محتوای درس انتقال حرارت کاربردی در دوره کارشناسی مهندسی شیمی

فتحا... فرهادی

دانشکدهٔ مهندسی شیمی و نفت دانشگاه صنعتی شریف

چکیده: به دلیل گستردگی و تنوع مطالب انتقال حرارت علاوه بر درس انتقال حرارت I، ارائه درس ۳ واحدی دیگری که جنبه‌های کاربردی انتقال حرارت را در بر می‌گیرد، پیشنهاد شده است. مطالب برخی از فصول این درس مانند انتقال حرارت توأم با تغییر فاز یا مبدل‌های حرارتی با رشته مهندسی مکانیک مشترک و در اکثر کتاب‌های درسی موجود است.

فصل‌های دیگری مثل انتقال حرارت در مخازن همزده یا طراحی کوره‌ها در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی به رشته مهندسی شیمی اختصاص دارد و متأسفانه، مراجع کم‌شماری برای آن یافت می‌شود. در این مقاله ضمن برشمردن مطالب فصل‌های مختلف، روش‌های ارزیابی و آزمون تشریح و مراجعی نیز توصیه شده است.

واژه‌های کلیدی: طراحی کوره‌های نفتی، آموزش مهندسی شیمی، انتقال حرارت در مخازن همزده، انتقال حرارت فرایندی، برنامه درسی.

۱. مقدمه

حجم بسیار زیاد روابط تجربی در انتقال حرارت و گستردگی کاربردهای آن موجب شد تا علاوه بر درس انتقال حرارت، درس دیگری به‌نام انتقال حرارت کاربردی در نظر گرفته شود. در این درس مطالب باقیمانده از درس انتقال حرارت I شامل انتقال حرارت توأم با تغییر فاز، تابش و مبدل‌های حرارتی گنجانده شده است که نیمی از مطالب را شامل می‌شود. نیم دیگری از مطالب به موضوعاتی اختصاص دارد که کاربردی است، ولی تنها دو مرجع کلاسیک [۳ و ۴] بخش‌هایی از آن را در بر دارند. با توجه به تحولات این رشته و نیاز به بازنگری، این کار انجام شد که به صورت حاضر ارائه می‌شود. در درس انتقال حرارت کاربردی نیز به دلیل حجم زیاد مطالب، اختصار در بیان مطالب فصل تابش و کوره‌های نفتی ضروری می‌نماید.

۲. سرفصل‌های درس انتقال حرارت کاربردی

در این درس همچنان که از نام آن برمی‌آید، جنبه‌های کاربردی انتقال حرارت بررسی خواهد شد. آموزش این درس مستلزم به کارگیری متونی است که موضوعات اختصاصی مهندسی شیمی نظیر انتقال حرارت در مخازن همزده یا انتقال حرارت دوفازی گاز - مایع را در بر گیرد. اغلب کتاب‌های کلاسیک انتقال حرارت کاربردی توسط مهندسان مکانیک تألیف شده است و حاوی این موضوعات نیست. به همین دلیل، برخی از مطالب را باید از مراجع دیگری غیر از کتاب‌های متن مورد استفاده در انتقال حرارت I گردآوری و ارائه کرد. از جمله این مباحث انتقال حرارت در مخازن همزده و انتقال حرارت در کوره‌های نفتی است. مطالب فصل‌های ۱، ۲ و ۳ از کتب مرجع ۱ و ۲ قابل ارائه است، ولی در مورد مطالب فصل‌های ۴ و ۵ بهتر است به مراجع ۳ [که علی‌رغم قدمت یکی از کتاب‌های نادری است که توسط یک مهندس شیمی نگاشته شده است] و ۴ و ۵ و ۶ مراجعه شود.

در فصل اول، انتقال حرارت توأم با تغییر فاز تدریس می‌شود. اگرچه رایج‌ترین شکل‌های تغییر فاز جوشش یا میعان است، ولی این نوع انتقال ذوب و انجماد را نیز شامل می‌شود که بیشتر مورد توجه مهندسان متالورژی است. اگرچه فصل تابش حرارتی مستقلاً به صورت یک درس ۳ واحدی نیز ارائه می‌شود، ولی در این درس به حداقل آن اکتفا می‌شود، به‌خصوص اینکه تدریس جنبه‌های کاربردی تابش، در مباحثی که در دیگ‌های بخار و کوره‌ها در مورد

تابش گازهای حاصل از احتراق و جذب توسط سطوح فلزی مطرح می‌باشد، ضروری است. در مورد مبدل‌های حرارتی نیز تنها به ذکر کلیات طراحی مطابق روش‌های F−LMTD و ε−NTU اکتفا خواهد شد. در درس ۳ واحدی دیگری به جزئیات طراحی مبدل‌های حرارتی پرداخته می‌شود. انتقال حرارت ناپایا به صورت مختصر در درس انتقال حرارت ۱ ارائه شده است، ولی در مورد مخازن همزده تدریس این بحث به صورت کامل ضرورت دارد، زیرا دانستن تغییر دما بر حسب زمان مورد نیاز عملیات نوبتی گرمایشی و سرمایشی در صنایع غذایی و دارویی لازم است. به‌علاوه، نحوه محاسبه ضرایب انتقال حرارت سیال‌های سرویس و فرایندی در مخازن همزده نیز باید در این فصل گنجانده شود تا بتوان به کمک آنها ضریب کلی انتقال حرارت در مخازن همزده را به‌دست آورد.

در فصل آخر این درس انواع کوره‌ها و سوخت‌های فسیلی و سپس روابط انتقال حرارت تابشی بین یک توده گاز حاصل از احتراق و شعله آن با ماده فرایندی مطرح می‌شود. در کوره‌های نفتی به دلیل وقوع بسیار محتمل جریان دو فازی گاز ـ مایع، بیان توصیفی انواع جریان‌های دوفازی افقی و قائم ضروری است. نحوه محاسبه ضریب انتقال حرارت جریان‌های دوفازی گاز ـ مایع با دیواره لوله‌ها و نیز محاسبه افت فشار مخلوط دوفازی باید به صورت مختصر و در حد نیاز مثلاً در سطحی که در مرجع ۴ آمده است و با اکتفا به روش Lockhart-Martinelli و روش Kern-Baker ارائه شود. روش Lobo-Evans نیز برای طراحی بخش تابش و جابه‌جایی کوره‌ها مناسب این فصل است. در مورد طراحی دودکش نیز ارائه روابط با منحنی‌های تجربی کافی خواهد بود.

۳. فصل‌بندی درس

فصل اول، انتقال حرارت توأم با تغییر فاز: معادلات تحلیلی چگالش فیلمی بر روی صفحه قائم، لوله افقی و کره، چگالش قطره‌ای، روابط تجربی، انتقال حرارت دوفازی در لوله‌ها، جوشش و روابط تجربی، جابه‌جایی اجباری همراه جوشش، روابط ساده شده و آشنایی با لوله‌های حرارتی.

فصل دوم، تابش حرارتی: آشنایی و تعاریف، تابش بین دو سطح، ضریب شکلی (وضعی)،

جبر روابط وضعی، جداول و شکل‌ها، سپرهای حرارتی، سطوح بازتابنده، تابش گازها، آشنایی با تابش خورشیدی و کلکتورها.

فصل سوم، مبدل‌های حرارتی: انواع مبدل، ضرایب کلی انتقال حرارت، جرم‌گرفتگی، روش F−LMTD و NTU−ε مبدل‌های پوسته و لوله‌ای و فشرده و آشنایی با طراحی مبدل‌ها.

فصل چهارم، انتقال حرارت در مخازن همزده: انواع روش‌های گرمایش و سرمایش از طریق کویل و ژاکت، انواع همزن، ضرایب انتقال حرارت سیال سرویس و فرایند در فضای بین دو جداره و کویل، محاسبه ضرایب کلی و روابط انتقال حرارت ناپایا در بیان تابعیت دما با زمان در انواع شرایط اولیه و مرزی.

فصل پنجم، کوره‌ها در صنایع نفت: انواع کوره‌ها و سوخت‌ها، تابش در کوره‌ها، روش Lobo-Evans در طراحی بخش احتراق و جابه‌جایی، انتقال حرارت و افت فشار جریان دوفازی در کوره‌ها، مکش، دودکش و طراحی آن.

۴. ارزیابی و آزمون درس

این درس به کلاس تمرین جداگانه‌ای نیاز دارد. پیش‌نیازی یا همنیازی این درس با آزمایشگاه انتقال حرارت توصیه می‌شود. به دلیل حجم زیاد مطالب، برگزاری امتحان میان‌ترم شامل فصل‌های اول، سوم و چهارم ضرورت دارد. در امتحان پایان ترم می‌توان فصل مبدل‌های حرارتی را به دلیل اهمیت تکرار کرد. تجربه نشان داده است که برگزاری یک آزمون تستی کمک ارزنده‌ای به آمادگی دانشجویان برای شرکت در آزمون سراسری کارشناسی ارشد می‌باشد. به دلیل استفاده گسترده از روابط تجربی در این درس هر دو امتحان میان‌ترم و پایان ترم نیازمند برگزاری به صورت "کتاب باز" هستند.

۵. نتیجه‌گیری

در این درس کاربردهای علمی از آموخته‌های انتقال حرارت ۱ تدریس خواهد شد. در تدریس انتقال حرارت توأم با تغییر فاز می‌توان به چگالش و جوشش اکتفا کرد. دو فصل مربوط به مبدل‌های حرارتی نیز تدریس کلیات و مبانی طراحی مطابق دو روش F−LMTD و ε−NTU توصیه می‌شود. بین موضوعات مربوط به تابش حرارتی تنها به بخش‌هایی که نیازهای فصل کوره‌های نفتی را رفع کند یا به تدریس مبانی تابش اکتفا خواهد شد. تدریس مشروح‌تر تابش مستلزم ارائه درس جداگانه‌ای است. در مورد کوره‌ها علاوه بر توصیف انواع کوره و احتراق انواع سوخت‌ها، روش طراحی Lobo-Evans در مورد بخش احتراق کوره‌ها و طراحی بخش جابه‌جایی و دودکش در نظر گرفته شده است. تدریس انتقال حرارت ناپایا در مخازن همزده که در صنایع غذایی و دارویی و عموماً در عملیات نوبتی کاربرد دارد و در اغلب کتاب‌ها ناگفته مانده است، به عنوان فصل تمایز با رشته مهندسی مکانیک بسیار مورد نیاز است.

مراجع

1. Holman, J.P., Heat Transfer, Mc Graw Hill, 1997.
2. Incropora, F.P. Dewitt, D.P., Fundamentals of Heat & Mass Transfer, Wiley, 1997.
3. Kern, D.Q., Process Heat Transfer, Mc Graw Hill, 1965.
4. Coulson, J.M. and Richardson, J.F., Chemical Engineering, Vol. 1, Pregamon, 1987.

۵. فرهادی، فتحا... و حسین تقدیسیان، انتقال حرارت در مخازن همزده، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹.

٦. فرهادی، فتحا...، کوره‌ها در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳٦۱.

۷. طوبی، حسن، طراحی کوره‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷٦.

8. Le Nogues, I., Etude des fours Petroliers et Petrochimiques, Technip, 1974.

9. Cengel, Yunus A. and R.H. Turner, Heat transfer: A Practical Approach, Mc Graw Hill, 2001.
10. Kaviany, Mossoud, Principles of Heat Transfer, John Wiley & Sons, 2002.

مراجع کمکی

1. K.J. Mc Naughton, The Chemical Engineering Guide to Heat Transfer, Mc Graw Hill, 1986.
2. V. Casaveno, Process Heat Exchange, Mc Graw Hill, 1979.
3. Rohsenow, W., J.P. Hartnet and Y.I. Cho, Handbook of Heat Transfer, Mc Graw Hill, 1998.
4. Nelson, W.L., Petroleum Refinery Engineering, Mc Graw Hill, 1958.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۱/۱۰/۷)