

تحلیلی بر درس موازنه ماده و انرژی و نحوه تدریس آن

جلال الدین شایگان*، حسن پهلوانزاده**

* دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی شریف

** بخش مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده: در ابتدا به مفهوم مهندسی فرایند به عنوان تمایز اصلی مهندسی شیمی با سایر رشته‌های مهندسی توجه شده و سپس جایگاه درس موازنه ماده و انرژی در زنجیره دروس اصلی مهندسی شیمی تبیین شده است. با توجه به اینکه درس موازنه به عنوان زیربنای اصلی رشته و کلید ورود به این حرفه مطرح است، سرفصل درس به همراه بخش‌های مختلف هر فصل و زمان لازم برای آنها به صورت جدولی ارائه شده است. برای ارائه موفق درس و درک بهتر دانشجویان، مشخصات استاد درس، تعداد آزمون‌ها و نحوه برگزاری آنها در هر ترم به‌طور مشخص نیز پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: مهندسی شیمی، موازنه ماده و انرژی، روش‌های تدریس.

سالهاست که بحث در باره اسم رشته "مهندسی شیمی"^۱ مطرح است. بسیاری از کارشناسان این رشته معتقدند که عنوان "مهندسی شیمی" برای این رشته رسای محتوای آن نیست و بیشتر آن را با شیمی مرتبط می‌کند. در حالی که بنابه تعریفی که در سال ۱۹۵۴ میلادی توسط انجمن مهندسين شیمی آمریکا^۲ ارائه شده است [۱]، بدین گونه است که:

"مهندسی شیمی تخصصی است که در آن دانش ریاضی، فیزیک، شیمی، علوم مهندسی و زمینه‌های صنعتی شیمی که از طریق مطالعه، تجربه و کار عملی کسب شده‌اند همراه با قضاوت صحیح مهندسی به کار گرفته می‌شوند تا راه‌های بهینه و اقتصادی برای استفاده از مواد و انرژی به نفع جوامع بشری به وجود آید."

در این تعریف ملاحظه می‌شود که استفاده از دانش فیزیک به همان اندازه دانش شیمی در ساختار این رشته نقش دارد، به علاوه موضوعی که در این تعریف هم به آن توجه شده است، اصول علم ریاضی است که اهمیت آن در بنای این رشته از هر دو نیز مهمتر است. با عنایت به اینکه پایه سایر رشته‌های مهندسی از جمله مهندسی مکانیک نیز بر اساس مبانی فیزیک و ریاضی استوار است، می‌توان چنین مطرح کرد که مهندسی شیمی رشته‌ای از مهندسی است که در آن مبانی علم شیمی نیز به کار گرفته شده است.

برای رفع این شبهه پیشنهاد شده است که عنوان مهندسی شیمی با عنوان "مهندسی فرایند"^۳ تعویض شود [۲]. اگرچه این عنوان کاملاً برآزای این رشته است، اما عده‌ای نیز معتقدند با تغییر اسم گسستی در سابقه این رشته ایجاد خواهد شد که ممکن است مدتها ابهاماتی را باعث شود. این محرز است که مهندسی شیمی در واقع، علم شناخت و تجزیه و تحلیل فرایندهاست. در سایه این شناخت است که مهندسان شیمی طراحی فرایندها را انجام می‌دهند و کارشناسان سایر رشته‌های مهندسی از جمله مهندسی ساختمان، مهندسی مکانیک، مهندسی برق و مهندسی مواد کار ساخت را تکمیل می‌کنند. به عنوان مثال، یک پالایشگاه

۱. Chemical Engineering

۲. American Institute of Chemical Engineering

۳. Process Engineering

نفت یا یک کارخانه قند ابتدا توسط مهندسان شیمی طراحی می‌شود، به این مفهوم که فرایندهای مورد نیاز برای پالایش نفت یا تولید شکر از چغندر شناسایی و با توجه به ظرفیت مورد نظر طراحی و شرایط عملیاتی مشخص می‌شود و بر اساس آنها دیاگرام فرایند^۱ تولید شکل می‌گیرد. تهیه این دیاگرام و ضمایم مربوط به آن کار اصلی مهندسان شیمی است. بیشتر عملیات در دو واحد فرایندی ذکر شده عملیات فیزیکی است، از جمله تقطیر، تبخیر، استخراج، فیلتراسیون و خشک کردن. اگرچه بعضی واکنش‌های شیمیایی نیز در فرایند کلی تولید وجود دارد که از جمله می‌توان به فرایند تخلیص شربت قند با استفاده از آهک و گازکربنیک در تولید شکر یا واکنش‌های انجام شده در واحد کراکینگ و ایزوماکس پالایشگاه نفت اشاره کرد.

۲. اهمیت و جایگاه درس "موازنه ماده و انرژی" در مهندسی شیمی

تمام مطالب ارائه شده در درس موازنه - که در بخش بعد به‌طور مفصل به آن پرداخته خواهد شد - در دروس دیگر رشته مهندسی شیمی از جمله ترمودینامیک، شیمی فیزیک، مکانیک سیالات، انتقال حرارت و جرم و عملیات واحد به‌طور مفصل مطرح می‌شود. اما با این حال، همهٔ مدرسان رشته مهندسی شیمی اذعان دارند که درس موازنه اساسی‌ترین درس این رشته است و معمولاً بخش‌های معروف مهندسی شیمی دنیا زبده‌ترین و پرسابقه‌ترین استادان خود را برای تدریس این درس انتخاب می‌کنند^۲. در واقع، دانشجویی که در این درس ثبت‌نام می‌کند، دانشجوی رشته مهندسی است که با مبانی دروس فیزیک، ریاضی و شیمی آشنا شده است، اما هنوز هیچ تصویری از "فرایند" و مفهوم آن در ذهن خود ندارد. خمیر نرمی است که می‌تواند به شکل‌های مختلف مهندسی درآید. استاد درس موازنه کار مشکل شکل‌دهی این خمیر بی‌شکل را بر عهده دارد. البته، در بخش دیگری به توانایی‌هایی که این استاد باید در شکل‌دهی افکار دانشجویان نیز داشته باشد اشاره خواهد شد، اما نکته‌ای که ذکر آن در اینجا

۱. Process Flow Diagram (PFD)

۲. متأسفانه، در ایران به این نکته کمتر توجه شده و در بسیاری موارد دیده شده است که استاد این درس کمترین سابقه را چه از نظر تدریس و چه از نظر کار در صنعت در بین همکاران بخش خود دارد.

ضروری است، اشاره به هنر استاد درس در ساخت پایه‌های فکری دانشجویان است. متأسفانه، صرف مطرح کردن فصول درس و تدریس آنها - حتی به صورت جامع و کامل - تمام اهداف در نظر گرفته شده برای این درس را نمی‌پوشاند. در نهایت، در انتهای درس خمیرمایه دانشجو باید شکل فرایندی به خود گرفته باشد و به‌طور طبیعی فرایندی فکر کند. توجه شود که همین دانشجو با همان سابقه علمی و با همان هوش و استعداد اگر به بخش عمران برود، هیچ‌وقت نمی‌تواند فرایندی فکر کند و لذا همواره با فرایند به معنی مهندسی فرایند بیگانه است. دیده شده است که مهندسان عمران که بعضاً درگیر عملیات فرایندی می‌شوند - از جمله مهندسان عمرانی که به کار طراحی یا راهبری تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب مشغول هستند - پایه فکری آنها بر اساس تجربه و جداولی است که مبانی طراحی برای آنها به‌طور خلاصه آورده شده است؛ به عبارت دیگر، مهندس عمران به دلیل عدم شناخت فرایند از درک واحدهای فرایندی که در چنین تصفیه‌خانه‌هایی باید به کار گرفته شود عاجز است و خود نمی‌تواند با توجه به شرایط خاص آب یا فاضلاب ورودی و در نظر گرفتن شرایط محیطی و امکانات محلی تغییرات عمده‌ای در ابعاد یا جابه‌جایی واحدها پدید آورد.

دیده شده است که بعضی از دانشجویان علی‌رغم اینکه از توانایی‌های خوبی برخوردارند و نمرات آنها در دروس فیزیک و ریاضی نیز در حد مطلوب است، مطالب این درس را به‌طور عمیق دریافت نمی‌کنند و علی‌رغم تلاش مدرس پیشرفت قابل قبولی از خود نشان نمی‌دهند.

افتادن بار اول در درس موازنه شاید خیلی غیرعادی نباشد، چه بسیاری از دانشجویان در شکل‌پذیری خمیره خود مقاومت نشان می‌دهند. اما چنانچه دانشجویی برای بار دوم هم در درک این درس با مشکل مواجه شد، می‌توان پذیرفت که این دانشجو برای رشته مهندسی شیمی مناسب نیست و اگر هم در این رشته ادامه تحصیل دهد، مهندس شیمی خوبی از آب در نخواهد آمد. به همین دلیل، درس موازنه را گاهی به عنوان کلید ورود به این رشته نام گذاشته‌اند و نیز به این دلیل است که در برخی از بخش‌های مهندسی شیمی افتادن بیش از دوبار در این درس اخراج از این رشته را به دنبال خواهد داشت.

۳. مطالب و محتوای درس موازنه

در بررسی و تحلیل هر فرایندی نیاز به آشنایی با مفاهیم و تعاریف اولیه و همچنین، شناخت اصول و قوانین عمومی و خصوصی حاکم بر فرایندهاست. از جمله قوانین کلی حاکم بر فرایندها می توان از اصل بقای جرم، اصل بقای انرژی و اصل بقای مقدار حرکت نام برد. این قوانین به نوع فرایند و نوع و شکل سیستم بستگی ندارد، بلکه برای هر فرایندی بدون هیچ محدودیتی برقرار است، در حالی که قوانین خصوصی بدون محدودیت نیستند و به نوع فرایندی و نوع سیستم بستگی دارند و در هر سیستمی قابل استفاده نیستند. بحث قوانین کلی بیشتر در درس موازنه ماده و انرژی مطرح می شود. اصول کلی که بیشتر در فرایندهای مهندسی شیمی به آنها نیاز است، اصل بقای جرم و اصل بقای انرژی است که به صورت جامع در این درس به آنها پرداخته می شود. آموزش این اصول مهم در مهندسی شیمی نیاز به ارائه یک سری تعاریف و مفاهیم نیز دارد. مجموعه این تعاریف و چگونگی اعمال اصول بقای جرم و انرژی در یک سیستم فیزیکی یا شیمیایی در حالت پایدار با زمان یا ناپایدار با زمان بخش اصلی درس را شامل می شود. علاوه بر آن، در این درس با به کارگیری اصول کلی در یک سیستم می توان مجهولات ورودی یا خروجی سیستم را به دست آورد.

جدول ۱ برنامه درس موازنه ماده و انرژی

تعداد فصل	عنوان فصل	شرح مطالب هر فصل	زمان اختصاص یافته
فصل اول	آشنایی با مهندسی شیمی و محاسبات مهندسی	آشنایی با مهندسی شیمی و دامنه کاربرد آن در صنایع مختلف (صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، صنایع غذایی، صنایع شیمیایی، صنایع دارویی، بیوتکنولوژی، محیط زیست، صنایع الکترونیک، مهندسی ژنتیک و پزشکی، سیستم واحدها، مبنای محاسبات، دما فشار خواص فیزیکی و شیمیایی مواد ترکیبی و مخلوطها، روش های آنالیز و اندازه گیری، روش های حل مسئله، فرمول های شیمیایی و استوکیومتری و بعضی تعاریف مورد نیاز در مسائل و واکنش های شیمیایی از قبیل درصد تبدیل، درصد مواد اضافی، درجه تکمیل واکنش ماده محدودکننده واکنش، بازدهی و Selectivity	(۱۲+۸) ساعت (۳+۲ هفته)

ادامه جدول ۱ برنامه درس موازنه ماده و انرژی

فصل دوم	موازنه‌های ماده	تعریف و انواع سیستم‌های باز و بسته (سیستم لاگرانژی و اولری)، موازنه ماده، آنالیز مسائل موازنه ماده در فرایندهای پیوسته، ناپیوسته و نیمه‌پیوسته، موازنه ماده در سیستم‌های چند جزئی شیمیایی و فیزیکی از قبیل: احتراق، فرایندهای جداسازی و اختلاط، موازنه ماده در فرایندهای با جریان برگشتی، جریان حذفی و جریان میان‌بر، حل مسائل سیستم‌های چندواحدی	۱۰ ساعت (۲/۵ هفته)
فصل سوم	گازها، مایعات و جامدات	گازهای ایده آل و غیرایده آل، مخلوط گازهای ایده آل و غیرایده آل، فشار بخار مواد، بخار اشباع، بخار داغ، مخلوط گاز و بخار، چگونگی تشخیص بخار داغ و بخار اشباع، اشباع جزئی، اشباع مطلق، اشباع جزئی و رطوبت، بیلان‌های ماده همراه با میعان و تبخیر، پدیده‌های فازی	۱۰ ساعت (۲/۵ هفته)
فصل چهارم	موازنه‌های انرژی	تعاریف دید ماکروسکوپی و میکروسکوپی، معرفی انواع انرژی‌ها و تبدیل آنها به یکدیگر، ظرفیت گرمایی، آنتالپی، معادلات تغییرات آنتالپی در یک فاز و تغییر فاز، حرارت محسوس، حرارت نهان، حرارت واکنش، حرارت انحلال و اختلاط، قانون هنری و راولت، موازنه انرژی در فرایندهای بدون واکنش، موازنه انرژی در فرایندهای همراه با واکنش شیمیایی، حالت‌های خاص موازنه انرژی (قانون اول ترمودینامیک، موازنه انرژی مکانیکی)، موازنه انرژی در فرایندهای احتراق	۱۲ ساعت (۳ هفته)
فصل پنجم	کاربردهای موازنه‌های ماده و انرژی توأم با هم	موازنه‌های همزمان ماده و انرژی، نمودارهای (آنتالپی - غلظت)، نمودارهای رطوبت و کاربرد آنها، مسائل ترکیبی و پیچیده	۸ ساعت (۲ هفته)
فصل ششم	بیلان‌های ماده و انرژی در شرایط غیریکنواخت	بیلان ماده در شرایط غیریکنواخت، بیلان انرژی در شرایط غیریکنواخت، بیلان ماده و انرژی توأم با هم در شرایط غیریکنواخت	۸ ساعت (۲ هفته)
جمع			۶۴ ساعت (۱۶ هفته)

با توجه به نکات ذکر شده، فصول کلی و جزئیات هر فصل و زمانی که لازم است هر فصل به آن اختصاص داده شود، در جدول شماره ۱ داده شده است. این برنامه با توجه به اینکه درس موازنه در چهار واحد ۱۶ هفته‌ای (جمعاً ۶۴ ساعت) ارائه می‌شود، تنظیم یافته است.

۴. تعداد واحد و پیش‌نیاز درس

در تعدادی از بخش‌های مهندسی شیمی درسی - یک یا دو واحدی - با عنوان "آشنایی با مهندسی شیمی و دامنه کاربرد آن" ارائه می‌شود که با توجه به مهاجور بودن رشته مهندسی شیمی برای بسیاری از دانش‌آموزان قبل از ورود به دانشگاه شناخت خوبی از این رشته را به آنها می‌دهد. در این درس ضمن آنکه سعی می‌شود صنایع مختلفی که مهندس شیمی در آنها می‌تواند مشغول کار باشد به صورت سمعی و بصری و حتی بازدید از واحد صنعتی به دانشجویان شناسانده شود، عملیات و فرایندهای واحد نیز که به طور مشابه در صنایع مختلف به کار گرفته می‌شود، در ذهن دانشجویان جای می‌گیرد. وجود این درس باعث می‌شود که دانشجویان با علاقه بیشتری به رشته انتخاب شده خود توجه کنند و نگران تغییر رشته به سایر بخش‌های مهندسی نباشند. اگر چنین درسی در برنامه دروس گنجانده شده باشد، در این صورت ۱۲ ساعت وقت اختصاص یافته برای آشنایی با مهندسی شیمی و دامنه کاربرد آن در فصل اول (جدول شماره ۱) می‌تواند حذف و بقیه درس در ۳ واحد به صورت فشرده‌تر ارائه شود. در غیر این صورت، همان‌طور که در ستون آخر جدول ۱ ملاحظه می‌شود، زمان لازم برای ارائه درس ۶۴ ساعت معادل ۴ واحد پیش‌بینی شده است.

در حال حاضر، در بیشتر بخش‌های مهندسی شیمی دانشگاه‌های کشور درس موازنه در ترم سوم ارائه می‌شود. از آنجا که دانشجو با اخذ واحد موازنه هویت حرفه‌ای خود را شروع می‌کند و تا قبل از آن مشغول گذراندن واحدهای عمومی است، عملاً نمی‌تواند با بخش مهندسی شیمی و استادان مربوط ارتباطی برقرار کند. از طرف دیگر، به دلیل طولانی بودن زنجیره دروسی که بعد از موازنه دانشجو باید اخذ کند، افتادن حتی یک‌بار درس موازنه به برنامه‌ریزی ترم‌های بعدی لطمه وارد می‌سازد. از این رو بعضی از بخش‌های مهندسی شیمی از جمله دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی شریف [۳] در تجدیدنظر برنامه‌های درسی ارائه موازنه را در ترم دوم منظور کرده است. انتظار می‌رود سایر بخش‌های مهندسی شیمی

نیز این تغییر را در برنامه‌های خود لحاظ کنند.

۵. نحوه تدریس

همان‌طور که اشاره شد، مواد اصلی درس موازنه قوانین کلی فیزیک و شیمی است و ریاضیات مورد نیاز نیز از حد ریاضیات ساده مهندسی تجاوز نمی‌کند که از این بابت درس بسیار ساده‌ای به نظر می‌رسد. اما از آنجا که این قوانین باید در فرایندهای مختلف مهندسی شیمی کاربرد پیدا کنند، درک فرایندها نیاز به زمان و ممارست بسیار دارد. از این رو درس موازنه باید مملو از مثال‌ها و تمرین‌های مختلف باشد. به عنوان مثال، بخش اول کتاب همیل بلو [۴] متجاوز از ۱۳۰ مثال حل شده و مسئله حل نشده دارد. مثال‌های مختلف باعث می‌شود که دانشجو فرایند را درک و آن را هضم کند. به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که تدریس باید بر پایه ارائه مثال‌های مختلف و وادار کردن دانشجو به تفکر و حل مسئله استوار شود. معمولاً علاوه بر ساعات درس، چند ساعت نیز به عنوان کلاس حل تمرین در برنامه هفتگی گنجانده می‌شود تا فرصت بیشتری برای تحلیل مثال‌های مختلف پیش آید. برگزاری کوئیزهای متعدد و امتحانات میان‌ترم از ضروریات تدریس این درس است. به علاوه، جدی گرفتن تکالیف منزل نیز باید همواره مدنظر قرار گیرد.

متأسفانه، کلاس‌های حل تمرین معمولاً توسط دانشجویان دوره کارشناسی ارشد یا دانشجویان سال‌های بالاتر اداره می‌شود. این دستیاران نیز کلاس تمرین را صرفاً به حل بعضی از مسائل اختصاص می‌دهند و دانشجویان درس نیز به کپی برداری از حل مسائل بسنده می‌کنند. این شیوه اداره کلاس حل تمرین متأسفانه نه تنها به ایجاد توانایی در حل مسائل جدید و شکوفایی خلاقیت‌ها کمک نمی‌کند، بلکه تا حدی نیز به تنبلی فکری کمک می‌کند. بررسی‌های اخیر [۵] نشان داده است که دانشجویان فقط به صورت کلیشه‌ای حل بعضی از مسائل را فرا می‌گیرند و چنانچه مسائلی به غیر از مسائل حل شده به آنها داده شود، از حل آنها عاجز می‌مانند. استادان نیز برای بالانگه داشتن درصد قبولی در امتحانات مسائل امتحانی را از بین مسائل حل شده یا صرفاً با تغییر اعداد آن انتخاب می‌کنند.

در فصل اول از مطالب درس (جدول ۱) بخشی با عنوان "روش‌های حل مسئله" ارائه شده است. هدف از این بخش ارائه دستورالعمل‌های کلی برای برخورد سیستماتیک دانشجو با

مسائل و ایجاد نظم و توانایی در حل آنهاست. این اعتقاد در بین استادان وجود دارد که حل یک مسئله توسط خود دانشجو بهتر از حل کردن چندین مسئله برای دانشجوست. ایجاد جو پرسش و پاسخ، دادن روح تفکر به کلاس و اجازه دادن استاد برای اظهارنظر دانشجویان در ارائه راه حل، محیط کلاس را از حالت استاد محوری به دانشجو محوری تبدیل می‌کند. دانشجویان عادت می‌کنند که از حالت شنونده مطلق خارج شوند و با ارائه نظر شخصیت علمی خود را رشد دهند.

۶. مشخصات استاد درس

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، دانشجو در بدو شروع درس موازنه خمیر خامی است که هیچ‌گونه رنگ و بوی فرایندی ندارد و اگر استاد درس بخواهد فقط سرفصل‌های ارائه شده در جدول ۱ را در قالب یک کتاب درسی ارائه کند، نتیجه آن دانشجویی است که تا آخر دوره لنگ خواهد زد. ارائه چشم‌اندازهای کلی از صنایع فرایندی مختلف و مطرح کردن مثال‌های عملی در محدوده سرفصل‌های داده شده کمک می‌کند که دانشجو جریان‌های مواد و انرژی را در یک فرایند لمس کند. بسیار دیده شده است که برای درک بعضی از مفاهیم لازم است با ذکر مثال‌های متعدد ذهن دانشجو را آماده پذیرش کرد. صبر و تحمل استاد در چنین مواردی بسیار مهم است. تجربه صنعتی استاد و تسلط به فرایندهای مختلف نیز از جمله پیش‌نیازهای اساسی برای استاد درس موازنه است.

جدول ۲. مشخصات کلی استاد درس موازنه ماده و انرژی

شرح	خصوصیات استاد
سابقه تدریس چندساله در دروس مختلف مهندسی شیمی	آشنایی با تدریس
داشتن تجربه‌های صنعتی، کار مستقیم در صنعت یا ارائه مشاوره‌های صنعتی	تجربه صنعتی
آشنایی با کتاب‌های درسی مختلف در زمینه موازنه ماده و انرژی و مطالعه آنها	علاقه‌مندی
اعتقاد به تربیت مهندسان شیمی با کیفیت و خلاقیت بالا	انگیزه

۷. نحوه آزمون و ارزیابی

باید در نظر داشت که آزمون درس موازنه نمی‌تواند به امتحان آخر ترم همراه با یک یا دو امتحان میان‌ترم محدود شود. همه کلاس‌های درس موازنه باید به نحوی حالت آزمون به خود بگیرد، چه در این صورت است که دانشجو در کلاس درس به صورت "سیاهی لشکر" شرکت نمی‌کند و همواره با آمادگی کامل حضور می‌یابد. تعیین جایزه برای جواب‌های بهتر به پرسش‌های مطرح شده در کلاس، برگزاری کوئیزهای بی‌خبر و در نظر گرفتن نمرات مناسب برای آنها و برگزاری چند نوبت امتحانات میان‌ترم می‌تواند مکمل‌های خوبی برای امتحان آخر ترم باشد. استفاده نکردن از سؤالات امتحانی ترم‌های قبل و دادن مسائل جدید در آزمون‌های میان‌ترم و آخر ترم باعث می‌شود که دانشجو متکی به قدرت تفکر خود بار آید و از حفظ کردن مسائل بی‌نیاز شود.

شایان ذکر است که بسیاری از دانشجویان حالت رباتی پیدا کرده‌اند، به این مفهوم که اگر به آنها مسائلی در حد مثال‌هایی که قبلاً برایشان حل شده است داده شود با توجه به دستورهای ذخیره شده در حافظه‌شان قادر به حل مسئله خواهند بود، در غیر این صورت فاقد هرگونه ابتکار و خلاقیت هستند.

ارزیابی نهایی دانشجو را می‌توان با توجه به جدول ۳ انجام داد.

جدول ۳. سهم فعالیت‌های دانشجو در ارزیابی نهایی

میزان تأثیر در ارزیابی نهایی	نوع فعالیت
تا ۲ نمره	۱. شرکت فعال در بحث‌های کلاس درس و تمرین و دادن جواب‌های مناسب
تا ۳ نمره	۲. شرکت در کوئیزهای کلاس و ارائه جواب‌های مناسب
تا ۵ نمره	۳. شرکت در امتحان‌های میان‌ترم (حداقل دوبار)
تا ۲ نمره	۴. ارائه حل برای مسائل داده شده در تکالیف منزل
تا ۸ نمره	۵. شرکت در امتحان پایان ترم و حل مسائل امتحانی

در زیر اسامی بعضی از کتب مرجع که به عنوان کتاب درسی توسط استادان مختلف مورد استفاده قرار گرفته، ارائه شده است. از بین کتاب‌های ارائه شده عنوان شماره ۱ و شماره ۲ دامنه استفاده بیشتری دارد. این دو کتاب به زبان فارسی نیز ترجمه شده است.

مراجع

1. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering
D.M. Himmelblau, Printice Hall 6th Ed. 1996
2. Elementary Principles of Chemical Processes
R.M. Felder and R.W. Rousseau
J. Wiley 2nd Ed. 1986.
3. Introduction to Chemical Engineering
E.V. Thompson & W.H. Ceckler
Mc Graw Hill 1985.
4. Stoichiometry for Chemical Engineers
E. Williams & C. Johnson
Mc Graw Hill 1958.
5. Chemical Process Principles
Hougen and Watson
Mc Graw Hill, 1986.
6. Perspectives in Chemical Engineering
Research and Education
C.K. Colton.
Academic Press, INC. 1991.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۱/۱۰/۷)