرات، HAZOP، تحلیل لیست عیب‌ها و نقص‌ها، تحلیل لیست رویدادها • ارزیابی خطرات، در نظر گرفتن عوامل حادثه‌ای و تصادفی • موارد نمونه و موردمطالعه خاص	*F. P. Lees, "Loss Prevention in the Process Industries", London, Butteworths,1986 * T. A. Kletz, HAZOP and HAZAN, Warwick Shire, England, The Institution of Chemical Engineers, 1986 Technology, 1997 * Guideline for " Hazard Evaluation Procedures", 2 nd ed, Centre for Chemical Process Safety, AIChE, 1992
۵	مکانیک سیالات پیشرفته	• بردارها و تنسورها، موازنه اندازه حرکت، استاتیک سیالات • دینامیک سیالات، معادلات حرکت، انتقال اندازه حرکت • معادلات مکانیکی، حرارتی و نهایی انرژی • تحلیل ابعادی و بی‌بعد سازی، تئوری لایه‌مرزی، جریان چرخشی و غیر چرخشی، جریان پتانسیل • تحلیل روش حل معادله ناویر استوکس، روش انتگرالی، جدایی لایه‌مرزی • جریان متلاطم، جریان متلاطم در مجراها و کانال‌ها • نظریه طول اختلاط پرانتل	*Transport Phenomana, Brid, Stewart, Lightfoot, Wiley (۴،۳،۲ Chapters) *Boundary Layer Theory, Schlichting, 7th Edition. *White, F.M.,” Viscous Fluid Flow”, Mc Graw Hill, 1991. *Hinze, J.O.,” Turbulence, An Introduction to its Mechanism and Theory”, Mc Graw Hill,1959
۶	طراحی راکتور پیشرفته	• راکتورهای غیر هم‌دما و موازنه انرژی پیرامون راکتورها، یادآوری ترمودینامیک واکنش‌های شیمیایی شامل تأثیرات دما و فشار بر واکنش‌های تعادلی و میزان گرمای واکنش • موارد بنیادی جریان‌های غیر ایدئال، توزیع زمان اقامت (RTD)، روش آزمایشگاهی و مدل‌ها برای تعیین RTD در جریان غیر ایدئال در راکتورهای شیمیایی شامل مدل پراکندگی، مدل جریان آرام، مدل تانک‌های سری، مدل چند پارامتری و تأثیر انباشتگی سیال در رفتار راکتور • سینتیک واکنش‌های کاتالیستی همگن و طراحی راکتور آن‌ها • سینتیک واکنش‌های غیر کاتالیستی سیال – جامد و طراحی راکتور آن‌ها • موارد خاص در طراحی راکتور شامل بیوراکتورها، واکنش‌های پلیمریزاسیون و ...	Levenspiel. "Chemical Reaction Engineering", 3rd Ed., John Wiley,1999 *HS, Fogler, "Elements of Chemical Reaction Engineering", 2nd Ed.,Prentice-Hall,1992

۷	طراحی تجهیزات فرآیندی	- یادآوری سایزینگ خطوط لوله: تک فازی، خطوط فرآیندی گاز و مایع، خطوط مایع و جامد - یادآوری سایزینگ پمپ‌های سانتریفیوژی و طراحی آن‌ها: سرعت، کاویتاسیون، نمودار هد برحسب دبی پمپ، بازدهی پمپ، محاسبه کارایی پمپ، تهیه Data sheet - طراحی ظروف جداسازی مایع مایع - طراحی ظروف جداسازی بخار مایع: فلش، steam drum - طراحی ظروف جداسازی بخار مایع مایع: تجمیع کننده، reflux drum، flash drum، جداساز بخار مایع - طراحی و انتخاب شیرهای کنترل: کاویتاسیون، choking، جریان دوفازی، تهیه data sheet و کار با نرم‌افزار -	* Ludwig E., Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Gulf Pub Co, 1983. * Walas, S., M., Chemical Process Equipment Selection & Design. Butterworth, 1988 * Ulrich, G. D., Guide to Chemical Engineering Process Design, Wiley, 1984 * Sinnot, Coulson & Richardson, Chemical Engineering, Vol.6, Design, Butterworth, 1996 * Nolte.C.B, Optimum Pipe Size Selection, Gulf Pub Co., 1979 * Evans, L., Equipment Design Handbook for Refineries & Chemical Plants, Gulf Pub Co, 1980 * Schweitzer, P. A., Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineering, Mc Graw Hill,1997. * Liptak, B. G., Instrument Engineers Handbook, Butterworth, 1995 * Branam, C., The Process Engineers Pocket Handbook, Vol 1 & 2, Gulf Pub Co, 1983 * Svrcek, W. Y. & W.D. Moonery, Design Two-Phase Separator within the right limits, Chem. *Eng. Progress, Oct 1993, pp53-60, Dec 1993, p8 & March 1994, p8-10. * Megyesy, E. F., Pressure Vessel Handbook, Pressure Vessel Handbook Pub, 1989

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۸	طراحی مفهومی فرآیند	– **مقدمه** • طراحی فرآیند، سنتز فرایند، ارزیابی فرآیند • برآورد اقتصادی، بهینه‌سازی فرآیند • گسترش طراحی مفهومی فرآیند و انتخاب بهترین فلوشیت – **سیستم‌های جداسازی** • ساختار کلی سیستم‌های جداسازی • سیستم‌های جداسازی مایعات • سیستم‌های بازیابی گازها • سیستم‌های آزوتروپیک – **سیستم‌های راکتوری** • بنیان انتخاب راکتور • مسیر واکنش • ساختار جریان برگشتی فلوشیت • ساختار جریان زدایش فلوشیت – **درجه آزادی در طراحی فرآیند** • اصول درجه آزادی در طراحی فرآیندها – درجه آزادی: برج‌های تقطیر، مخلوط کننده‌ها **شبکه مبدل‌های حرارتی (تکنولوژی پینچ)** • میزان حداقل گرمایش و سرمایش موردنیاز • حداقل تعداد مبدل‌های حرارتی و تخمین سطح آن • طراحی حداقل انرژی شبکه مبدل‌های حرارتی • حلقه‌ها و مسیرها، کاهش تعداد مبدل‌ها • منشعب کردن جریان‌ها، انتگراسیون توان و حرارت – **مورد مطالعاتی** • طراحی سیستم بازیابی حلال (سیستم جذب و دفع) • فرآیند HDA (هیدروآلکیلاسیون) تولوئن برای تولید بنزن	* Smith, R., “Chemical Process Design”, Mc Graw-Hill, 1995 * Douglas, J.M,” Conceptual Design of Chemical Processes”, Mc Graw-Hill, 1988

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۹	بهینه‌سازی فرآیندها	**هدف درس:** هدف از این درس، ایجاد مهارت کافی در دانشجویان در بهینه‌سازی مسائل مهندسی شیمی می‌باشد. مطالب ارائه شده در این درس کمک خواهد کرد تا دانشجویان بتوانند بر مبنای مدل‌سازی، تعریف تابع هدف و یافتن روشی جهت بهینه‌سازی استاتیکی و دینامیکی عمل کنند. **سرفصل مطالب:** • مقدمه‌ای بر فرمولاسیون در بهینه‌سازی • پشتوانه ریاضیاتی • بهینه‌سازی نامقید استاتیک • بهینه‌سازی مقید استاتیک • بهینه‌سازی دینامیکی • کاربردها و موارد موردمطالعه • موارد پیشرفته	⁎Rao, S.S., " Optimization, Theory & Applications", 3rd Ed., Wiley Eastern Ltd., Reprint: 2004. ⁎ Edgar, T.F. and D.M.Himmelblau, " Optimization of Chemical Processes", McGraw-Hill Int.,1984. ⁎ Denn, M.M., " Optimization by Variational Methods", McGraw-Hill, NY, 1969. ⁎ Pontryagin, L.S., et al," The Mathematical Theory of Optimal Processes", Wiley & Sons, NY,1962. ⁎ Pike, R.W., " Optimization for Engineering Systems", Van Nostrand Reinhold Co. Inc., 1986. NY,inc,1999
۱۰	کنترل دیجیتال	• تبدیل z • تابع انتقال پالسی برای سیستم‌های پیوسته • پاسخ مداربار • تحلیل پایداری • پاسخ مداربسته • طراحی کنترلر با روش‌های انتقالی • فضای حالت • طراحی مشاهده‌گر و کالمن فیلتر • طراحی کنترلر در فضای حالت • کنترل بهینه	⁎Discrete- time Control Systems, Ogata ⁎.Digital Control System Analysis and Design, Phillips ⁎.Computer-Controlled Systems, Astrom ⁎.Computer Process Control, Deshpande.

دانشگاه فردوسی مشهد
شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۱۱	کنترل بهینه و کنترل مدرن	• مقدمه‌ای بر کنترل‌کننده‌های پیشرفته • کنترل‌کننده‌های ابشاری، پاسخ پس‌خور، نسبتی، غالبی ((override، کنترل‌های پیش‌بین smith predictor) • مدل‌سازی و تشخیص سیستم‌های دینامیک، روش فضای حالت • پایداری و سنتز حالت پیش‌خور • تخمین کننده‌های حالت (مشاهده‌گرها) • کنترل بهینه	⁎Stephanopoulos, G., Chemical Process Control; Stephanopolous, Prentice-Hall, 1984. Ogunaaike, B.A. and W.H. Ray, Process Dynamics, Modeling and Control, Oxford University Press, 1994. ⁎ Romagnoli, J.A. and A. Palazoglu, Introduction to Process Control, Taylor and Francis, 2006. ⁎Seborg, D.E., T.F. Edgar and D.A. Mellichamp, Process Dynamics and Control, 2nd ed., Wiley, 2004. rd ed., Wiley,2005. ⁎Luyben, M.L. and W.L. Luyben, Essentials of Process Control, Mc Graw Hill, 1997. ⁎ Ogata, K., Modern Control Engineering, 4th ed., Prentice-Hall Inc.,2002. ⁎Anderson, B.D.O. and J.B. Moore, Linear Optimal Control, Upper Saddle River, NJ: PrenticeHall Inc.,1971 ,NY: Mc Graw Hill, 1965. ⁎Cheng, D.K., Analysis of Linear Systems, Reading MA: Addison –Weseley Publishing Co. 1959. ⁎ Kailath,T., Linear Systems, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall Inc.,1971.
۱۲	شبیه‌سازی و تحلیل فرآیندها به‌صورت شیءگرایی	• هدف و انگیزه از شبیه‌سازی فرآیند و روش‌های گوناگون شبیه‌سازی فرآیندها • مدل‌های مختلف مورداستفاده در شبیه‌سازی فرآیندها (جعبه سفید، جعبه سیاه و مدل هیبرید • موارد و موضوعات کلی تشخیص سیستم • مقدمه‌ای بر برنامه‌نویسی شیءگرایی • اجرا و واحدهای مختلف یک شبیه‌ساز فرآیند • پیش‌بینی خواص ترموفیزیکی و محاسبات تعادلی • مقدمه‌ای بر Hysys به‌عنوان یک شبیه‌ساز فرآیند شی گرا	⁎Smith, Pike and Murrel: “Formulation and Optimization Of Mathematical Models” ⁎ Brown: “Object Oriented Analysis” Prentice -hall, 1997 ⁎ Mah: “ Chemical Process Structures And Information Flows” Prentice-Hall, 1992 ⁎Ljung: “System Identification, Theory for the users” Prentice Hall 1986.

۱۳	افزایش مقیاس در فرآیندهای شیمیایی	• مقدمه‌ای بر افزایش مقیاس • موارد بنیادی افزایش مقیاس: تحلیل ابعادی: نظریه‌های شباهت و تقریب (similitude and approximation theory)، مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی • تحلیل ابعادی در غیاب مدل‌سازی ریاضی، اعداد بی‌بعد با خواص فیزیکی متغیر • مثال‌هایی از افزایش مقیاس در عملیات واحد مکانیکی، عملیات انتقال جرم و حرارت و راکتورهای شیمیایی	⁎ M Zlokarnik, "Scale-up in Chemical Engineering", Wiley-VCR, 2002 ⁎ A., Bisio and R.L. Kable, "Scale-up of Chemical Processes", Wiley-Interscience, 1985
۱۴	کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و هوش مصنوعی در مهندسی شیمی	• سیستم‌های تجربی و گسترش آن‌ها با بانک‌های اطلاعاتی مربوطه • منطق فازی به‌صورت عمومی و کنترل و بهینه‌سازی با استفاده از منطق فازی • شبکه‌های عصبی مختلف و کاربرد آن‌ها در تشخیص فرآیندها و کنترل کردن آن‌ها	⁎The Handbook Of Applied Expert Systems by: J. Liebowitz, CRC Press ⁎Fuzzy Expert Systems And Fuzzy Reasoning by: W. Siler, J. J. Buckly, Wiley InterScience 2005 ⁎Intelligent Control Systems by: Gupta, Sinha, IEEE Press, 1997 ⁎Neural Networks by Hayking, IEEE Press 1996 ⁎Mathematical Methods Of Neural Networks by Golden, CRC Press, 1997.

جدول ۸-۴-سرفصل و نحوه ارزیابی دروس ارائه شده در دانشگاه‌های مختلف بر اساس مصوب وزارت علوم

ردیف	نام درس	سرفصل	منابع
۱	طراحی تجهیزات فرایند	• استانداردها و کدها طراحی تجهیزات فرآیند استانداردهایی همچون: ASTM, ASME, API • طراحی انواع تانک‌های ذخیره‌سازی کروی و استوانه‌ای– انتخاب نوع مخزن ذخیره برحسب ماده، طراحی پایه مخزن، انتخاب جنس ساخت، طراحی تجهیزات جانبی موردنیاز • طراحی برج‌های تقطیر و استخراج انتخاب شرایط عملیاتی، انتخاب ماده مبرد و ماده حرارت دهنده، جایگاه استفاده از مبدل‌های فناوری پینچ پمپ حرارتی، طراحی دمایی و مکانیکی میعان کننده و جوش‌آور برج، محاسبه پارامترهای اندازه‌ای برج، طراحی پارامترهای مکانیکی، طراحی تجهیزات جانبی موردنیاز، طراحی نازل‌های مخزن • طراحی مخازن و درام‌ها (Drum) کاربرد مخازن و درام‌ها در فرایند، طراحی فرایندی مخازن و درام‌ها بر اساس نصب افقی یا عمودی • استفاده از نرم‌افزارهای مجموعه Aspen Tech جهت طراحی برج و مبدل حرارتی	• D.W. Green and R. H. Perry, "Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th Ed., Mc Graw Hill, 2008. • J. R. Couper and S. M. Walas, Chemical Process Equipment, 3rd Ed., Elsevier, 2010. • C. Malthews, Engineers Guide to Pressure Equipment'', Professional Engineering Publishing Limited, 2001. • Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Butterworth-Heinemann, 3rd Ed., Vol. 6, 1999. • E. Ludwig, "Applied Process Designing for Chemical and Petrochemical Plants", 3rd Ed., Gulf, 1999

۲	طراحی پایه و تفصیلی فرآیندهای شیمیایی	• مراحل طراحی فرایندهای شیمیایی • طراحی از نظر کلی، تشریح فرآیندهای تولیدی شیمیایی، سازمان‌دهی در یک فرآیند مهندسی شیمی، طبقه‌بندی مدارک و مستندات پروژه، کدها و استانداردها، فاکتورهای اصلی در ایمنی، واحدهای اندازه‌گیری، درجه آزادی در طراحی، بهینه‌سازی • مبانی طراحی پروژه، نمودار جریان فرآیندی، دیاگرام لوله‌کشی و ابزار دقیق، خطوط لوله و ابزار دقیق، جانمایی، دستورالعمل راه‌اندازی و بهره‌برداری • مدارک مهندسی تفصیلی • نقشه‌های تفصیلی اجرایی، مشخصات فنی، درخواست خرید تجهیزات، خدمات مهندسی • مبانی طراحی و ترسیم نقشه‌های پایه‌ای فرآیندی • نمودار جریان فرآیندی (PFD)، نمودار جریان بلوکی (BFD)، محاسبات جانمایی کل واحد • مبانی طراحی و ترسیم نمودارهای لوله و ابزار دقیق (P&ID) • نمادها، انتخاب شیرها، افت فشار در لوله‌ها و محاسبات اندازه خطوط • جداول اطلاعاتی تجهیزات ابزار دقیق فرآیندی، جداول اطلاعاتی تجهیزات دوار و ثابت فرآیند	• D. W. Green and R. H. Perry, ‘‘Perry’s Chemical Engineers’ Handbook, 8nd Ed., McGraw Hill, 2008. • C. R. Branan, ‘‘Rules of Thumb for Chemical Engineers’’, 4nd Ed., Gulf Professional Publishing, 2005. • R. K. Sinnott, ‘‘Coulson & Richardson's Chemical Engineering series-Chemical Engineering Design’’, Butterworth-Heinemann, 4nd Ed., Vol. 6, 2005.

۳	بازیافت انرژی در فرایندهای شیمیایی	• مقدمه • تاریخچه آنالیز پینچ، درجه‌بندی طراحی فرآیند، سرمایه‌گذاری در شبکه مبدل‌های حرارتی و تأسیسات جانبی • اصول بازیافت حرارتی، بازیافت حرارتی در فرآیندهای چند جریانه، منحنی‌های ترکیبی و پینچ • روش‌های طراحی شبکه مبدل حرارتی جهت دستیابی به اهداف انرژی • نمودارهای شبکه مبدل حرارتی، روش طراحی پینچ، مسائل آستانه‌ای، پینچ ترکیبی • طراحی و آنالیز سامانه‌های پشتیبانی فرآیند • منحنی‌های ترکیبی گرند (Grand Composite)، انتخاب سامانه‌های پشتیبانی، انتگراسیون حرارتی موتورها و پمپ‌های گرمایی، پینچ بازیافت انرژی، الگوریتم محاسباتی برای یافتن اهداف انرژی • حداقل‌سازی تعداد مبدل‌های حرارتی، حداقل‌سازی سطح و تعداد پوسته در مبدل حرارتی، بهینه‌سازی شبکه مبدل، طراحی شبکه یا معیارهای هزینه‌ای متفاوت. • ابزارهای طراحی شبکه مبدل حرارتی • مطالعات رتروفیت • مسائل رتروفیت، مشخصات داده‌ای فرآیند، محرک‌ها و اهداف رتروفیت، آنالیز اقتصادی و روش طراحی، استفاده بازیافت مبدل حرارتی در رتروفیت • تأثیر افت فشار در تعیین سطح مبدل، طراحی Grass-Root، رتروفیت برای ذخیره‌سازی • انرژی، رتروفیت برای شکستن محدودکننده‌های فرآیندی • انتگراسیون حرارتی واحدهای عملیاتی • راکتورها، برج‌های تقطیر، تبخیرکننده‌ها، خشک‌کن‌ها، پمپ‌های حرارتی و یخچال‌ها	• Chemical and Process Integration’’, Butterworth-Heinemann Press, 2nd Edition, 2007. • W. O. Sieder, S. D. Scade and D. R. Lewin, ‘‘Process Design Principles’’, John Wiley. 2004. • R. Smith, ‘‘Chemical Process Design’’, McGraw Hill, 1nd Ed., 1995.

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۴	آنالیز اکسرژی فرآیندهای شیمیایی	• مقدمه • تاریخچه آنالیز اکسرژی، جایگاه کاربرد اکسرژی در فرآیندهای شیمیایی • بررسی کیفی اکسرژی • مثال‌های فیزیکی، تعاریف اصول حاکم بر اکسرژی، مفاهیم قانون دوم ترمودینامیک، نمودارهای انتروپی- درجه حرارت • اصول آنالیز اکسرژی • تغییرات اکسرژی از انتالپی، نگرش "از میان واحد"، فرمول دما، فرمول فشار، فرمول برای اختلاط و جداسازی، راندمان قانون دوم • آنالیز اکسرژی تجهیزات عملیاتی • آنالیز اکسرژی مصرف‌کننده انرژی (تجهیزات انتقال سیال) و تولیدکننده کار (توربین)، آنالیز اکسرژی مبدل‌های حرارتی و کوره‌ها، آنالیز اکسرژی برج‌های تقطیر، جذب و استخراج • آنالیز اکسرژی واکنش‌ها و راکتورها • هدر رفت‌های قابل‌اجتناب و غیرقابل‌اجتناب • هدر رفت‌های غیرقابل‌اجتناب راکتورها و تجهیزات فرآیندی، هدر رفت‌های قابل‌اجتناب تجهیزات فرآیندی، جلوگیری از هدر رفت‌ها با صرف هزینه‌های سرمایه‌گذاری محدود • آنالیز اکسرژی فرآیندهای شیمیایی • آنالیز اکسرژی فرآیند رطوبت زنی و خشک‌کردن، آنالیز اکسرژی نیروگاه‌های حرارتی، آنالیز اکسرژی فرآیندهای سرما ساز، آنالیز اکسرژی فرآیندهای نفتی	• I. Dineer and M. A. Rosen, ‘‘Exergy: energy, environment, and sustainable development’’, Elscvier Press, 1nd Ed., 2007. • J. Szargut, ‘‘Exergy Method: Technical and Ecological Applications’’, WIT Press, Southampton, Boston, 2005. • C. J. Cleveland, ‘‘Encyclopedia of Exergy’’, Elsevier Press, 2nd Ed., 2004.

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۵	بهینه‌سازی	• مقدمه • مفاهیم اولیه در بهینه‌سازی (متغیر طراحی، تابع هدف، انواع فیود، بهینه‌سازی پیوسته و بهینه‌سازی گسسته، بهینه‌سازی محلی و بهینه‌سازی سراسری، بهینه‌سازی با اعمال قید و بدون اعمال قید، مسائل خطی و غیرخطی، الگوریتم‌های بهینه‌سازی، درجه آزادی در حل مسائل بهینه‌سازی، بهینه‌سازی از طریق طراحی آزمایش‌ها، نمودارهای کانتور (هم پاسخ)، مروری بر عملیات ماتریسی، اکسترمم توابع، تقعر، ماتریس هسین • بهینه‌سازی بدون اعمال قید • بهینه‌سازی بدون قید یک بعدی، روش‌های مستقیم برای مسائل یک بعدی (سرعت همگرایی، روش نیوتن، روش سکانت)، بهینه‌سازی بدون قید چندبعدی، روش‌های تکراری برای مسائل چندبعدی، روش‌های مستقیم برای مسائل چندبعدی (روش جستجوی Simplex، روش جستجوی تک متغیره، روش جستجوی مزدوج، روش پاول، روش‌های غیرمستقیم برای مسائل چندبعدی (روش گرادیان، روش نیوتن، روش سکانت) • بهینه‌سازی با اعمال قید • روش لاگرانژ، شرط لازم و کافی برای قیود تساوی و ناتساوی، تعبیر ترسیمی شرایط لازم و کافی • برنامه‌ریزی خطی • برنامه‌ریزی خطی از دیدگاه هندسی، روش سیمپلکس، روش سدی، تحلیل حساسیت، کاربرد نرم‌افزار Excel در برنامه‌ریزی خطی • برنامه‌ریزی غیرخطی با قید • روش جایگزینی مستقیم، روش تعمیم‌یافته کاهشی گرادیانی، روش تابع پنالتی، روش سدی، روش افزایشی لاگرانژی، برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی • برنامه‌ریزی روی اعداد صحیح یا مخلوط اعداد صحیح و پیوسته • فرمول‌بندی مسئله به‌صورت NLP، فرمول‌بندی مسئله به‌صورت برنامه‌ریزی روی اعداد صحیح، روش شاخه و مرز، برنامه‌ریزی خطی روی مخلوط اعداد صحیح و پیوسته، برنامه‌ریزی غیرخطی روی مخلوط اعداد صحیح و پیوسته • مثال‌های کاربردی بهینه‌سازی در مهندسی شیمی و استفاده از نرم‌افزار MATLAB	• K. J. Beers,''Numerical Methods for Chemical Engineering Applications in MATLAB'', Cambridge University Press, 2007. • S. S. Rao, ''Optimization Theory and Applications'', 2nd edition, John Wiley & Sons, New Delhi, 2004. • T. F. Edgar, D. M. Himmelblau, and L. S. Lasdon, ''Optimization of Chemical Processes'', 2nd ed., Mc Graw-Hill, New York, 2001. • J. Nocedal and S. J. Wright, ''Numerical Optimization'' Secaucus, N. J., Springer-Verlag, NY, 1999. • L. S. Pontryagin and V. G. Boltyanskii. Gamkrelidze R. V., Mishchenko E. F., ''The Mathematical Theory of Optimal Processes'', Wiley & Sons, NY, 1962. • R. W. Pike,''Optimization for Engineering Systems'', Van Nostrand Reinhold Inc., 1986.

۶	افزایش مقیاس در فرآیندهای شیمیایی	• اصول و مبانی روش‌های افزایش مقیاس • آنالیز ابعادی و تئوری مدل‌ها، محدوده کاربردپذیری آنالیز ابعادی، تئوری تقریب و تشبیه، مدل‌سازی و شبیه‌سازی ریاضی، مهارت‌های آزمایشگاهی در فرآیند افزایش مقیاس • گروه‌های بدون بعد • تئوری Buckingham، ایجاد گروه‌های بدون بعد به‌صورت فضای π، ارتباط فیزیکی فرآیند یا فضای π آنالیز ابعادی با استفاده مدل‌های ریاضی • توضیح اصول و مبانی، تعریف کمیت‌های مرجع، بازنویسی معادلات در قالب گروه‌های بدون بعد، اثرگذاری ابعاد فیزیکی، شرایط عملیاتی و رژیم جریان بر تغییر ماهیت معادلات ریاضی، افزایش مقیاس در شرایط تشابه جزئی، ارائه مثال‌های صنعتی • آنالیز ابعادی در غیاب مدل‌های ریاضی • گروه‌های بدون بعد یا خواص فیزیکی ثابت، گروه‌های بدون بعد یا خواص فیزیکی متغیر، نحوه اثرگذاری نوابت فیزیکی و شیمیایی بر فرآیند افزایش مقیاس، تقلیل خطا در فرآیند افزایش مقیاس، بهینه‌سازی شرایط انجام فرآیند با توجه به ملاحظات افزایش مقیاس، ارائه مثال‌های صنعتی • ارائه مثال‌هایی صنعتی از افزایش مقیاس تجهیزات فرآیندی در مهندسی شیمی • فرآیندهای عملیات واحد، انتقال جرم، انتقال حرارت و راکتورهای شیمیایی	• M., Zlokarnik, "Scale-up in Chemical Engineering", Wiley-VCR, 2006. • A., Bisio and R. L. Kable, "Scale-up of Chemical Processes", Wiley-Interscience, 1985.
۷	مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی	• مقدمه • تعاریف و کاربردهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی • روش‌های عددی حل معادلات جبری • فصل دوم: مدل‌سازی و شبیه‌سازی راکتورهای شیمیایی • راکتورهای ناپیوسته، راکتورهای پیوسته، راکتورهای با بستر ثابت کاتالیستی، بیو راکتورها • مدل ریاضی موازنه انرژی و مواد در برج‌ها • برج جداسازی بوتان در پالایشگاه • برج‌های جداسازی در واحد اولفین • مدل‌سازی و شبیه‌سازی کوره‌ها و دیگ‌های بخار • کوره‌های شکست حرارتی، کوره‌های پالایشگاهی، دیگ‌های بخار • مدل‌سازی مبدل‌های حرارتی • مبدل‌های پوسته و لوله • مبدل‌های دو لوله • مبدل‌های پرشده با بستر ثابت و متحرک	• Chemical Process Modelling and Computer Simulation, Amiya Jana, PHI, 2008 • Theoretical Chemical Engineering: Modelling and Simulation, Christo Boyadjieve, 2010. • Chemical Engineering: Modelling and Simulation and Similitude, T. G. Dobre, J. G. S. Marcano, Wiley-VCH, 2007. • Process Plant Simulation, B. V. Babu, Oxf. Univ. Press, 2004.

۸	ایمنی در صنایع شیمیایی	• ایمنی فرآیندهای شیمیایی • برنامه‌های ایمنی، ریسک قابل‌قبول، ماهیت حوادث، ایمنی ماندگار و حوادث بزرگ • مواد خطرناک و شرایط خطر • اشتعال‌پذیری، مثلث آتش، احتراق، انفجار، الکتریسیته ساکن، تمایل به واکنش، سمی بودن • آنالیز ایمنی در فرآیند • آنالیز خطر، آنالیز ریسک • منابع تولید احتراق • احتراق توسط شعله، احتراق اتوماتیک، منبع الکتریکی، منبع فیزیکی، واکنش‌های شیمیایی • خطرات سامانه‌های الکتریکی • تجهیزات الکتریکی، تجهیزات روشنایی، اتصال به زمین، دسته‌بندی مناطق خطر الکتریکی • طراحی تجهیزات ایمنی و عملکرد ایمن • طراحی سامانه‌های تخلیه فشار، طراحی وسایل تخلیه اضطراری در شرایط خطر، مانع شعله احتراقی و انفجاری (Deflagration and Detonation Flame Arresters)، طراحی سامانه‌های انتقال و ذخیره مواد خطرناک، سامانه‌های دفع مواد خطرناک. • عوامل مؤثر بر انتشار مواد سمی، مدل‌های انتشار شناور خنثی، انتشار گازهای سنگین، • طراحی در راستای جلوگیری از آتش و انفجار • خنثی‌سازی، سامانه‌های تخلیه فشار و مواد در شرایط خطر، تجهیزات ضد انفجار، تعویض هوای محیط، سامانه‌های آتش‌نشانی • چک‌لیست مخاطرات فرآیند، ارزیابی مخاطرات، مطالعات HAZOP (آنالیز مخاطرات و قابلیت بهره‌برداری)، کنترل ایمنی فرآیند	• D. W. Green and R. H. Perry, ‘‘Perry’s Chemical Engineers’ Handbook, 8nd Ed., McGraw Hill, 2008. • ‘‘Guidelines for Risk Based Process Safety’’,Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 2007. • D. A. Crowl and J. F. Louvar, ‘‘Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications’’, 2nd Ed., Prentice Hall, 2002.

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۹	پدیده‌های انتقال	مکانیک سیالات: • سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی و استاتیک سیالات • جریان سیال و معادلات حرکت • سیالات تراکم‌ناپذیر • انتقال و اندازه‌گیری سیالات انتقال حرارت: • انتقال حرارت هدایتی • انتقال حرارت جابجایی • انتقال حرارت همراه با تغییر فاز انتقال جرم: • کلیات فرآیندهای انتقال جرم • نفوذ مولکولی در سیالات • ضرایب انتقال جرم و انتقال جرم در فصل مشترک فازها	• Transport Phenomena, R. B. Bird, John Wiley & Sons (2007). • Unit Operations of Chemical Engineering, W. L. McCabe W, J. C. Smith, P. Harriott McGraw-Hill (1985). • Mass Transfer Operation, R. E. Treybal, McGraw-Hill (1982). • Heat Transfer, J. P. Holman, McGraw (1981). • Fluid Mechanics, V. L. Streeter, McGraw-Hill (1979).

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۱۰	ترمودینامیک پیشرفته	• مروری بر قوانین و فرضیه‌های ترمودینامیک کلاسیک: قوانین اول، دوم و سوم ترمودینامیک، فرضیه‌های ترمودینامیک از دید کالن (callen) • ترمودینامیک کلاسیک تعادلات فازی: کاربرد ترمودینامیک در تعادلات فازی، سامانه‌های هموژنه بسته، • خواص ترمودینامیکی از داده‌های حجمی: خواص ترمودینامیکی با متغیرهای مستقل P و T، فیوگاسیته یک جزء در یک مخلوط با فشارهای معمولی، فیوگاسیته یک مایع و یک جامد خالص، خواص ترمودینامیکی با متغیرهای مستقل V و T، فیوگاسیته یک جزء در یک مخلوط با استفاده از معادلات حالت حجمی، تعادلات فازی با استفاده از خواص حجمی سیالات. • مقدمه‌ای بر نیروهای اندرکنشی مولکولی و تئوری حالت‌های متناظر بر نیروهای اندرکنشی، • فیوگاسیته مخلوط‌های گازی: قانون لوییس- فیوگاسیته- معادله حالت ویریان، محاسبه ضرایب ویریال از توابع انرژی پتانسیل مولکولی ضرایب ویریال از روابط تجربی حالت‌های متناظر • فیوگاسیته در مخلوط‌های مایعات (توابع مازاد): محلول ایده‌آل، روابط اساسی توابع مازاد، اکتیویته و ضرایب اکتیویته، نرمالیزه نمودن ضرایب اکتیویته، ضرایب اکتیویته محلول‌های دوجزئی با استفاده از توابع مازاد گیبز، کاربرد معادله گیبز- دوهم برای به دست آورده ضرایب اکتیویته، سازگاری داده‌های آزمایشگاهی معرفی معادلات ویلسون NRTL و UNIQUAC، • تئوری‌های محلول‌ها: تئوری وان لارف تئوری- Hildebrand Scatchard، محاسبه انرژی از خواص مولکولی، تئوری فلوری- هاگینز، ضرایب اکتیویته محلول‌های مجتمع (Associated) • تعادلات فازی در فشارهای بالا: رفتار فازی در فشارهای بالا، آنالیز ترمودینامیکی، محاسبه تعادلات بخار و مایع در فشارهای بالا، تعادلات مایع، مایع و گاز- گاز.	• Thermodynamics, H. B. callen. John wlley & Son. • Molecular Thermodynamics of Fluid- Phase Equilibris, Second Edition, J. M. Prausnitz, R. N. Lichtenthaler, E. Gomes De Azevedo, Prentice- Hall. • Thermodynamics, 2Nd Ed., Revised by K. S. Pitzer And L. Brewer, McGrae- Hill Newyork. • The Principles Of Chemical Equilibrium, K. Denbigh, Cambridge Univ. Perss (3rd Ed). • Classical Themodynamics of Non-Electrolyte Solutions, H. C. Van Ness, Pergomon Press. • Thermodynamics And Its Applications, M. Modell And R. C. Reid, Prentice Hall Inc.

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۱۱	طراحی راکتور پیشرفته	• مروری بر سینتیک واکنش‌ها و طراحی راکتورهای تک فاز • اثرات دما و فشار در راکتورها: وابستگی سرعت واکنش به دما، درجه حرارت بهینه برای راکتورهای هم‌دما، اثرات فشار • مدل‌های توزیع زمان اقامت در راکتورها، راکتورهای ناکامل • راکتورهای ناپایدار: حالت گذر در راکتورهای مخلوط، راکتورهای لوله‌ای و غیره. • تئوری‌های انتقال جرم در سامانه‌های چند فازی • سینتیک واکنش‌های چند فازی • بررسی واکنش‌های چند فازی در راکتورهای ایده‌آل و ناکامل • طرح راکتورهای ناهمگن: کاتالیزورهای ناهمگون • ضرایب تیل (Thiele) و تأثیر عامل مؤثر (Effectiveness) در کاتالیزورهای جامد با اشکال هندسی مختلف • انتقال حرارت و جرم در کاتالیزورهای جامد متخلخل، طراحی راکتورهای کاتالیزوری	• Chemical Reaction Engineering O. Levenspiel (۸/۱۱/۱۴ Chapters) • Chemical Engineering Kinetics. G. M. Smith (۱۰/۱۳) Chapters. • Fundamentals of Chemical Reaction Engineering C. D. Holland, R. G. Anthony (۱۱ Chapter) • Chemical Reactor Design, E. B. Nauman (۴/۱۱ Vhapters) • Chemical Reactor With Chemical Reaction G. Astarita (۲/۶ Chapters).
۱۲	ریاضیات مهندسی پیشرفته	• مروری بر تبدیل اپراتورها در سامانه‌های مختصات مختلف، انواع شرایط مرزی و انواع معادلات دیفرانسیل در مهندسی شیمی • مروری بر ماتریس‌ها و خواص آن‌ها، تئوری اپراتور جهت حل دستگاه‌های معادلات دیفرانسیل • مروری بر خواص حل معادلات خاص با ضرایب متغیر (معادلات بسل، لژاندر، لاگرانژ، هرمیت و جیبی شر) و بسط به سری‌های متعامد. • حل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای • جداسازی متغیرها، تبدیل معادلات غیر همگن، تبدیل شرایط مرزی همگن، نحوه حذف ترم‌ها جابجایی و منبع در معادلات دیفرانسیل پاره‌ای، روش‌های تبدیل انتگرالی (تبدیل سینوسی فوریه و تبدیل کسینوسی فوریه، تبدیل محدود سینوسی و محدود کسینوسی، تبدیل لاپلاس، تبدیل هنگل)، استفاده از اصل Duhamel، مسائل بدون بعد، اصل برهم‌نهش (Superposition) و حل مسائل پیچیده خطی، معادلات لاپلاس در مختصات کارتزین (دوبعدی و سه‌بعدی)، حل معادلات لاپلاس در مختصات استوانه‌ای (دوبعدی و سه‌بعدی، حل معادله لاپلاس در مختصات کروی (۲ بعدی)، معادله پواسون. • استفاده از روش‌های تابع گرین (Green) جهت حل معادلات دیفرانسیل معمولی و پاره‌ای در مهندسی شیمی.	• Partial Differential Equations for Scientists And Engineers, S. J. Farlow, John- Wiley & Sins, Inc./ N. Y., 1982. • Mathematical Methods In Chemical Engineering/ V. G. Jenson & G. V. Jeffreys, Acadamic Press, N. Y., 1972. • Mathematical Methods In Chemical Engineering/ Vd./ & 2, R. Aris And N. R. Amundson, Prentic- Hall, Inc./ N. J./ 1937. • Partial Differntial Equations. P. Duchateau. And D. W. Zachmann, Mc Graw- Hill, Inc/ N. Y./ 1986.

۱۳	محاسبات عددی پیشرفته	• مقدمه: معادلات دیفرانسیل در مهندسی شیمی، تقسیم‌بندی معادلات، کمبود روش‌های تحلیلی حل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای غیرخطی. • حل معادلات دیفرانسیل خطی: روش گوس (Gauss)، گوس جردن (Gauss- Jordan)، سامانه‌های سه قطری (Tri-diagonal)، روش معکوس ماتریس‌ها و غیره. • روش‌های درون‌یابی و انتگرال: روش‌های درون‌یابی چندجمله‌ای (Polynomial)، روش مکعب Spline روش درون‌یابی دوبعدی و سه‌بعدی، روش‌های انتگرال (Bracketing & Bisection)، نیوتون رفسون (Newton- Raphson) و غیره. • روش تفاوت محدود (Finite Difference): معادلات معمولی ارزش مرزی، معادلات دیفرانسیلی حاکم بر پدیده‌های انتقال، روش‌های بسط معادلات (Discretization)، روش‌های Shooting، روش‌های Relaxation، حل معادلات هدایت گرمایی، مش‌بندی (Grid Spacing)، شرایط فلوی مرزی مشترک، روش‌های صریح و ضمنی، جریان‌های دوبعدی و سه‌بعدی در انتقال حرارت، حل معادلات دیفرانسیل با عبارت‌های جابجایی، روش‌های Upwind، Hybrid، Power، Exponential، حل معادلات مکانیک سیالات به روش تفاوت محدود، عبارت افت فشار در معادله حرکت و غیره. • روش المان‌های محدود (Finite Element)، متد گالرکین (Galerkin)، متد باقیمانده‌های وزنی (weighted residuals)، متد Collocation، متد Moment، روش‌های بسط معادلات (Discretization) متد صریح و ضمنی، روش‌های انتگرال زمانی، روش حل معادلات ناویر استوکس و غیره.	• Principles of Computational Fluid Dynamics (Springer Series in Computational Mathematics) by Dr. Ir. Pieter Wesseling, 2009. • Numerical Methods for Chemical Engineers with MATLAB Applications by Alkis Constantinides and Navid Mostoufi (Paperback- Apr. 26, 1999). • Numerical Solution of Partial Differential Equations in Science and Engineering, L. Lapidus and C. F. Pinder/ Wiley and Sons, New York, 1982.

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

۱۴	مکانیک سیالات پیشرفته	• سینماتیک (خطوط جریان، خطوط مسیر (Streaklines)، مختصات اولری (Eulerian) و لاگرانژی (Lagrangian)، مشتق ماده (Material Derivative)، تئوری انتقالی رنولدز (Reynolds Transport Theory). • معادلات اساسی مکانیک سیالات: معادل پیوستگی، توابع جریان در مختصات کارتزین، استوان‌های و کروی، معادله حرکت، سیالات کاملاً چسبنده، معادله انرژی، معادله برنولی. • معادله ناویه استوکس (Navier- Stokes) • انشقاق معادله، فرم بدون بعد معادله، آنالیز بعدی و مشابه‌سازی. • سیالات غیر نیوتونی: نقش رئولوژی در مکانیک سیالات پیوسته، تقسیم‌بندی رفتار سیالات، وابستگی سیالات غیر نیوتونی به زمان معادلات قانونمند سیالات (constitutive Equation) • جریان سیالات با عدد پایین رنولدز: معادله استوکس (Stokes)، تقریب جریان خزنده (Creeping) • تئوری روان‌کاری (Lubrication Theory) • جریان‌های غیر چسبنده (Inviscid): معادله اولر، تابع جریان و گرداب (Vorticity) و جریان پتانسیل دوبعدی، تابع پتانسیل، انطباق جریان پتانسیل، جریان یکنواخت، منبع، گرداب (Vortex)، جریان اطراف استوانه، جریان اطراف کره و غیره. • تئوری لایه مرزی: تعاریف ضخامت‌های لایه مرزی، معادلات لایه مرزی، تقریب انتگرال مومنتوم (آنالیزوان کارمن)، جریان در یک صفحه مسطح (آرام و متلاطم)، جدایی لایه مرزی و غیره. • جریان متلاطم: معادله متوسط زمانی پیوستگی، تنش‌های رینولدز، گران‌روی Eddy، جریان متلاطم در لوله، تئوری K-E جریان متلاطم، جریان متلاطم لایه مرزی. • جریان اجسام غوطه‌ور: نیروهای درگ (Drag) و بالاتر (Life)، دراگ اجسام متقارن دوبعدی و سه‌بعدی، درگ جریان آرام و متلاطم. • جریان دوفازی: الگوهای مختلف جریان دوفازی، جریان صفحات موازی، جریان در لوله، روش Lockhart-Martinelli	• Transport Phenomana, Brid, Stewart, Lightfoot, Wiley (۴،۳،۲ Chapters) • Fluid Mechanics, F. m. White, Second Edition, Mc Graw- Hill (۸،۷،۶،۵،۴،۳ Chapters) • Process Fluid Mechanics, M. M. Denn, Peentice- Hall (۱۸،۱۶،۱۳،۱۲،۱۱ Chapters) • Vectors, Tensors. And The Basic Equations of Fluid Mechanics, R, Aris (۴،۳،۲،۱ Chapters) • Fundamental Mechanicsof Fluids, I. G. Curric, Mc Graw-Hill (۳،۲،۱ Chapters) • Boundary Layer Theory, Schlichting, 7th Edition.

۱۵	انتقال حرارت پیشرفته	• فرمولاسیون کلی، انتگرال و دیفرانسیل: مروری بر تعاریف قوانین عمومی، فرمولاسیون انتگرال و دیفرانسیل معادله هدایت، شرایط اولیه و شرایط مرزی، روش فرمولاسیون، معادله انرژی (معادله تغییرات). • روش‌های حل (استفاده از معادله انرژی): مسائل در حالت پایدار یک بعدی هدایت، پره، ترموکوپل اصل انطباق، سری‌های توانی، تابع بسل و خواص آن، سطوح توسعه‌یافته (پره‌ها، پره‌های میخی و مارپیچ). • مسائل دوبعدی و سه‌بعدی در حالت پایدار: جداسازی متغیرها، تابع اورتوگونال، مسائل ارزش مرزی، مسائل ارزش مشخصه اورتوگونالیته، تابع مشخصه، بسط یک تابع در یک سری تابع اورتوگونال، سری فوریه، حالت دوبعدی سیلندری پایدار، حل به روش سری فوریه، حالت سه‌بعدی پایدار. • مسائل در حالت ناپایدار- لاپلاس • جابجایی: به دست آوردن معادلات انرژی، مومنتم و پیوستگی، معادلات انرژی، مومنتم پیوستگی در مورد لایه مرزی، جابجایی اجباری در جریان آرام، حل مسائل از طریق مشابهت، جابجایی اجباری در جریان درهم. • تابشی: مفاهیم فیزیک تابشی، ضریب شکل هندسی، صفحات حقیقی، تابشی گازها	• Transport Phenomena, R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot. • Conduction Heat Transfer, V. S. Arpachi • Conduction Heat Transfer, M. N. Ozisik • Conduction Heat Transfer, L. C. Bumeister • Conduction Heat Transfer, A. Bejan • Conduction Heat Transfer, Kakac and Yener
۱۶	انتقال جرم پیشرفته	• مروری بر نفوذ مولکولی، نفوذ مولکولی در حالت ناپایدار (در کره و در سطح) سازوکار انتقال جرم (مروری بر نظریه دو فیلمی) • نظریه نفوذ عمقی، نظریه نفوذ عمقی با تجدید سطوح اتفاقی، نظریه فیلم، نفوذ عمقی • انتقال جرم در جریان آرام: لایه مرزی روی صفحه سطح، جابجایی آرام در صفحه عمودی، انتقال جرم بین دو جریان همسوی غیرقابل انحلال، انتقال جرم در فیلم سقوط آزاد مایعات، انتقال جرم بین فاز گازی و فیلم سقوط آزاد مایعات در لوله‌ها، انتقال جرم بین دو صفحه سطح موازی انتقال جرم بین دو استوانه هم‌محور. • انتقال جرم در جریان درهم: لایه مرزی در صفحه و سطح، جابجایی طبیعی روی صفحه عمودی انتقال همزمان جرم و حرارت • انتقال همزمان جرم و واکنش شیمیایی • عملکرد را فرمانی دستگاه‌های انتقال جرم، طراحی ستون‌های آکنده، سینی‌دار، مخازن مجهز به همزن، برج‌های خنک‌کننده.	• Transport Phenomena, Bird, Stewart, And Lightfoot, John Wiley • Diffusion: Mass Transfer In Fluid Systems, E. L. Cussler, Cambridge University Press. • Diffusicnal Mass Transfer, by A. H. P. Skelland. • Mass Transfer, by T. K. Sherwood & R. L. Piford Mc grow Hill 1975.

۱۷	مدل‌سازی و مشابه‌سازی	• مقدمه‌ای بر مدل‌سازی و شبیه‌سازی، اهمیت شبیه‌سازی در آنالیز مسائل مهندسی شیمی، سامانه‌های متمرکز (Lumped) و توزیع یافته (distributed)، سامانه‌های حالت پایا و گذار، برنامه‌نویسی چند- سطحی • مروری بر روش‌های عددی حل دستگاه معادلات جبری و دیفرانسیلی • ساختار مدل‌های ریاضی، مدل‌سازی پای‌های، اصول مدل‌سازی، الگوریتم cause-and-effect قلو دیاگرام • ساختار macro- program برای شبیه‌سازی دینامیکی مسائل مهندسی شیمی • محاسبات پای‌های تعادل بخار- مایع شامل نقطه‌جوش، نقطه شبنم، فلش و مایع کردن (condensation)	• R. G. E. Franks, "Modeling and Simulation in Chemical Engineering", Wiley 1972. • W. Luyben, "Modeling, Simulation and Control in Chemical Engineering", 2nd Ed., McGraw-Hill, 1990.
۱۸	بهینه‌سازی	• مقدمه‌ای بر فرمولاسیون بهینه‌سازی • مروری بر ریاضیاتی که دانست آن‌ها برای بهینه‌سازی ضروری است. • روش‌های بهینه‌سازی استاتیکی بدون اعمال قید • روش‌های بهینه‌سازی استاتیکی با اعمال قید • بهینه‌سازی دینامیکی، Variationalapproach • کاربرد و مطالعات موردی • مباحث پیشرفته	• Rao, S. S., ‘‘Optimization, Theory & Applications’’, 3nd Ed., Wiley Eastern Ltd., Reprint: 2004. • Edgar, T. F. and D. M. Himmelblau, ‘‘Optimization of Chemical Processes’’, McGraw-Hill Int., 1984. • Denn, M. M., ‘‘Optimization by Variational Methods’’, McGraw-Hill NY, 1969. • Pike, R. W., ‘‘Optimization for Engineering Systems’’, Van Nostrand Reinhold Co. Inc., 1986.
۱۹	طراحی آزمایش‌ها و تحلیل آماری نتایج	• مقدمه (اهداف درس، جایگاه درس) • تعاریف (آمار توصیفی، فراوانی، توزیع فراوانی،...) • آمار توصیفی • احتمال (تعاریف، آزمایش تصادفی، نمودار، احتمال،..) • توابع احتمال (تابع چگالی احتمال، تابع احتمال توام، • توابع توزیع گسسته (توابع توزیع خاص، تابع یکنواخت، • توابع چگالی احتمال خاص (متغیر تصادفی گاما، توزیع کای دو، توزیع t-student، توزیع فیشر، ...) • آزمون فرض (فرض آماری، انواع آزمون فرض، ناحیه بحرانی، طریقه تعیین ناحیه بحرانی، ...) • طراحی و تحلیل آماری آزمایش (مزایای طراحی بلوک‌بندی، ...) • طراحی فاکتوریل جزئی • طراحی تاگوچی (اصول طراحی، انواع فاکتور، آرایه متعامد، گراف خطی، طرح مخلوط، تحلیل نتایج، ...) • طراحی به کمک نرم‌افزار (آشنایی با نرم‌افزار minitab، انتخاب طرح، ورود داده‌ها، پردازش نتایج، ...)	• D. C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, 2001. • T. S. Ryan, Modern Experimental Design, John Wiley & Sons, 2007. • D. C. Montgomery, G. C. Runger, Applied Statistics and Probability for Engineers, 5th Edition, John Wiley & Sons, 2011. • R. K. Roy, A Primer on the Taguchi Method, Society of Manufacturing Engineers., 1th Edition, 1990.

۲۰	طراحی به کمک کامپیوتر**	• مراحل سنتز فلوشیت و طراحی اولیه • مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی پایا فرآیند • روش تعیین خواص ترمودینامیکی و مدل ترمودینامیکی مناسب • جریان‌های برگشتی و محاسبات همگرایی آن‌ها • موارد طراحی مفهومی فرآیند • طراحی سیستم‌های جداسازی و روش‌های تقطیر • معرفی بانک‌های اطلاعاتی خواص ترمودینامیکی و هندبوک‌های مربوطه	W.D. Seider, J.D. Seader, D.R. Lewin, S. Widagdo, Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Design, Wiley, Last Edition.

**سرفصل این درس مربوط به دانشگاه فردوسی مشهد است. وزارت علوم برای این درس سرفصلی ندارد.

۲-۴-۴ ترسیم ماتریس به‌منظور بررسی نقاط اشتراک و افتراق چارت درسی

در این مرحله ماتریس مربوط به بررسی نقاط اشتراک و افتراق چارت درسی دانشگاه‌های داخلی با دانشگاه فردوسی مشهد آمده است. (جدول ۳-۹ و جدول ۳-۱۰)

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

جدول ۹-۴ - ماتریس مربوط به بررسی نقاط اشتراک و افتراق دانشگاه‌ها

ردیف	نام درس بر اساس چارت مصوب وزارت علوم	دانشگاه صنعتی شریف	دانشگاه تهران	دانشگاه تربیت مدرس	دانشگاه علم و صنعت ایران	دانشگاه صنعتی اصفهان	دانشگاه فردوسی مشهد
۱	طراحی تجهیزات فرایندی	✓		✓	✓	✓	✓
۲	بازیافت انرژی در فرایندهای شیمیایی (تکنولوژی پینچ یا انتگراسیون فرایندها)		✓	✓	✓	✓	✓
۳	بهینه‌سازی	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۴	پدیده‌های انتقال					✓	✓
۵	طراحی راکتور پیشرفته	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۶	محاسبات عددی پیشرفته				✓		✓
۷	مدل‌سازی و مشابه‌سازی (شبیه‌سازی پیشرفته)		✓	✓	✓	✓	✓
۸	طراحی فرایند به کمک کامپیوتر	✓			✓		✓
۹	مکانیک سیالات پیشرفته	✓	✓	✓	✓		
۱۰	انتقال حرارت پیشرفته		✓	✓	✓		
۱۱	انتقال جرم پیشرفته		✓	✓	✓		
۱۲	ترمودینامیک پیشرفته	✓	✓	✓	✓	✓	
۱۳	کنترل فرایند پیشرفته	✓	✓		✓		
۱۴	فرایندهای پالایش پیشرفته		✓				
۱۵	جداسازی چندجزیی		✓				
۱۶	هیدرودینامیک بسترسیال		✓				
۱۷	طراحی و آنالیز راکتورهای کاتالیستی		✓				
۱۸	انرژی‌های پایدار		✓				
۱۹	دینامیک سیالات محاسباتی		✓				
۲۰	آنالیز پینچ پیشرفته		✓				
۲۱	فرایندهای جذب سطحی پیشرفته		✓				
۲۲	فرایندهای اختلاط		✓				
۲۳	مهندسی احتراق پیشرفته			✓			
۲۴	اصول مهندسی فرایند			✓	✓	✓	
۲۵	طراحی راکتورهای صنعتی					✓	
۲۶	طراحی خطوط لوله در صنایع شیمیایی					✓	
۲۷	طراحی کنترل‌کننده‌ها در فرایندهای شیمیایی					✓	
۲۸	طراحی آزمایش‌ها و تحلیل آماری نتایج		✓				
۲۹	ایمنی در صنایع شیمیایی	✓					
۳۰	افزایش مقیاس در فرآیندهای شیمیایی	✓				✓	
۳۱	آنالیز اکسرژی فرآیندهای شیمیایی		✓			✓	
۳۲	ریاضیات مهندسی پیشرفته	✓	✓	✓	✓	✓	
۳۳	طراحی پایه و تفصیلی فرآیندهای شیمیایی	✓		✓	✓	✓	

جدول ۱۰-۴ نقاط اشتراک سرفصل درس محاسبات عددی دانشگاه فردوسی با درس ریاضیات عددی پیشرفته دانشگاه صنعتی شریف

دانشگاه صنعتی شریف	دانشگاه فردوسی مشهد
یادآوری از مسائل مقدماتی مانند: • تقریب زدن‌ها و محاسبات خطاها ((error • دستگاه معادلات جبری خطی (روش حذفی گاوسین، گاوس – جردن، روش همراه تکرار • **روش‌های تجزیه ماتریس:** • روش تجزیه LU • روش تجزیه QR – **Sparse Matrix:** • کاربرد sparse matrix در پدیده‌های انتقال و فرآیندهای جداسازی **معادلات غیرخطی:** • خلاصه‌ای بر روش‌های بنیادی حل یک معادله غیرخطی منفرد (به‌عنوان‌مثال روش‌های bracketing، روش‌های جایگذاری پی‌درپی، روش Wegstein) • محاسبه ریشه‌های حقیقی و مختلط چندجمله‌ای‌ها • دستگاه معادلات جبری غیرخطی (روش گاوس – سایدل همراه با relaxation، روش نیوتن و شبه نیوتن، روش Broyden-HouseHolder) **روش‌های عددی درون‌یابی، مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری:** • خلاصه‌ای بر روش‌های رایج درون‌یابی (به‌عنوان‌مثال: روش لاگرانژ، Aitken، چندجمله‌ای‌های مبتنی در حداقل تفاضل مربعات) • روش spline • روش عملگرهای مشتق • درون‌یابی عددی و مشتق‌گیری با اپراتورهای مشتق • روش انتگرال‌گیری Quadratic **روش‌های عددی حل معادلات دیفرانسیل معمولی:** • خلاصه‌ای از روش‌های رایج (روش اویلر، رانج کاتا) • روش‌های چندمرحله‌ای (به‌عنوان‌مثال: روش Milne-Symspon، روش Adams-Bash forth) • روش‌های چند مقداری (روش gear)	• حل دستگاه معادلات جبری خطی و غیرخطی • روش‌های تجزیه ماتریس‌ها (روش‌های LU، SVD) • روش‌های برازش منحنی و درون‌یابی داده‌های عددی از داخل آن • روش Orthogonal collocation جهت حل معادلات ODE • روش Orthogonal collocation جهت حل معادلات PDE • حل معادلات PDE با روش تفاضل محدود

• روش Orthogonal Collocation methods برای معادلات دیفرانسیل معمولی **معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی:** • انواع مختلف معادلات با مشتقات جزئی (به‌عنوان‌مثال معادلات بیضوی، سهموی و ...) • حل معادلات مشتقات جزئی با تفاضلات محدود (پایداری روش برای انواع مختلف معادلات با مشتقات جزئی) **مقدمه‌ای بر روش‌های عناصر محدود ((finite element** **حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی توسط روش Orthogonal Collocation**	

جدول ۱۱ -۴ نقاط اشتراک سرفصل درس طراحی راکتور پیشرفته دانشگاه فردوسی با دانشگاه صنعتی شریف

دانشگاه صنعتی شریف	دانشگاه فردوسی مشهد
• راکتورهای غیر هم‌دما و موازنه انرژی پیرامون راکتورها، یادآوری ترمودینامیک واکنش‌های شیمیایی شامل تأثیرات دما و فشار بر واکنش‌های تعادلی و میزان گرمای واکنش • موارد بنیادی جریان‌های غیر ایدئال، توزیع زمان اقامت RTD، روش آزمایشگاهی و مدل‌ها برای تعیین RTD در جریان غیر ایدئال در راکتورهای شیمیایی شامل مدل پراکندگی، مدل جریان آرام، مدل تانک‌های سری، مدل چند پارامتری و تأثیر انباشتگی سیال در رفتار راکتور • سینتیک واکنش‌های کاتالیستی همگن و طراحی راکتور آن‌ها • سینتیک واکنش‌های غیر کاتالیستی سیال – جامد و طراحی راکتور آن‌ها • سینتیک واکنش‌های همگن سیال –سیال و طراحی راکتور آن‌ها	• مروری بر سینتیک واکنش‌ها و طراحی راکتورهای تک فاز • اثرات دما و فشار در راکتورها: وابستگی سرعت واکنش به دما، درجه حرارت بهینه برای راکتورهای هم‌دما، اثرات فشار • مدل‌های توزیع زمان اقامت در راکتورها، راکتورهای ناکامل • راکتورهای ناپایدار: حالت گذر در راکتورهای مخلوط، راکتورهای لوله‌ای و غیره. • تئوری‌های انتقال جرم در سامانه‌های چند فازی • سینتیک واکنش‌های چند فازی • بررسی واکنش‌های چند فازی در راکتورهای ایده‌آل و ناکامل • طرح راکتورهای ناهمگن: کاتالیزورهای ناهمگون • ضرایب تیل و تأثیر عامل مؤثر (Effectiveness) در کاتالیزورهای جامد با اشکال هندسی مختلف انتقال حرارت و جرم در کاتالیزورهای جامد متخلخل، طراحی راکتورهای کاتالیزوری

جدول ۱۲-۴ نقاط اشتراک سرفصل درس طراحی به کمک کامپیوتر دانشگاه فردوسی با دانشگاه صنعتی شریف

دانشگاه صنعتی شریف	دانشگاه فردوسی مشهد
• مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی فرآیند، توضیح خلاصه‌ای از پکیج‌های محاسبات و اطلاعات اقتصادی از فرآیندها • بانک‌های اطلاعاتی خواص ترمودینامیکی و فیزیکی: DIPPR, Dechema, Janaf, TRI and API • معادلات حالت و تعادلی برای یک جزء، مخلوط‌های مشخص (ایدئال و غیر ایدئال آزوتروپی) و مخلوط‌های نامشخص (نفتی و غیرنفتی)، ضریب فعالیت، تعادلات بخار مایع VLE و تعادلات بخار مایع مایع VLLE • عملیات واحد: محاسبات FLASH، مبدل‌های حرارتی (طراحی تفضیلی با روش (BELL، برج‌های تقطیر (روش میان‌بر، روش I/O، همگرایی، پمپ‌های اطراف، چند خوراکه و جریان جانبی) • جریان برگشتی • مباحث طراحی مفهومی	• مراحل سنتز فلوشیت و طراحی اولیه • مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی پایا فرآیند • روش تعیین خواص ترمودینامیکی و مدل ترمودینامیکی مناسب • جریان‌های برگشتی و محاسبات همگرایی آن‌ها • موارد طراحی مفهومی فرآیند • طراحی سیستم‌های جداسازی و روش‌های تقطیر • معرفی بانک‌های اطلاعاتی خواص ترمودینامیکی و هندبوک‌های مربوطه

جدول ۱۳-۴ نقاط اشتراک سرفصل درس بهینه‌سازی دانشگاه فردوسی با دانشگاه صنعتی شریف

دانشگاه صنعتی شریف	دانشگاه فردوسی مشهد
هدف درس: هدف از این درس، ایجاد مهارت کافی در دانشجویان در بهینه‌سازی مسائل مهندسی شیمی می‌باشد. مطالب ارائه شده در این درس کمک خواهد کرد تا دانشجویان بتوانند بر مبنای مدل‌سازی، تعریف تابع هدف و یافتن روشی جهت بهینه‌سازی استاتیکی و دینامیکی عمل کنند. **سرفصل مطالب:** • مقدمه‌ای بر فرمولاسیون در بهینه‌سازی • پشتوانه ریاضیاتی • بهینه‌سازی نامقید استاتیک • بهینه‌سازی مقید استاتیک • بهینه‌سازی دینامیکی • کاربردها و موارد موردمطالعه موارد پیشرفته	• مقدمه • مفاهیم اولیه در بهینه‌سازی (متغیر طراحی، تابع هدف، انواع قیود، بهینه‌سازی پیوسته و بهینه‌سازی گسسته، بهینه‌سازی محلی و بهینه‌سازی سراسری، بهینه‌سازی با اعمال قید و بدون اعمال قید، مسائل خطی و غیرخطی، الگوریتم‌های بهینه‌سازی، درجه آزادی در حل مسائل بهینه‌سازی، بهینه‌سازی از طریق طراحی آزمایش‌ها، نمودارهای کانتور (هم پاسخ)، مروری بر عملیات ماتریسی، اکسترمم توابع، تقعر، ماتریس هسین • بهینه‌سازی بدون اعمال قید • بهینه‌سازی بدون قید یک بعدی، روش‌های مستقیم برای مسائل یک بعدی (سرعت همگرایی، روش نیوتن، روش سکانت)، بهینه‌سازی بدون قید چندبعدی، روش‌های تکراری برای مسائل چندبعدی، روش‌های مستقیم برای مسائل چندبعدی (روش جستجوی Simplex، روش جستجوی تک متغیره، روش جستجوی مزدوج، روش پاول، روش‌های غیرمستقیم برای مسائل چندبعدی (روش گرادیان، روش نیوتن، روش سکانت) • بهینه‌سازی با اعمال قید • روش لاگرانژ، شرط لازم و کافی برای قیود تساوی و ناتساوی، تعبیر ترسیمی شرایط لازم و کافی • برنامه‌ریزی خطی

	• برنامه‌ریزی خطی از دیدگاه هندسی، روش سیمپلکس، روش سدی، تحلیل حساسیت، کاربرد نرم‌افزار Excel در برنامه‌ریزی خطی • برنامه‌ریزی غیرخطی با قید • روش جایگزینی مستقیم، روش تعمیم‌یافته کاهشی گرادیانی، روش تابع پنالتی، روش سدی، روش افزایشی لاگرانژی، برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی • برنامه‌ریزی روی اعداد صحیح یا مخلوط اعداد صحیح و پیوسته • فرمول‌بندی مسئله به‌صورت NLP، فرمول‌بندی مسئله به‌صورت برنامه‌ریزی روی اعداد صحیح، روش شاخه و مرز، برنامه‌ریزی خطی روی مخلوط اعداد صحیح و پیوسته، برنامه‌ریزی غیرخطی روی مخلوط اعداد صحیح و پیوسته • برنامه‌ریزی دینامیکی • مثال‌های کاربردی بهینه‌سازی در مهندسی شیمی و استفاده از نرم‌افزار MATLAB

۵-۴- دلالت‌های بررسی دانشگاه‌های داخلی

با در نظر گرفتن نقاط اشتراک و افتراق چارت درسی ارائه شده در دانشگاه فردوسی مشهد با چارت مصوب وزارت علوم و سایر دانشگاه‌ها نتایج زیر حاصل می‌شود:

- در همه دانشگاه‌های بزرگ کشور درس ترمودینامیک پیشرفته جزء دروس اصلی گرایش طراحی فرایند بشمار می‌رود؛ درحالی‌که در دانشگاه فردوسی مشهد این درس برای گرایش طراحی فرایند ارائه نمی‌شود.
- در اکثر دانشگاه‌های بزرگ کشور دروس مرتبط با مبحث پدیده‌های انتقال شامل انتقال حرارت پیشرفته، انتقال جرم پیشرفته و مکانیک سیالات پیشرفته به‌صورت جداگانه ارائه شده است؛ درحالی‌که در دانشگاه فردوسی مشهد در گرایش طراحی فرایندها این سه درس در قالب درس پدیده‌های انتقال ارائه می‌شود.
- درس طراحی فرایند به کمک کامپیوتر در سرفصل مصوب وزارت علوم نیست درحالی‌که در دانشگاه فردوسی مشهد ارائه می‌شود.
- پیشنهاد می‌شود دروسی مانند کنترل فرایند پیشرفته و طراحی پایه و تفصیلی مهندسی شیمی یا اصول مهندسی فرایند به‌عنوان دروس اختیاری به چارت درسی گرایش طراحی فرایند اضافه شود.

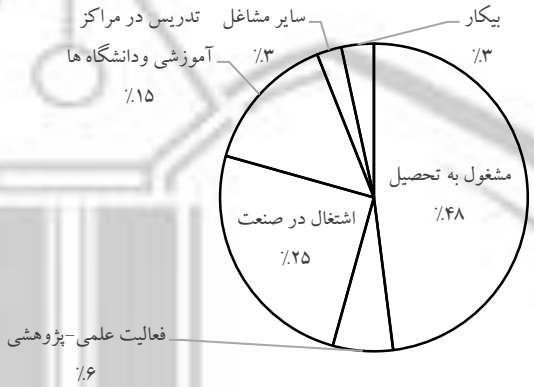
فصل پنجم

پایش دانش‌آموختگان و اساتید

در این فصل نتایج آماری مربوط به هر یک از سؤالات ذکر شده در پرسشنامه همراه با تحلیل مختصری از نتایج آمده است. نتیجه‌گیری کلی در انتهای فصل ارائه خواهد شد.

۵-۱ بررسی وضعیت جامعه آماری از جهت نوع اشتغال افراد

وضعیت اشتغال افراد تکمیل‌کننده پرسشنامه مطابق جدول و نمودار دایره‌ای زیر می‌باشد.

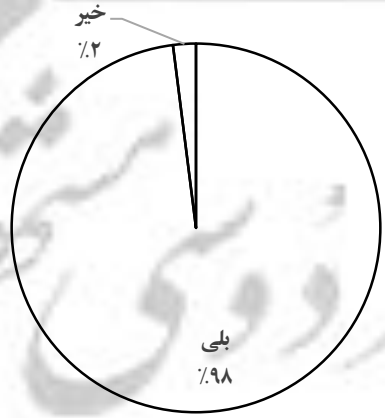


شکل ۵-۱– توزیع و پراکندگی اشتغال افراد

همان‌طور که مشخص است حدود یک‌چهارم این جمعیت آماری شامل افراد شاغل در صنعت و حدود نیمی از افراد اشخاصی هستند که مشغول به تحصیل در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری می‌باشند و یک‌هشتم جامعه آماری افراد شاغل در مراکز پژوهشی و پژوهشگاه‌ها و مشغول تدریس در دانشگاه می‌باشند.

۵-۲- بررسی وضعیت جامعه آماری از نظر محل زندگی افراد

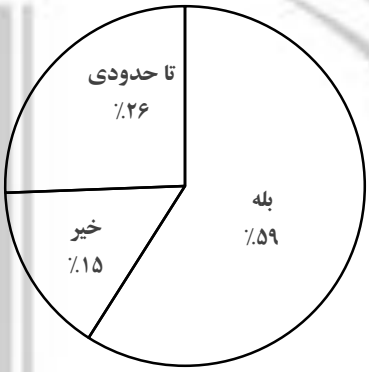
مطابق شکل ۵-۲ از کل جامعه آماری موردنظر ۱ نفر در خارج از کشور و در کشور ایتالیا اقامت دارند و مابقی جامعه آماری که ۹۸ درصد افراد را تشکیل می‌دهند در ایران اقامت دارند. (سؤال پرسشنامه: آیا در ایران زندگی می کنید؟)



شکل ۵-۲- توزیع محل زندگی افراد

۵-۳- بررسی وضعیت جامعه آماری از نظر میزان رضایت شغلی افراد

مطابق شکل ۵-۳ حدود ۶۰ درصد افراد جامعه آماری از حیطه شغلی خود رضایت داشته و حدود ۲۵ درصد نیز رضایت نسبی خود را اعلام نموده‌اند. همچنین حدود ۱۵ درصد نیز از حیطه شغلی خود ناراضی بوده‌اند. به نظر می‌رسد میزان رضایت شغلی در این گرایش نسبتاً بالا است که این خود نقطه امیدی برای ادامه فعالیت دانش‌آموختگان در این گرایش می‌باشد.



شکل ۵-۳- نمودار آماری میزان رضایت شغلی افراد

۵-۴- بررسی دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند

در شکل زیر نمودار میله‌ای حاصل از میزان اهمیت هریک از دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند که بر اساس نحوه ارائه آن در دانشگاه فردوسی مشهد و اکثر دانشگاه‌های داخلی تدوین شده است، از دیدگاه افراد جامعه آماری آورده شده است.

شکل ۵-۴- نمودار آماری اهمیت دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند

- **محاسبات عددی پیشرفته:** حدود ۶۱ درصد افراد جامعه آماری اهمیت این درس را زیاد برآورد کرده‌اند که این مقدار با احتساب نظرات متوسط نیز به حدود ۸۰ درصد می‌رسد و تقریباً ۲۰ درصد اهمیت آن را کم و بی کاربرد گزارش کرده‌اند که این نشان از اهمیت بالای این درس دارد.
- **سینتیک و طراحی راکتور پیشرفته:** حدود ۴۰ درصد افراد اهمیت این درس را زیاد دانسته و حدود ۴۶ درصد نیز اهمیت این درس را متوسط ارزیابی کرده‌اند. هم‌چنین ۱۲ درصد نیز اهمیت این درس را کم و بی کاربرد توصیف کرده‌اند آنچه مشخص است این است که اهمیت این درس در این جامعه آماری تا حدودی نسبی و متوسط رو به بالا ارزیابی می‌شود.
- **ترمودینامیک پیشرفته:** با توجه به نتایج حدود ۶۰ درصد افراد اهمیت درس را زیاد و تنها ۱۴ درصد جامعه آماری اهمیت آن را کم گزارش کرده‌اند لذا به نظر می‌رسد در کل اهمیت این درس در جامعه آماری زیاد تلقی می‌شود. **لذا اهمیت اضافه شدن آن به چارت دانشگاه فردوسی را پررنگ‌تر می‌سازد.**
- **پدیده‌های انتقال:** تقریباً نیمی از جامعه آماری اهمیت درس را زیاد و حدود ۲۰ درصد اهمیت آن را متوسط ارزیابی کرده‌اند و حدود ۱۴ درصد نیز آن را کم و بی کاربرد تلقی کرده‌اند. آنچه واضح است این می‌باشد که اهمیت این درس نیز در کل همانند ترمودینامیک پیشرفته و محاسبات عددی پیشرفته زیاد محسوب می‌گردد.
- **ریاضیات مهندسی پیشرفته:** با توجه به نمودار حدود ۳۶ درصد اهمیت درس را زیاد و حدود ۲۷ درصد متوسط و ۳۱ درصد دارای اهمیت کم و بی کاربرد دانسته‌اند که این درصد خود نشانگر اهمیت بسیار پایین‌تر این درس در مقابل درس محاسبات عددی پیشرفته در جامعه آماری دارد. **لذا ارائه تنها یکی از دروی ریاضیات مهندسی پیشرفته و محاسبات عددی پیشرفته در چارت درسی کفایت می‌نماید که البته ارائه درس محاسبات عددی پیشرفته ضروری‌تر می‌باشد.**

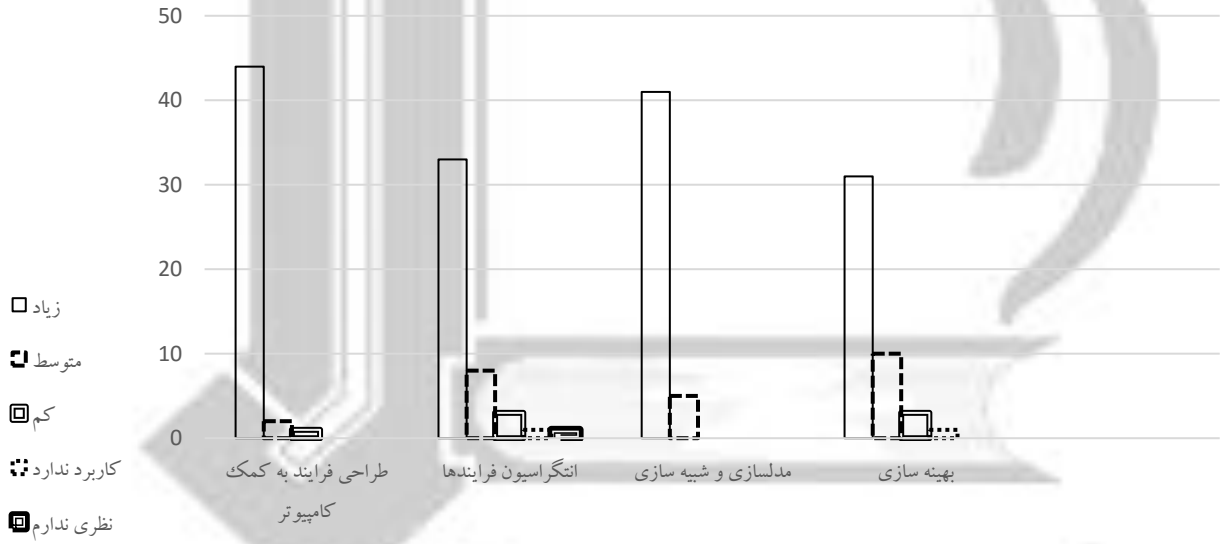
۵-۵- بررسی دروس تخصصی (اختیاری) گرایش طراحی فرآیند

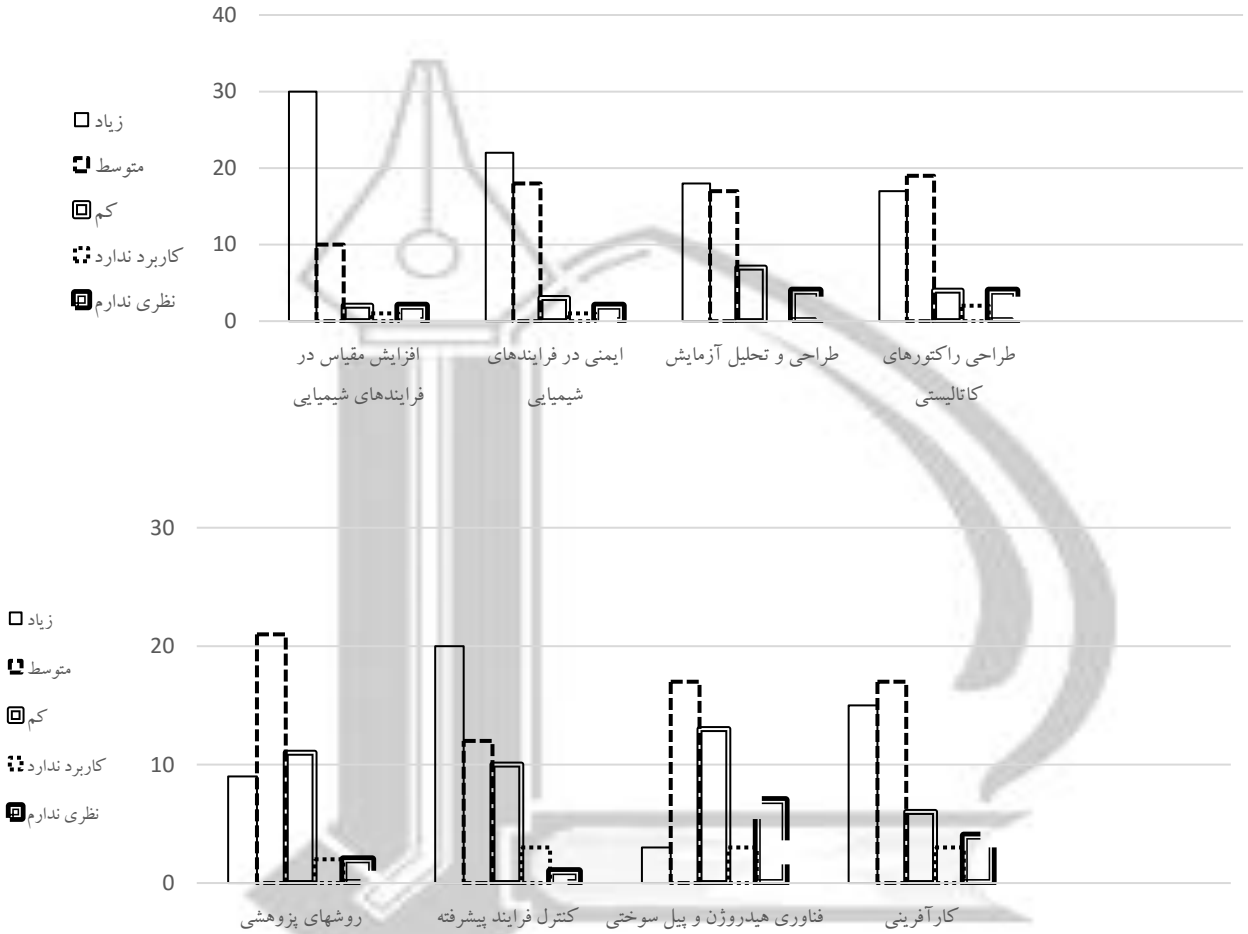
در شکل (۵-۵) اهمیت هر یک از دروس تخصصی (اختیاری) گرایش طراحی فرآیند از دیدگاه جامعه آماری آمده است. بر اساس نتایج نظرسنجی دروس در سه دسته به شرح ذیل طبقه‌بندی شدند:

- **دروس با اهمیت بالا:** تعداد انتخاب‌کنندگان این گزینه (گزینه زیاد در پرسشنامه معادل رنگ آبی نمودار ۵-۵) ۴۰ نفر به بالا معادل بیشتر از ۸۰ درصد جامعه آماری بودند. این دروس شامل ۴ درس طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، طراحی تجهیزات فرآیندی و طراحی مفهومی فرآیند بودند.

- **دروس با اهمیت متوسط**: تعداد انتخاب‌کنندگان این گزینه (گزینه زیاد در پرسشنامه معادل رنگ آبی نمودار ۵-۵) بین ۲۰ تا ۴۰ نفر معادل ۴۰ تا ۸۰ درصد جامعه آماری بودند. این دروس شامل ۶ درس انتگراسیون فرآیندها (یا بازیافت انرژی در صنایع شیمیایی)، بهینه‌سازی، افزایش مقیاس در فرایندهای شیمیایی، ایمنی در فرآیندهای شیمیایی و کنترل فرآیند پیشرفته بودند.
- **دروس با اهمیت پایین:** تعداد انتخاب‌کنندگان این گزینه (گزینه زیاد در پرسشنامه معادل رنگ آبی نمودار ۵-۵) کمتر از ۲۰ نفر معادل کمتر از ۴۰ درصد جامعه آماری بودند. این دروس عبارت‌اند از: آنالیز اکسرژی، طراحی و تحلیل آزمایش، طراحی راکتورهای کاتالیستی، کارآفرینی، روش‌های پژوهشی، فناوری هیدروژن و پیل سوختی

لذا با توجه به نظرات به‌دست‌آمده می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که می‌توان دروس با اهمیت بالا و برخی از دروس با اهمیت متوسط را به‌عنوان هسته اصلی دروس اختیاری ارائه شده در گرایش موردنظر قرار دارد.





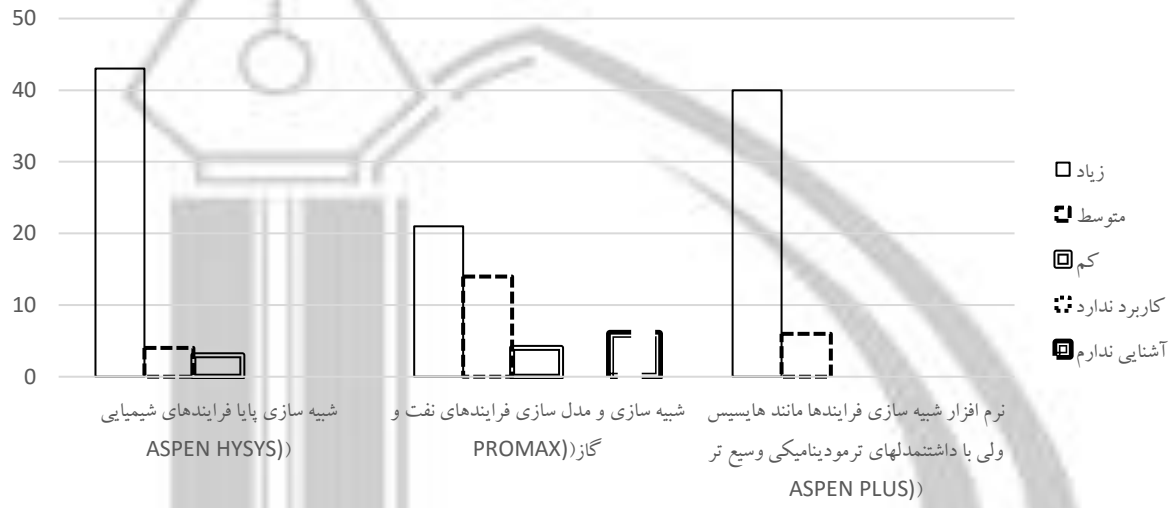
شکل ۵-۵- اهمیت دروس تخصصی (اختیاری) از دیدگاه جامعه آماری

۵-۶- بررسی نرم‌افزارها

همان‌گونه که در سؤالات پرسشنامه نیز آمده بود، نرم‌افزارهای موردنیاز گرایش طراحی فرایند در چندین دسته نرم‌افزار تخصصی با عناوین نرم‌افزارهای محاسباتی، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی فرآیند، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیکی فرآیند، نرم‌افزارهای محاسبات اقتصادی، نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی، نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و سایر نرم‌افزارها طبقه‌بندی شده بودند. لذا در ادامه به بررسی تخصصی هر یک از نرم‌افزارها از دیدگاه جامعه آماری پرداخته شده است. مسلماً نتایج این نظرسنجی می‌تواند به انتخاب نوع نرم‌افزار موردنیاز برای هر درس از گرایش مذکور کمک شایانی نماید.

۵-۶-۱- نرم‌افزارهای محاسباتی

در نمودار زیر اهمیت دو نرم‌افزار مدل‌سازی عمومی به نام‌های MATLAB و MAPLE آمده است. از این نرم‌افزارها جهت کد نویسی در زمینه‌های مختلف گرایش طراحی فرایند می‌توان بهره برد.

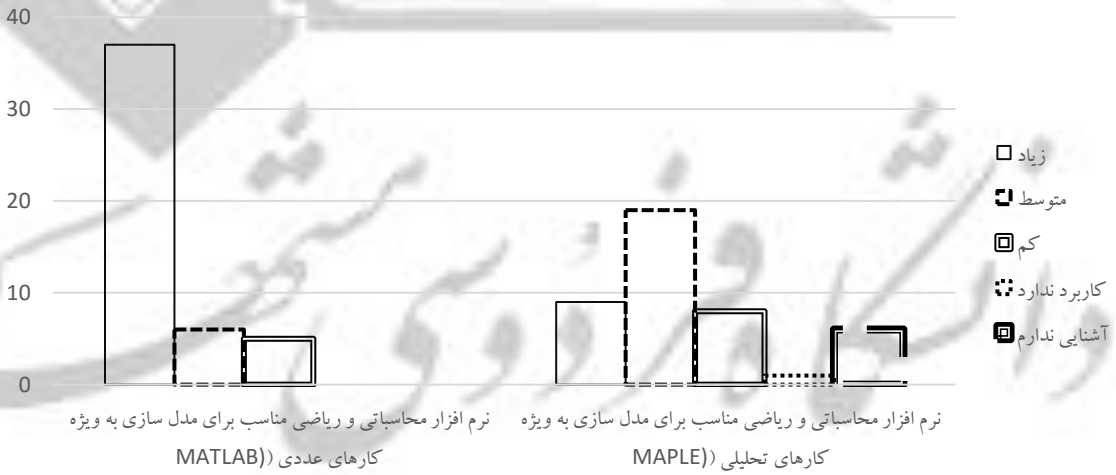


شکل ۶-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای عمومی محاسباتی

با توجه به نتایج واضح است که اهمیت نرم‌افزار MATLAB زیادتر ارزیابی شده است. **خوشبختانه این نرم‌افزار به شکل وسیعی در دروس مختلف گرایش طراحی فرایند در دانشگاه فردوسی مشهد بکار برده می‌شود.**

۵-۶-۲- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی فرآیند

در شکل ۵-۷- اهمیت هریک از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی فرآیند از نظر جامعه آماری آورده شده است.

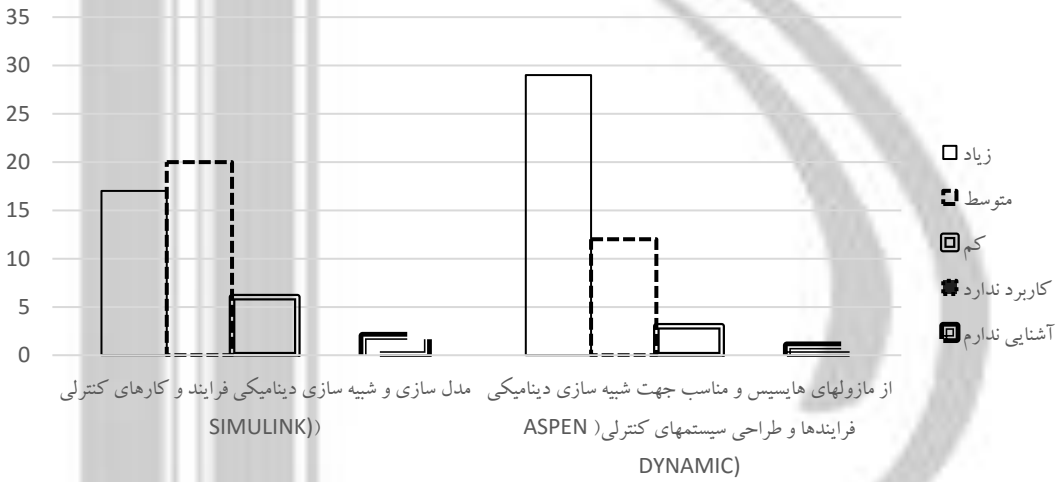


شکل ۵-۷- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی فرآیند

با توجه به نتایج اهمیت دو نرم‌افزار رایج ASPEN PLUS و ASPEN HYSYS زیاد ارزیابی شده است؛ درحالی‌که اهمیت نرم‌افزار PROMAX نسبتاً کم برآورد می‌شود. **خوشبختانه دو نرم‌افزار با اهمیت ذکر شده در بالا به شکل وسیعی در برخی دروس گرایش طراحی فرایند در دانشگاه فردوسی مشهد بکار برده می‌شوند.**

۵-۶-۳- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیکی فرآیند

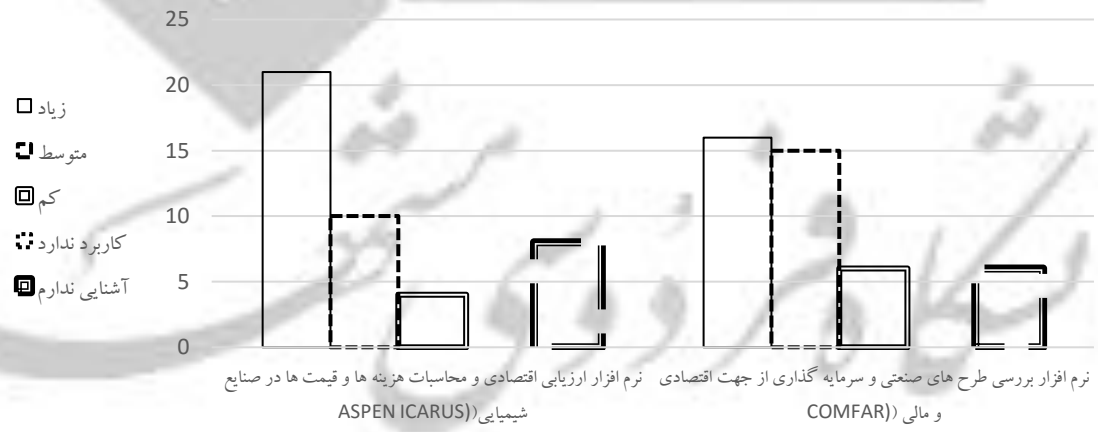
در شکل (۵-۸) اهمیت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیکی فرآیند از نظر جامعه آماری آورده شده است. با توجه به نتایج از نظر جامعه آماری اهمیت نرم‌افزار ASPEN DYNAMIC بالاتر از Simulink ارزیابی شده است.



شکل ۵-۸- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیکی فرآیند

۵-۶-۴- نرم‌افزارهای محاسبات اقتصادی

در شکل (۵-۹) اهمیت هریک از نرم‌افزارهای اقتصادی از نظر جامعه آماری آورده شده است.

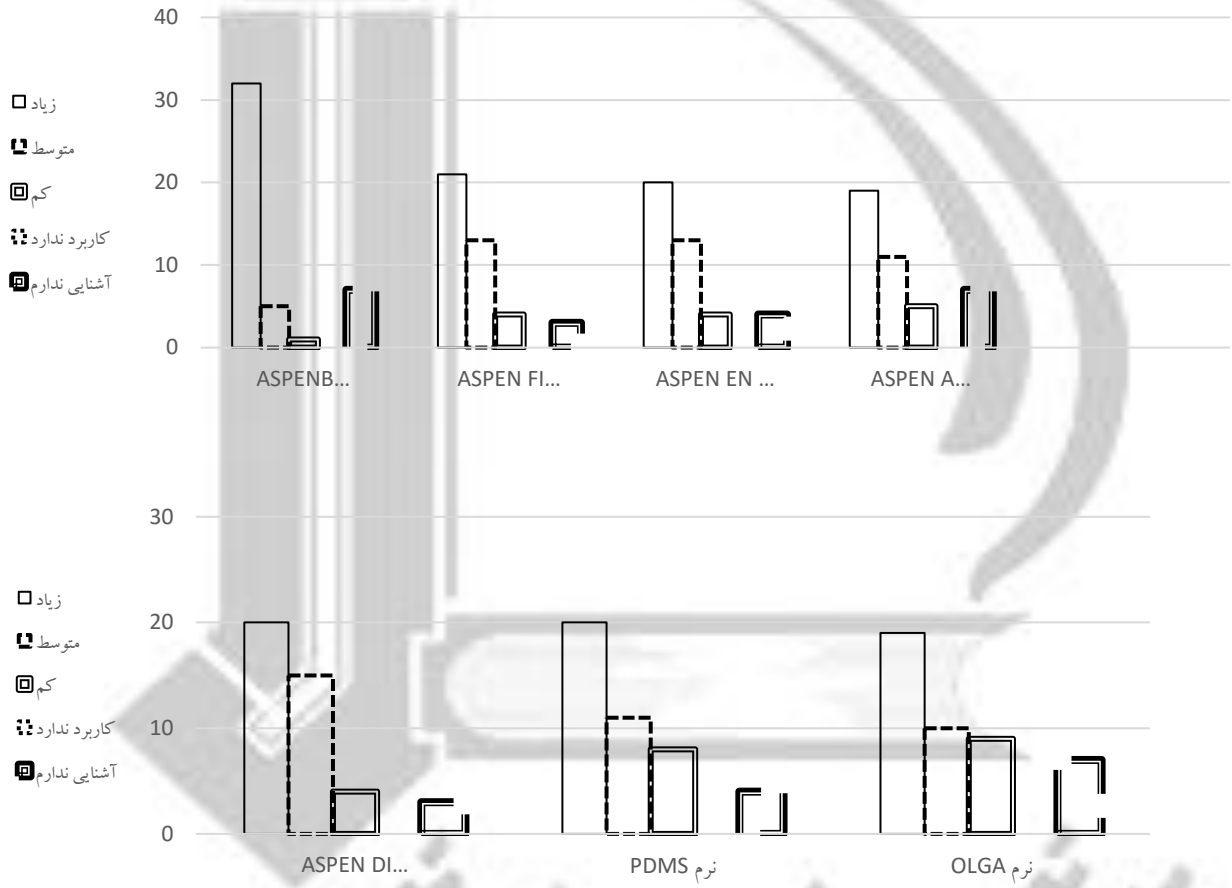


شکل ۵-۹- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای محاسبات اقتصادی

با توجه به نتایج مشخص گردید که اهمیت نرم‌افزار ASPEN ICARUS زیاد و نرم‌افزار COMFAR نسبی و متوسط ارزیابی می‌شود؛ **اما ذکر این نکته لازم است که تعداد نظرات "آشنایی ندارم " در هردو نرم‌افزار بالا است که نشان از عدم آشنایی کامل افراد با این دسته نرم‌افزارهای اقتصادی می‌باشد.**

۵-۶-۵- نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی

در نمودار زیر اهمیت هریک از نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی از نظر جامعه آماری آورده شده است.



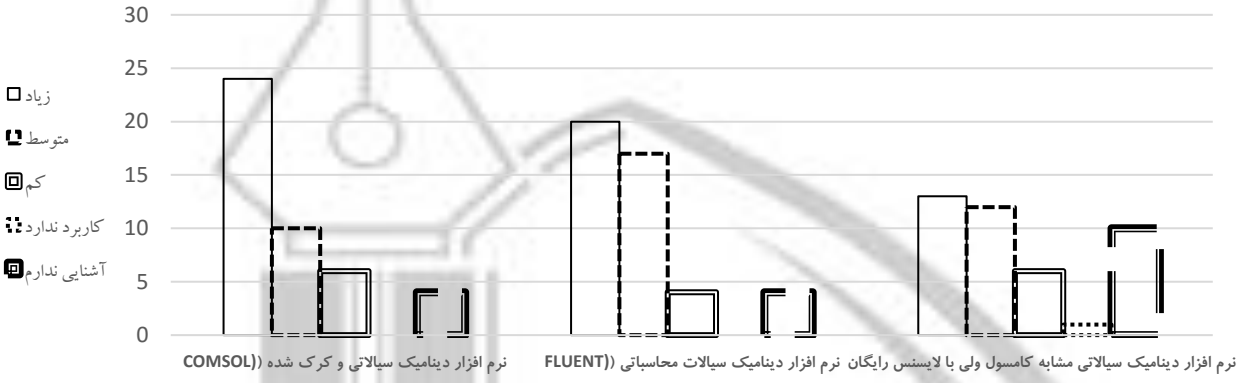
شکل ۱۰-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی

با توجه به نتایج این دسته نرم‌افزارها به دو دسته با اهمیت بالا (تعداد انتخاب‌کنندگان گزینه اهمیت زیاد، بالاتر از ۶۰ درصد است) و اهمیت متوسط (تعداد انتخاب‌کنندگان گزینه اهمیت زیاد، کمتر از ۶۰ درصد است) قابل‌طبقه‌بندی هستند.

- **اهمیت بالا:** شامل نرم‌افزار ASPEN B JAC
- **اهمیت متوسط:** باقی نرم‌افزارهای ذکر شده در پرسشنامه

۵-۶-۶- نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

در نمودار زیر اهمیت هریک از نرم‌افزارهای CFD در جامعه آماری آورده شده است.



شکل ۱۱-۵- نمودار آماری اهمیت نرم‌افزارهای CFD

با توجه به نتایج می‌توان گفت که اهمیت نرم‌افزار COMSOL زیاد و Fluent و Open foam نسبی می‌باشد؛ اما تعداد نظرات "آشنایی ندارم " برای نرم‌افزار open foam بالا است که نشان از عدم آشنایی و ناشناخته بودن نرم‌افزار برای جامعه آماری دارد.

۵-۶-۷- سایر نرم‌افزارها

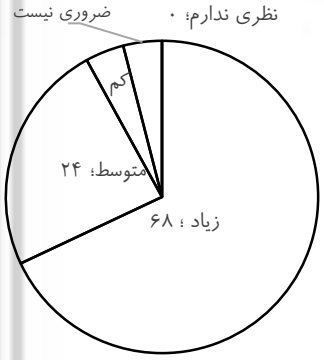
در این بخش نرم‌افزارهایی که در لیست پرسشنامه موجود نبوده و از دیدگاه تکمیل‌کنندگان و جامعه آماری مهم بوده و یا حداقل در تجربه‌های شخصی آن‌ها مهم و تأثیرگذار بوده است آمده است. متن‌های زیر عیناً به صورتی که تکمیل‌کنندگان نوشته‌اند آمده است.

- نرم‌افزار Super pro Designer از برنامه‌های قابل‌استفاده در طراحی فرآیندهای بیولوژیکی و دارویی است که محاسبات اقتصادی این فرآیندها را نیز می‌تواند انجام دهد.
- Net logo
- نرم‌افزار Gproms جهت مدل‌سازی و شبیه‌سازی، زبان پایتون برای برنامه‌نویسی همانند متلب
- به نظر بنده یک دوره‌ای که هم در ادامه تحصیل و هم در کار صنعتی و اجرایی بسیار مهم است، دوره کار با بسته نرم‌افزاری Office به‌خصوص Word ، Excel و power point است. چون این نرم‌افزارها امکانات بسیار تخصصی و کاربردی برای اجرا و سهولت و اتوماتیک کردن کارها دارند که اکثر افراد با حداقل امکانات این نرم‌افزارها کار می‌کنند و از سایر قابلیت‌های آن‌ها بی‌اطلاع‌اند. درحالی‌که یاد داشتن آن‌ها می‌تواند در وقت و انرژی و همچنین تحلیل‌های آن‌ها کمک شایسته‌ای کند.

- یادگیری نرم‌افزارهای مربوط به ایمنی فرایندها و تجهیزات و غیره هم می‌توانند در صورت ورود به صنایع مربوطه مفید واقع شوند.
- نرم‌افزارهای آماریDOE برای طراحی آزمایش‌ها مثل design expert وminitab
- نرم‌افزاری مختص شبیه‌سازی مبدل‌های حرارتی htri

۷-۵- بررسی ضرورت وجود بازدیدهای صنعتی

در نمودار دایره‌ای زیر نظر افراد در جامعه آماری پیرامون ضرورت وجود بازدیدهای صنعتی در گرایش طراحی فرآیند آمده است.



شکل ۱۲-۵ نمودار آماری ضرورت وجود بازدیدهای صنعتی

همان‌طور که از نظرسنجی مشخص است حدود ۶۸٪ افراد ضرورت بازدیدهای صنعتی را زیاد و ۲۴٪ آن را متوسط ارزیابی کرده‌اند به‌عبارت‌دیگر حدود ۹۲٪ افراد ضرورت آن را تقریباً مهم دانسته‌اند و تنها ۸٪ به عدم ضرورت یا ضرورت کم آن اشاره کرده‌اند.

به‌عبارت‌دیگر طبق این نظرسنجی، ضرورت بازدیدهای صنعتی برای گرایش طراحی فرایند مهم ارزیابی شده است؛ که نیازمند توجه بیشتر اساتید و مسئولین در این زمینه می‌باشد.

۱-۷-۵- بررسی دروس ضروری برای بازدیدهای صنعتی

این قسمت در پاسخ به سؤال پرسشنامه با این مضمون آمده است: به نظر شما بازدیدهای صنعتی برای چه دروسی می‌تواند مفید باشد؟ در زیر نام دروس و نظرات افراد شرکت‌کننده در نظرسنجی عیناً و طبق بیان شخص افراد آمده است.

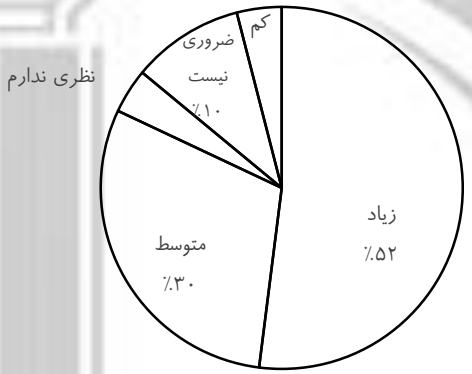
- مباحث شبیه‌سازی‌ها و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی
- دروس مرتبط با طراحی فرآیند
- کلیه دروس مرتبط با فعالیت‌های صنعتی

- طراحی به کمک کامپیوتر و انتگراسیون فرایند
- دروس اختصاصی این رشته
- بازدیدها اصولاً مربوط به یک درس نمی‌باشد و بیشتر دربرگیرنده تمام دروس می‌شود که وجودشان بسیار لازم و ضروری است. البته به نظرم برای دوره کارشناسی وجود این بازدیدها مناسب‌تر است.
- طراحی راکتور پیشرفته و طراحی تجهیزات
- طراحی راکتور
- در دروس مربوط به طراحی فرآیندهای شیمیایی، که معمولاً با نرم‌افزار انجام می‌شود. با توجه به موقعیت مکانی دانشگاه بازدید از پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها می‌تواند مفید باشد.
- درس طراحی تجهیزات فرآیندی
- دروس پدیده‌های انتقال، آشنایی با مبدل‌ها، درام‌ها و...
- فرایند گاز، پتروشیمی
- بستگی به حیطه کاری که در آن مشغول خواهیم شد خواهد داشت
- طراحی راکتور – طراحی مفهومی فرایند
- بازیافت انرژی در صنعت
- طراحی مفهومی فرآیندها
- طراحی تجهیزات فرآیندی، انتگراسیون
- بازدید از پالایشگاه‌ها و مجتمع‌های پتروشیمی برای دروسی مانند طراحی تجهیزات فرایندی و طراحی مفهومی فرایندها
- طراحی تجهیزات و انتگراسیون فرآیندها
- طراحی تجهیزات فرایندی
- برای دروس طراحی مفهومی فرآیند و طراحی تجهیزات فرآیندی
- کنترل فرایند، بازدید محیط‌های صنعتی مرتبط به پروژه‌های کارشناسی ارشد
- به نظرم بازدید در دروسی که مربوط به تجهیزات فرایندی و پدیده‌های انتقال باشند می‌تواند مفید واقع شود.
- طراحی فرایند، مدل‌سازی
- طراحی فرایند
- فرایندهای پتروشیمی، پالایشگاه‌های گاز

می‌توان نتیجه‌گیری نمود که با توجه به ماهیت کلیه دروس گرایش طراحی فرایند که مرتبط با مباحث طراحی و شبیه‌سازی فرایندهای متفاوت هستند، بازدید تقریباً برای کلیه دروس می‌تواند مفید باشد.

۸-۵- بررسی میزان ضرورت تغییر واحدهای درسی از ۳ واحد به ۲ واحد جهت ارائه مطالب متنوع

در این بخش نظرات افراد پیرامون ضرورت تغییر واحدهای درسی دروس ارائه شده از ۳ واحد به ۲ واحد جهت ارائه مطالب بیش‌تر و متنوع‌تر بررسی شده است؛ که نمودار حاصل از نظرسنجی در ذیل آمده است.

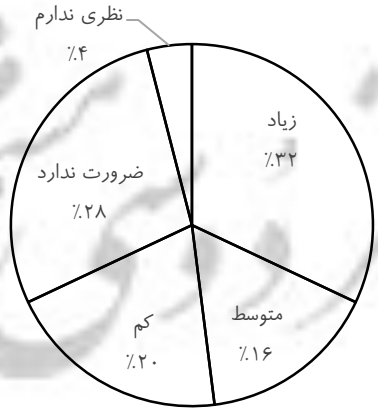


شکل ۱۳-۵- نمودار آماری ضرورت تغییر واحدهای درسی از ۳ واحد به ۲ واحد

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت حدود نیمی از افراد جامعه آماری ضرورت آن را زیاد و ۳۰٪ ضرورت آن را متوسط دانسته‌اند. لذا در کل حدود ۸۰٪ با اضافه شدن تعداد دروس موافق بوده‌اند. **این مسئله رغبت بالای دانشجویان و دانش‌آموختگان را به یادگیری مطالب متنوع‌تر روشن می‌سازد.**

۹-۵-بررسی میزان ضرورت حذف سمینار و جایگزینی واحد درسی به‌جای آن

در شکل زیر نظرات افراد پیرامون ضرورت حذف سمینار و جایگزینی واحد درسی به‌جای آن بررسی شده است.

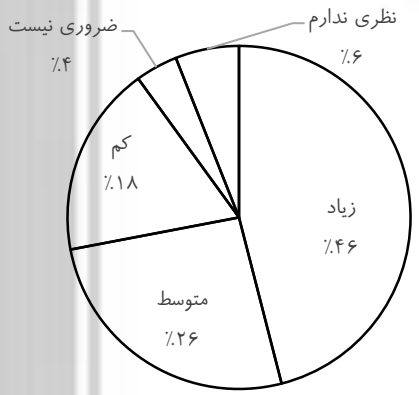


شکل ۱۴-۵- نمودار آماری نظرات افراد درباره ضرورت حذف سمینار

با توجه به نتایج نظرسنجی مشخص گردید که ضرورتی برای حذف درس سمینار و جایگزینی آن با درس دیگری مشاهده نشد. **این مسئله اهمیت وجود درس سمینار را در چارت درسی شفاف می‌سازد.**

۱۰-۵- بررسی ضرورت اخذ دروس از سایر گرایش‌های نوین‌تر مانند پلیمر، نانو فناوری، بیو تکنولوژی و.... در گرایش طراحی فرآیند

با توجه به ورود فعالیت‌های بین‌رشته‌ای در اکثر گرایش‌های مهندسی شیمی ازجمله گرایش طراحی فرایند، این سؤال در پرسشنامه لحاظ شد. در شکل زیر نمودار آماری نظرات افراد پیرامون ضرورت اخذ دروس از سایر گرایش‌های نوین مهندسی شیمی آورده شده است.



شکل ۱۵-۵- نمودار آماری نظرات افراد درباره میزان ضرورت اخذ دروس از سایر گرایش‌ها

با توجه به این نظرات می‌توان گفت که حدود ۴۶٪ ضرورت آن را زیاد و حدود ۲۶٪ ضرورت آن را متوسط ارزیابی کرده‌اند. لذا می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که حدود ۷۲٪ جامعه آماری ضرورت این امر را تائید نموده‌اند؛ **بنابراین قرار دادن گزینه‌ای در چارت درسی پیرامون مجوز اخذ حداقل یک درس از سایر گرایش‌های مهندسی شیمی ضروری به نظر می‌رسد.**

۱۱-۵- نظرات تکمیلی افراد

در این قسمت توضیحات و نظرات تکمیلی افراد پیرامون پرسشنامه و نکات مهم در رابطه با دروس و ضرورت‌های دیگر مهم و مرتبط با گرایش طراحی فرآیند عیناً از زبان افراد آمده است. این نظرات عموماً حاوی مطالبی است که جنبه تکمیل‌کننده سؤالات را داشته است. البته برخی از آن‌ها کاملاً ایده‌آل‌گرایانه بوده اما معدود سؤالاتی هم هستند که حاوی نکات ارزشمندی است که شایسته تأمل است:

- سرفصل‌های درس بهینه‌سازی باید بیشتر به مهندسی شیمی نزدیک شود. در حال حاضر کاملاً ریاضی و کلی است.

- ارائه دروس کاربردی صنعتی و حذف دروس اختیاری غیرکاربردی مفید می‌باشد. بسیاری از مسائلی که در صنعت مطرح می‌شوند در هیچ‌یک از واحدهای دانشگاه وجود ندارد. حتی دانشجو آشنایی اندک با **استانداردهای پرکاربرد مهندسی** که همگی ریشه در دروس فنی دارند، ندارد. به نظر بنده حتی بجای برخی از دروس غیرکاربردی اختیاری می‌توان تعدادی از استانداردهای طراحی را تحت عنوان یک سرفصل یک واحد درسی بسیار پرکاربرد و مفید تدریس نمود .همچنین پیشنهاد می‌کنم می‌توان طرح‌های اینترنشیپ یا مسائل و مشکلات صنعتی را به‌جای سمینار یا درس اختیاری ارائه نمود که با این کار هم بازدید از صنعت صورت می‌گیرد و هم اینکه دانشجو به‌صورت مستقیم با صنعت درگیر می‌شود و با واحدهای مختلف و نحوه کار آن‌ها آشنا می‌شود.
- مثال‌های مورداشاره در دروس مستقیماً از صنعت باشد.
- تشکیل گروه و استفاده از دانشجویان در پروژه‌های مرتبط با صنعت با نظارت اساتید. انتظار می‌رود که در مقاطع بالا ارتباط با صنعت شکل بگیرد اما اقدامی صورت نمی‌گیرد.
- به نظر من پرداختن به **فرآیندهای بیو تکنولوژی و داروسازی** می‌تواند بسیار مفید باشد همان‌طور که یک فرآیند تصفیه گاز و یا پالایش نفت اهمیت دارد، دیگر موارد مثل فرآیند دست‌یابی به غذا و دارو و نانو مواد نیز اهمیت دارند.
- دروس کنترلی مانند کنترل گسترده بسیار مفید است زیرا طراحی و کنترل به هم وابسته‌اند.
- آشنایی با **استانداردهای طراحی**
- طرح پروژه‌هایی به‌منظور طراحی فرآیند با استفاده از نرم‌افزارهای موجود که بشود به‌صورت کار گروهی انجام داد و در نهایت ارائه‌ی آن در کلاس و یا در پایان‌ترم توسط دانشجویان و به‌منظور یادگیری بهتر و افزایش دقت در انجام
- می‌توان امتحان تئوری را به‌گونه‌ای طراحی کرد که به‌جای در اختیار قرار دادن تمامی داده‌ها برای حل مسئله، دانشجویان با توجه به پروژه‌هایی که قبلاً توسط نرم‌افزار انجام داده‌اند، بتوانند فرضیات مناسبی برای حل مسئله در نظر بگیرند.
- **مدیریت و ارتباطات**
- به دوره‌های آموزشی فرآیندی مراجعه فرمایید، نظیر آشنایی با نقشه‌های فرآیندی، استانداردهای صنعتی، طراحی ادوات فرآیندی و...
- ارائه دروس و دعوت افراد مرتبطی که به دانشجویان **دید کارآفرینی** بدهد تا دانشجویان بدانند که از این دروس چگونه می‌توانند برای زندگی آینده و فعالیت اقتصادی مرتبط و حل مشکلات و معضلات و اخذ پروژه‌های صنعتی استفاده کنند.
- بازدید از محیط‌های صنعتی

- موضوع پایان‌نامه اگر در راستای موضوعاتی باشد که صنایع تمایل به انجام آن را در گرایش طراحی فرایند داشته باشند می‌تواند بعد از فراغت از تحصیل دانشجو بسیار مفید باشد.
- در زمینه بهینه‌سازی فرایندها بحث‌های جدیدی مطرح است که لازم است برای جا انداختن این درس در گرایش فرایند اقدام شود. الگوریتم‌های بهینه‌سازی مثل ژنتیک شبکه‌های عصبی و..

۱۲-۵ دلالت‌های پایش دانش‌آموختگان

- با توجه به نتایج نظرسنجی در بخش دروس اصلی و اختیاری مشخص گردید که ضرورت ارائه دروس ترمودینامیک پیشرفته، طراحی مفهومی فرآیند، افزایش مقیاس در فرآیندها، ایمنی در فرآیند و کنترل فرایند پیشرفته حائز اهمیت هستند.
- برنامه‌ریزی پیرامون افزایش تعداد بازدیدهای صنعتی در قالب دروس مختلف ضروری است.
- ارائه دروس اختیاری با تنوع بیشتر جهت اخذ توسط دانشجویان علاقه‌مند به حوزه‌های مختلف، مناسب است. لذا در برنامه جدید پیشنهادی تنوع دروس اختیاری موردتوجه قرار گرفت.
- برنامه‌ریزی در چارت درسی گرایش طراحی فرایند پیرامون مجوز اخذ درس از سایر گرایش‌های مهندسی شیمی مانند نانو فناوری، پلیمر، بیوتکنولوژی و ... با توجه به گسترش فعالیت‌های بین‌رشته‌ای ضروری به نظر می‌رسد. خوشبختانه چنین امکانی از سوی گروه مهندسی شیمی برای کلیه دانشجویان گرایش‌های مختلف کارشناسی ارشد مهندسی شیمی جهت اخذ یک درس از سایر گرایش‌ها که مرتبط با پروژه پایانی آن‌ها باشد، وجود دارد.

فصل ششم

پایش کارفرمایان

با توجه به فرم‌های تکمیل‌شده پرسشنامه توسط صاحب‌نظران صنعتی و با توجه به اینکه تعداد افراد پاسخ‌دهنده اندک بود، لذا نتایج به‌صورت درصدی برای هر بخش تکمیل و در ادامه آمده است:

۶-۱ بررسی میزان اهمیت دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند

جدول ۶-۱ اهمیت دروس اصلی گرایش طراحی فرآیند

نام درس	زیاد	متوسط	کم	کاربرد ندارد	نظری ندارم
محاسبات عددی پیشرفته	۵۰٪	۲۵٪	۲۵٪	–	–
سینتیک و راکتور پیشرفته	۲۵٪	۷۵٪	–	–	–
ترمودینامیک پیشرفته	۵۰٪	۵۰٪	–	–	–
پدیده‌های انتقال	۷۵٪	۲۵٪	–	–	–
ریاضیات مهندسی پیشرفته	۲۵٪	۷۵٪	–	–	–

بر اساس نظرسنجی اهمیت درس پدیده‌های انتقال زیاد و دروس محاسبات عددی پیشرفته و ترمودینامیک پیشرفته نسبتاً زیاد برآورد می‌گردد. اهمیت حضور دروس سینتیک و طراحی راکتور پیشرفته و ریاضیات مهندسی پیشرفته بر اساس نظر غالب افراد متوسط ارزیابی می‌شود.

۶-۲ بررسی میزان اهمیت دروس اختیاری – تخصصی گرایش طراحی فرآیند

جدول ۶-۲ اهمیت دروس اختیاری – تخصصی گرایش طراحی فرآیند

نام درس	زیاد	متوسط	کم	کاربرد ندارد	نظری ندارم
طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر	۷۵٪	۲۵٪	–	–	–
انتگراسیون فرآیندها	۵۰٪	۵۰٪	–	–	–
مدل‌سازی و شبیه‌سازی	۱۰۰٪	–	–	–	–
بهینه‌سازی	۷۵٪	۲۵٪	–	–	–
طراحی تجهیزات فرآیندی	۷۵٪	۲۵٪	–	–	–
طراحی مفهومی فرآیند	۵۰٪	۵۰٪	–	–	–
بازیافت انرژی در صنایع شیمیایی	۷۵٪	–	–	–	۲۵٪
آنالیز اکسرژی	۲۵٪	۲۵٪	۲۵٪	–	۲۵٪
افزایش مقیاس در فرآیندهای شیمیایی	۲۵٪	۵۰٪	۲۵٪	–	–

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

ایمنی در فرآیندهای شیمیایی	۷۵٪	۲۵٪	–	–	–
طراحی و تحلیل آزمایش DOE	–	۷۵٪	–	–	۲۵٪
طراحی راکتورهای کاتالیستی	۲۵٪	۵۰٪	–	–	۲۵٪
روش‌های پژوهشی	–	۷۵٪	۲۵٪	–	–
کنترل فرآیند پیشرفته	۲۵٪	۷۵٪	–	–	–
فناوری هیدروژن و پیل سوختی	–	۵۰٪	۲۵٪	–	۲۵٪
کارآفرینی	–	۵۰٪	–	–	۵۰٪

بر اساس میزان رأی افراد می‌توان دروس را در سه دسته ذیل طبقه‌بندی نمود:

- **دروس با اهمیت بالا** (جمع پاسخ‌دهندگان گزینه‌های زیاد و متوسط معادل ۱۰۰ باشد): مدل‌سازی و شبیه‌سازی، طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر، انتگراسیون فرآیندها، بهینه‌سازی، طراحی تجهیزات فرآیندی، طراحی مفهومی فرآیند، ایمنی در فرآیندهای شیمیایی، کنترل فرآیند پیشرفته
- **دروس با اهمیت متوسط** (جمع پاسخ‌دهندگان گزینه‌های زیاد و متوسط معادل ۷۵ باشد): بازیافت انرژی در صنایع شیمیایی، افزایش مقیاس فرآیندها، طراحی و تحلیل آزمایش، طراحی راکتورهای کاتالیستی، روش‌های پژوهشی
- **دروس با اهمیت کم** (جمع پاسخ‌دهندگان گزینه‌های زیاد و متوسط معادل ۵۰ باشد): آنالیز اکسرژی، فناوری هیدروژن و پیل سوختی، کارآفرینی

نکته قابل‌توجه این است که تمامی دروس مورد ارزیابی به نظر پاسخ‌دهندگان دارای اهمیت نسبی و بالا بوده‌اند و هیچ درسی بدون اهمیت ذکر نشده است.

۶-۴ بررسی اهمیت نرم‌افزارها

جدول ۳-۶ نرم‌افزارهای محاسباتی ریاضی و مدل‌سازی (نرم‌افزارهای عمومی)

نام نرم‌افزار	زیاد	متوسط	کم	کاربرد ندارد	آشنایی ندارم
MATLAB	۵۰٪	۵۰٪	–	–	–
MAPLE	–	۱۰۰٪	–	–	–

جدول ۴-۶ نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی فرآیند

نام نرم‌افزار	زیاد	متوسط	کم	کاربرد ندارد	آشنایی ندارم
ASPEN HYSYS	۷۵٪	۲۵٪	–	–	–
PROMAX	۵۰٪	۵۰٪	–	–	–
ASPEN PLUS	۷۵٪	۲۵٪	–	–	–

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

جدول ۶-۵ نرم‌افزارهای مدل‌سازی و شبیه‌سازی دینامیکی فرآیند

نام نرم‌افزار	زیاد	متوسط	کم	کاربرد ندارد	آشنایی ندارم
SIMULINK	–	۱۰۰٪	–	–	–
ASPEN DYNAMIC	۵۰٪	۵۰٪	–	–	–

جدول ۶-۶ نرم‌افزارهای محاسبات اقتصادی

نام نرم‌افزار	زیاد	متوسط	کم	کاربرد ندارد	آشنایی ندارم
ASPEN ICARUS	۲۵٪	۵۰٪	–	–	۲۵٪
COMFAR	–	۷۵٪	–	–	۲۵٪

جدول ۶-۷ نرم‌افزارهای CFD

نام نرم‌افزار	زیاد	متوسط	کم	کاربرد ندارد	آشنایی ندارم
COMSOL	–	۱۰۰٪	–	–	–
FLUENT	۵۰٪	۵۰٪	–	–	–

جدول ۶-۸ نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی

نام نرم‌افزار	زیاد	کم	متوسط	کاربرد ندارد	آشنایی ندارم
ASPEN B JAC(AER-HET	۱۰۰٪	–	–	–	–
ASPEN Flare net	۵۰٪	–	۵۰٪	–	–
Aspen energy analyzer(HX-NET)	۵۰٪	–	۲۵٪	–	۲۵٪
ASPEN Adsorption	۷۵٪	–	۲۵٪	–	–
ASPEN Distill	۵۰٪	۲۵٪	۲۵٪	–	–
PDMS	–	۵۰٪	۵۰٪	–	–
OLGA	۲۵٪	۲۵٪	۵۰٪	–	–

نرم‌افزارهای عمومی:

در این بخش همان‌طور که مشخص است نرم‌افزار MATLAB دارای اهمیت بالا و نرم‌افزار MAPLE در درجه اهمیت پایین‌تری نسبت به آن قرار دارد.

نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استاتیکی: در این بخش دو نرم‌افزار ASPEN HYSYS و ASPEN PLUS دارای درجه اهمیت یکسان و بالایی می‌باشند و نرم‌افزار PROMAX در درجه بعدی قرار دارد.

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیکی: همان‌طور که مشخص است ابتدا نرم‌افزار ASPEN DYNAMIC در درجه اهمیت بالاتر و سپس بعدازآن نرم‌افزار SIMULINK قرار می‌گیرد.

نرم‌افزارهای اقتصادی: در این قسمت هردو نرم‌افزار تا حدودی دارای اهمیت یکسان و مشخصی هستند اما ASPEN ICARUS کمی ترجیح داده شده است. همچنین میزان ناآشنا بودن افراد با این دسته نرم‌افزارها نیز نسبت به مابقی قسمت‌ها بیش‌تر مشاهده گردید.

نرم‌افزارهای CFD: می‌توان گفت در درجه اول نرم‌افزار FLUENT با اهمیت تا حدودی بالا و سپس بعدازآن نرم‌افزار COMSOL قرار می‌گیرد.

نرم‌افزارهای طراحی تجهیزات فرآیندی: با توجه به نظرسنجی می‌توان گفت نرم‌افزار ASPEN B JAC از اهمیت بسیار بالا و بعدازآن نرم‌افزارهای ASPEN FLARE, ASPEN ENERGY و سپس نرم‌افزارهای ASPEN ABSORBTION و ASPEN DISTILL قرار می‌گیرد. هم‌چنین در نهایت نرم‌افزارهای PDMS و OLGA در گروه نرم‌افزارهایی با اهمیت کم‌تر طبقه‌بندی می‌شوند.

۶-۴ بررسی سؤالات تکمیلی

به نظر شما وجود بازدیدهای صنعتی در دوره کارشناسی ارشد ضروری می‌نماید؟

زیاد	۱۰۰٪
متوسط	–
کم	–
ضروری نیست	–
کاربرد ندارد	–

به نظر شما تغییر در واحدهای درسی برخی دروس اختیاری از ۳ واحد به ۲ واحد و به‌تبع آن افزایش تعداد دروس قابل اخذ جهت ارائه مطالب متنوع‌تر و کاربردی‌تر مناسب است؟

زیاد	۲۵٪
متوسط	۷۵٪
کم	
ضروری نیست	
کاربرد ندارد	

به نظر شما حذف سمینار از چارت درسی و ارائه یک درس دو واحدی به‌جای آن چقدر مفید است؟

زیاد	–
متوسط	۲۵٪
کم	۲۵٪

ضروری نیست	۵۰٪
کاربرد ندارد	–

با توجه به گسترش فعالیت‌های بین‌رشته‌ای آیا اخذ دروس اختیاری از سایر گرایش‌های مهندسی شیمی مانند کنترل پلیمر، نانو فناوری، بیو تکنولوژی و مباحث انرژی‌های نو و تجدید پذیر هیدروژن و ... در گرایش طراحی فرآیند مفید است؟

زیاد	–
متوسط	۷۵٪
کم	۲۵٪
ضروری نیست	–
کاربرد ندارد	–

به نظر شما بازدیدهای صنعتی در چه دروسی می‌تواند مفید باشد؟

پاسخ افراد: سینتک، پدیده‌های انتقال و طراحی راکتور – طراحی تجهیزات فرآیندی – بازدید هدفمند در تکمیل مباحث تئوری – فرآیندهای گاز و پتروشیمی

با توجه نظرسنجی انجام شده نتایج زیر به دست آمد:

- اهمیت بازدیدهای صنعتی بسیار زیاد و حیاتی ارزیابی گردید.
- میزان اهمیت تغییر واحدهای درسی از ۳ به ۲ واحد حدودی و متوسط ارزیابی شد و چندان مورد استقبال قرار نگرفت.
- میزان اهمیت حذف سمینار کم و غیرضروری ارزیابی شد. لذا وجود درس سمینار از دید پاسخ‌دهندگان بالا می‌باشد.
- میزان اهمیت اخذ درس از گرایش‌های نوین‌تر مهندسی شیمی تا حدودی متوسط و نسبی ارزیابی گردیده است.

۵-۶ بررسی سؤالات تکمیلی‌تر

به نظر شما به‌غیراز دروس و نرم‌افزارهای گفته‌شده چه مواردی کاربردی دیگری می‌تواند در گرایش طراحی فرآیند مهم و کاربردی باشد؟

- حداقل دو واحد کارآموزی در مدت ۲ ماه در پالایشگاه‌ها و واحدهای پتروشیمی، طراحی ماشین‌های دوار و کمپرسورها (بحث سرج و غیره)
- آشنایی با شرایط واقعی کار در صنعت و واحدهای فرآیندی
- اخذ پایان‌نامه‌های کاربردی و صنعتی، بهره‌گیری از اساتید صنعتی

۶-۶ دلالت‌های پایش کارفرمایان

بر اساس نظرسنجی اهمیت دروس پدیده‌های انتقال، محاسبات عددی پیشرفته و ترمودینامیک پیشرفته نسبتاً زیاد برآورد می‌گردد.

- از بین دروس اختیاری ذکر شده در فایل پرسشنامه، هیچ درسی بدون اهمیت ذکر نشده است، اما دروس با اهمیت بالا دروسی همچون مدل‌سازی و شبیه‌سازی، طراحی فرآیند به کمک کامپیوتر، انتگراسیون فرآیندها، بهینه‌سازی، طراحی تجهیزات فرآیندی، طراحی مفهومی فرآیند، ایمنی در فرآیندهای شیمیایی، کنترل فرآیند پیشرفته می‌باشند. لذا سه درس طراحی مفهومی فرایندها، کنترل پیشرفته و ایمنی در فرایندهای شیمیایی به‌عنوان دروس پیشنهادی جهت اضافه شدن به لیست دروس گرایش طراحی فرایند انتخاب شدند.
- از بین نرم‌افزارهای عمومی، نرم‌افزار MATLAB دارای اهمیت بالا بوده است. لذا پیشنهاد می‌شود به‌عنوان نرم‌افزار مناسب برای دروس مرتبط (مانند مدل‌سازی و شبیه‌سازی و بهینه‌سازی) در سرفصل دروس و یا برای انجام پروژه‌های مرتبط با دروس مورداستفاده قرار بگیرد.
- دو نرم‌افزار ASPEN HYSYS و ASPEN PLUS دارای درجه اهمیت یکسان و بالایی از بین نرم‌افزارهای استاتیکی و نرم‌افزار ASPEN DYNAMIC دارای اهمیت بالا در بین نرم‌افزارهای دینامیکی فرایند بوده‌اند. پیشنهاد می‌شود این نرم‌افزارها برای تدریس دروسی همچون طراحی به کمک نرم‌افزار و کنترل پیشرفته استفاده شوند.

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

فصل هفتم

باهم نگری و نتیجه‌گیری

۷-۱ رابطه مطالعات انجام شده با برنامه درسی:

با توجه به مطالعات انجام شده پیرامون دروس دانشگاه‌های داخل و خارج از کشور و نتایج حاصل از تکمیل پرسشنامه توسط دانش‌آموختگان و کارفرمایان نتایج ذیل حاصل شد:

- در کلیه دانشگاه‌های موردبررسی خارج از کشور دروس ارائه شده و مرتبط با گرایش طراحی فرآیند عموماً با دانشگاه‌های داخل مشترک می‌باشند؛ لیکن دروسی در برنامه درسی آن‌ها وجود دارد که خلأ آن‌ها در دانشگاه فردوسی مشهد محسوس است. از این دروس می‌توان به دروس طراحی مفهومی فرآیندها و ایمنی فرایندها اشاره کرد. این دروس می‌توانند به چارت دانشگاه فردوسی مشهد اضافه شود.
- از نقاط قوت چارت دانشگاه فردوسی مشهد می‌توان به وجود دروسی همچون بهینه‌سازی، طراحی به کمک کامپیوتر، انتگراسیون فرآیندها، مدل‌سازی و شبیه‌سازی و طراحی تجهیزات فرآیندی اشاره نمود که در چارت دانشگاه‌های خارج از کشور نیز وجود دارند.
- از بین نرم‌افزارهای عمومی، نرم‌افزار MATLAB دارای اهمیت بالا بوده است. لذا پیشنهاد می‌شود به‌عنوان نرم‌افزار مناسب برای دروس مرتبط (مانند مدل‌سازی و شبیه‌سازی و بهینه‌سازی) در سرفصل دروس و یا برای انجام پروژه‌های مرتبط با دروس مورداستفاده قرار بگیرد.
- همچنین برخی دیگر از نرم‌افزارهای تخصصی مرتبط به سرفصل دروس اضافه شوند.
- برنامه‌ریزی پیرامون افزایش تعداد بازدیدهای صنعتی در قالب دروس مختلف ضروری است.
- ارائه دروس اختیاری با تنوع بیشتر جهت اخذ توسط دانشجویان علاقه‌مند به حوزه‌های مختلف، مناسب است. لذا در برنامه جدید پیشنهادی تنوع دروس اختیاری موردتوجه قرار گرفت.

اهم تغییرات انجام شده در برنامه درسی به این شرح است:

- درس طراحی مفهومی فرایندها که هم در لیست دروس دانشگاه‌های داخلی و هم در لیست دروس دانشگاه‌های خارجی (تحت عناوین مشابهی مانند تجزیه‌وتحلیل فرآیندها) وجود داشت به‌عنوان درس اصلی گرایش جایگزین درس طراحی به کمک کامپیوتر شد.
- درس طراحی به کمک کامپیوتر در لیست دروس اختیاری قرار گرفت.
- دروس ترمودینامیک پیشرفته، ایمنی در فرآیندها، طراحی و تحلیل راکتورهای بسترسیال، دینامیک سیالات محاسباتی، مهندسی محیط‌زیست پیشرفته، افزایش مقیاس در فرایندهای شیمیایی، روش‌های پژوهشی و مدیریت پروژه به لیست دروس اختیاری اضافه شد.

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

- برای کلیه دروس جدیدی که فاقد سرفصل بودند (دینامیک سیالات محاسباتی، طراحی و تحلیل راکتورهای بسترسیال، کنترل فرایند پیشرفته، طراحی به کمک کامپیوتر، مهندسی محیط‌زیست پیشرفته، روش‌های پژوهشی و مدیریت پروژه) سرفصل جدید تعریف شد.
- دروسی تحت عناوین "کنترل آلودگی هوا، مدیریت پسماندهای جامد و تصفیه آب و فاضلاب" در سرفصل مصوب وزارت علوم هر یک به ارزش ۳ واحد وجود دارد؛ اما در بازنگری دروس گرایش فرایند بجای این سه درس، یک درس جدید با عنوان "مهندسی محیط‌زیست پیشرفته" تعریف و سرفصل جدید برای آن تدوین شد که تلفیقی از سرفصل سه درس اشاره شده می‌باشد.
- سرفصل درس محاسبات عددی پیشرفته بروز شد.
- سرفصل درس سینتیک و طراحی راکتور پیشرفته اندکی تغییر یافت. موارد خاص مرتبط با طراحی بیوراکتورها و واکنش‌های پلیمریزاسیون به سرفصل اضافه شد. همچنین تمرکز بیشتری بر سینتیک واکنش‌های کاتالیستی اعمال شد.
- برای درس پدیده‌های انتقال سرفصل جدید تعریف شد. سرفصل‌های موجود مصوب وزارتخانه برای دروسی با عناوین "پدیده‌های انتقال در محیط‌های متخلخل، پدیده‌های انتقال در سامانه‌های پلیمری، پدیده‌های انتقال در صنایع غذایی و پدیده‌های انتقال در نانو فناوری " می‌باشد.
- سرفصل درس مدل‌سازی و مشابه‌سازی کامل‌تر ارائه شد.
- سرفصل درس بهینه‌سازی کامل‌تر ارائه شد.
- سرفصل درس ایمنی در فرایندهای شیمیایی اندکی تغییر یافت.
- سرفصل درس طراحی تجهیزات فرایندی اندکی تغییر یافت. سایزینگ پمپ‌ها، طراحی تجهیزات دوار و تعیین اندازه لوله‌ها به سرفصل اضافه شد.
- کاربرد نرم‌افزارهای تخصصی به سرفصل اکثر دروس اضافه شد.
- عنوان درس "انتگراسیون فرایندها" به "یکپارچه‌سازی فرایندها و تکنولوژی پینچ" تغییر یافت. در سرفصل مصوب وزارت علوم عنوان درس "بازیافت انرژی در فرایندهای شیمیایی " است.
- عنوان "طراحی مفهومی فرآیندها" برای درس جدید تعریف شد که با عنوان مصوب وزارت علوم "طراحی پایه و تفصیلی فرایندهای شیمیایی" متفاوت است. سرفصل درس طراحی مفهومی دارای تغییراتی با سرفصل مصوب وزارت علوم است. قسمت‌های مربوط به تکنولوژی پینچ از این درس حذف شد (به‌منظور جلوگیری از

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

همپوشانی با سرفصل درس یکپارچه‌سازی فرایندها و تکنولوژی پینچ). همچنین قسمت‌هایی جهت شبیه‌سازی فرایند به سرفصل جدید اضافه شد که قبلاً در سرفصل درس "طراحی به کمک کامپیوتر بود. به‌این‌ترتیب دانشجو با گذراندن این درس نیازی به اخذ درس "طراحی به کمک کامپیوتر" نخواهد داشت.

۷-۲ برنامه درسی پیشنهادی

برنامه پیشنهادی بر اساس جدول ۱-۷ ارائه گردید که مقایسه‌ای نیز با برنامه قبلی در جدول مزبور وجود دارد:

دانشگاه فردوسی مشهد

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه

جدول ۱-۷ مقایسه برنامه درسی قدیم و جدید

ردیف	عنوان دروس جاری	تعداد واحد (فعلی)	عنوان دروس پیشنهادی (جدید)	تعداد واحد (پیشنهادی)	تغییر عنوان	تغییر تعداد واحد	تغییر نوع واحد	درس حذف‌شده	تغییر مشخصات
۱	سینتیک و طراحی راکتور پیشرفته	۳	سینتیک و طراحی راکتور پیشرفته	۳	خیر	خیر	خیر	خیر	تغییر جزئی سرفصل
۲	محاسبات عددی پیشرفته	۳	محاسبات عددی پیشرفته	۳	خیر	خیر	خیر	خیر	تغییر سرفصل
۳	پدیده‌های انتقال	۳	پدیده‌های انتقال	۳	خیر	خیر	خیر	خیر	سرفصل جدید
۴	طراحی به کمک کامپیوتر	۳	طراحی مفهومی فرایندها	۳	بلی	خیر	خیر	بلی	انتقال از اصلی به اختیاری
۵	سمینار	۲	سمینار	۲	خیر	خیر	خیر	خیر	-
۶	پایان‌نامه	۶	پایان‌نامه	۶	خیر	خیر	خیر	خیر	-
۷	انتگراسیون فرایندها	۳	یکپارچه‌سازی فرآیندها و تکنولوژی پنج	۳	بلی	خیر	خیر	خیر	-
۸	بهینه‌سازی در مهندسی شیمی	۳	بهینه‌سازی فرایندها در مهندسی شیمی	۳	تا حدودی	خیر	خیر	خیر	تغییر سرفصل نسبت به سرفصل وزارت علوم
۹	طراحی تجهیزات فرایندی	۳	طراحی تجهیزات فرایندی	۳	خیر	خیر	خیر	خیر	تغییر اندک سرفصل نسبت به سرفصل وزارت علوم
۱۰	مدل‌سازی و مشابه‌سازی	۳	مدل‌سازی و مشابه‌سازی	۳	خیر	خیر	خیر	خیر	تغییر سرفصل نسبت به سرفصل وزارت علوم
۱۱	-	۳	کنترل فرایند پیشرفته	۳	خیر	خیر	خیر	خیر	سرفصل جدید
۱۲	-	-	ایمنی در فرایندها	۳	-	-	-	-	تغییر اندک سرفصل نسبت به سرفصل وزارت علوم
۱۳	-	-	طراحی و تحلیل راکتورهای بسترسیال	۳	-	-	-	-	سرفصل جدید
۱۴	-	-	ترمودینامیک پیشرفته	۳	-	-	-	-	–
۱۵	-	-	طراحی به کمک کامپیوتر	۳	-	-	-	-	انتقال از اصلی به اختیاری و تغییر جزئی سرفصل.
۱۶	-	-	دینامیک سیالات محاسباتی	۳	-	-	-	-	سرفصل جدید
۱۷	-	-	مهندسی فرایندهای محیط‌زیست پیشرفته	۳	-	-	-	-	سرفصل جدید
۱۸	-	-	افزایش مقیاس در فرایندهای شیمیایی	۳	-	-	-	-	-
۱۹	-	-	مدیریت پروژه	۲	-	-	-	-	سرفصل جدید
۲۰			روش‌های پژوهشی	۲	-	-	-	-	سرفصل جدید

شورای برنامه ریزی درسی دانشگاه دانشگاه فردوسی مشهد