

مقدمه‌ای بر انتقال گرما (جلد اول)

(ویرایش چهارم)

تألیف :

فانک. پ. اینکروپرا

یویا. پ. دویت

ترجمه :

دکتر علی اصغر رستمی

استاد دانشگاه صنعتی اصفهان

مریم شیرازی

کارشناس زبان انگلیسی

به نام خدا

سخن در ترجمین

آنچه در پیش رو دارید ترجمه و ویرایش چهارم کتاب Introduction to Heat Transfer نوشته DeWitt و L. Cengel است. کار تحسین برانگیز مؤلفان در عرضه اثری با ارزش و استقبال کم نظیر استادان، دانشجویان و کارشناسان رشته های فنی از این کتاب در سراسر دنیا، ما را بر آن داشت تا ترجمه این ویرایش را نیز به هم میهنان علاقه مند به موضوع انتقال گرما تقدیم کنیم.

در این ترجمه، همانند گذشته، تلاش کردیم تا در عین رعایت در امانت، واژه های معادله فارسی را برگزینیم که مرجعی در انتقال گرما باشد. این ویرایش نیز توسط مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان در دو جلد منتشر می شود. جلد اول مشتمل بر هشت فصل است که موضوع های انتقال گرمای رسانایی و جابه جایی را در بر می گیرد. جلد دوم دارای پنج فصل است که موضوع های مهم دیگری مانند جابه جایی آزاد، جوشش و میعان، تبدیلی حرارتی و انتقال گرمای تابشی را می پوشاند.

لازم می دانیم از کلیه کسانی که ما را در تهیه این کتاب یاری رساندند، به ویژه شورای محترم مرکز نشر و دست اندرکاران محترم مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، به ویژه خانم ها مهشید سعادت مند و زحل شیروانی، صمیمانه تشکر و قدردانی کنیم. امید است همچون گذشته از پشتیبانی و نظرهای ارزشمند استادان، دانشجویان و کارشناسان محترم بهره مند باشیم.

پیش گفتار

در دهه نود میلادی توجه ویژه‌ای به نقد و بررسی شیوه‌های آموزش سنتی و یافتن راه‌های افزایش فراگیری دانشجویان شده است. در نتیجه این بررسی‌ها، سعی شده است تا محتوا و ابزارهای آموزشی به گونه‌ای طراحی شوند که اهداف یادگیری و ابزار سنجش میزان یادگیری را مدنظر قرار دهند.

حاصل بررسی‌های بالا منجر به طرح پرسش‌های زیر شده است. هدف‌های مناسب یادگیری در اولین درس انتقال گرما کدام‌اند؟ آیا محتوای درس و کتاب درسی با این هدف‌ها سازگاری دارند؟

به نظر ما اولین درس انتقال گرما بایستی چهار هدف زیر را در برداشته باشد، به نحوی که دانشجویان بتوانند:

- (۱) مفاهیم و مبانی فیزیکی موضوع را بیاموزند.
 - (۲) پدیده‌های انتقال مربوطه در فرایندها و سیستم‌های شامل انتقال گرما را بشناسند.
 - (۳) داده‌ای مورد نیاز برای محاسبه نرخ انتقال گرما و دما را به درستی به کار برند.
 - (۴) مدارهای مناسبی برای فرایندها و سیستم‌های واقعی ارائه کرده و با استفاده از آن به نتایج معقولی برای طراحی و بررسی عملکرد این سیستم‌ها و فرایندها دست یابند.
- هدف اول سالوده دگیری را پی‌ریزی می‌کند، که بدون دستیابی به آن حصول هدف‌های بی‌بهدی به دشوار امکان‌پذیر است. این دقیقاً همان چیزی است که ما به دانشجویان تأکید می‌کنیم که بایستی برای اصول را فراگیرند. سرچشمه یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های ما، هنگامی که در می‌یابیم دانشجویان حداقل انتظارات ما را برآورده نمی‌سازند، همین است. در این صورت اشکال از کجاست؟

شکی نیست که برخی از دانشجویان تلاش لازم برای فراگیری مبانی را به عمل نمی‌آورند، یا شاید تلاش‌های آنان جهت‌دار نیست. به حای صرف وقت و دقت کافی برای خواندن یا فکر کردن، به مطالعه سطحی موضوع می‌پردازند. اما بخشی از اشکال متوجه ما معلمان است. شاید ما وقت کافی صرف آموزش مفاهیم نمی‌کنیم. بیشتر به حل و تحلیل مسأله می‌پردازیم. غنای رشته انتقال گرما و دشواری یادگیری آن توسط مفاهیم فیزیکی در آن برمی‌گردد. برای روشن‌تر شدن موضوع، مثال‌های زیر را در نظر بگیرید.

- مکانیزم‌های فیزیکی انتقال گرمای رسانایی، جابه‌جایی و تابش کدام‌اند؟
 - سطح همدم چیست؟ سطح شار گرمای ثابت چگونه؟ این سطح به چه شرایطی حاصل می‌شوند؟
 - ماهیت سیستم‌های شامل رسانایی و جابه‌جایی توأم چیست؟
 - ماهیت جریان‌های آرام، مغشوش و جدایی جریان چیست؟ جابه‌جایی اجباری و طبیعی چگونه؟ جریان‌های داخلی و خارجی چگونه؟
 - طبیعت طیفی و جهتی تابش چگونه است؟ سطوح دیفیوز و خاکستری چگونه؟
 - مفاهیم فیزیکی جمله‌های قانون اول ترمودینامیک چیست؟ کاربرد این قانون برای یک حجم چه فرقی با کاربرد آن برای سطح دارد؟ در فرایند دایم یا گذرا چگونه؟
 - این مثال‌ها نمونه کوچکی از مفاهیم متعددی است که به دانشجویان بایستی آنها را درک کرده و با اعتماد به نفس به کار برند. هنگامی که به سطح قابل قبولی از شناخت مفاهیم دست یابند، دیگر هراسی از موضوع انتقال گرما نخواهند داشت.
- هدف‌های دوم و سوم پی در پی در بررسی مسایل انتقال گرما به کار گرفته می‌شوند. ابتدا

فرایندهای مربوطه انتقال گرما و جریان انرژی شناسایی شده، سپس فرض‌های مناسب به عمل آید. آن‌گاه معادله‌های نرخ، قوانین بقا، خواص ماده و ضرایب لازم معرفی شده و محاسبات لازم انجام می‌گیرد. انتظار دستیابی به هدف‌های اول تا سوم در هر اولین درس انتقال گرما انتظار معقول و امکان‌پذیری است.

هدف چهارم ظاهراً همانند هدف‌های دوم و سوم است، ولی در حقیقت از آن فراتر می‌رود. رسیدن به این سطح از یادگیری به معنای توانایی در تفکر تحلیلی‌گرانه و نوآورانه در حل مسایل پیچیده و شامل شیوه‌های مختلف انتقال است. این روش حل مسایل، تحلیل و هماهنگی داده‌های مختلف، قضاوت مهندسی، ارائه مدل‌های مناسب و تفسیر نتایج را در بر دارد. تنها اندکی از دانشجویان، آن‌هم در پایان درس، خواهند توانست در مدل کردن سیستم‌های ساده و ایدآل فراتر رفته و به سیستم‌های پیچیده و واقعی بپردازند. هدف اول، در واقع، سنگ بنای ساختمان یادگیری و هدف چهارم فراز آن است. هم‌زمان با افزایش آشنایی فرد با موضوع و بالا رفتن اعتماد به نفس، در استخراج نتایج مفید از رفتار مدل‌های فرایندها و سیستم‌های واقعی، میزان توانایی او از سطح ۱ به سطح ۴ ارتقا می‌یابد.

در این وایش، کوشش کرده‌ایم تا هدف‌های یادگیری را در هر فصل روشن ساخته و ابزار رسیدن به هدف ۱ و ۲، چنین ابزار و ارزیابی و سنجش را فراهم آوریم. بخش "خلاصه" در پایان هر فصل گسترش داده شده و هم‌مروزی بر مفاهیم و واژه‌های آن فصل باشد و هم طرح پرسش‌هایی برای خودآزمایی آنان را بپذیرد. دانشجویان این پرسش‌ها هم‌چنین می‌توانند زمینه بحث بین دانشجویان را در کلاس و در تاراج کلاس فراهم آورند تا بدین وسیله میزان یادگیری آنان از طریق مباحثه و گفتگو افزایش یابد.

سعی کردیم با انتقال استخراج معادله از فصل ۶ به پیوست (ث)، معرفی انتقال گرمای جابه‌جایی را ساده‌تر کنیم. در عین حال، شرایط فیم‌یک و لایه مرزی، معادله‌های لایه مرزی و تشابه لایه مرزی در این فصل بیان شده است.

در این ویرایش ۲۸۹ مسأله جدید گنجانده شده است. بخشی از این مسایل درباره کاربردهای ساده‌تری است که حل آنها نسبتاً آسان است. در این مسایل تا که بر مفاهیم و مبانی است. بخش دیگری از مسایل مربوط به مثال‌های متن درس است که به منظور تشریح مفاهیم مطرح شده در آنها و معرفی مفاهیم جدید گنجانده شده است. بسیاری از مثال‌های ویرایش جدید نیز بسط داده شد تا هدف‌های یادگیری را آسان‌تر سازد.

بخش بزرگی از مسأله‌های جدید درباره موارد و مدل‌های پیچیده (نسخ ۴) است که حل آنها نیازمند به استفاده از کامپیوتر داشته و با تحلیل پارامتری همراه است. گرجا دانشجویان قطعاً می‌توانند با استفاده از نرم‌افزارهایی که از قبل با آنها آشنا هستند مدل‌های خودشان را توسعه داده و حل کنند، ولی برای این کتاب دو بسته نرم‌افزاری تهیه شده که عبارت‌اند از (IHT)^۱ و (FEHT)^۲. این نرم‌افزارها ابزارهای مفید و کارایی برای حل مسایل جدید هستند.^۳

برای جلوگیری از سردرگمی دانشجویان و کاهش احتمال رسیدن به جواب‌های نادرست در اثر انتخاب مدل نامناسب، بسیاری از مسایل باز که بایستی با کامپیوتر حل شوند، پس از مسایل

مشخص با راه حل معین و جواب دقیق بیان شده‌اند. به این ترتیب دانشجویان فرصت دارند تا برنامه کامپیوتری را با اجرای آن برای شرایط مشخص و رسیدن به جواب دقیق آزمایش کنند. پس از اطمینان از درستی مدل و نتایج آن، می‌توانند محاسبات پارامتری را به کمک نرم‌افزار مورد علاقه انجام دهند تا شرایط بهینه طراحی یا عملکرد سیستم را بیابند. بخش‌های کامپیوتری مسایل با نشان چهارگوشی که دور آن آمده، مانند (ب)، (پ) و (ت) مشخص شده است. این نشانه‌گذاری به استاد امکان می‌دهد که در صورت عدم تمایل به استفاده از کامپیوتر، هنوز هم بتواند از غنای این مسایل برای آموزش استفاده کند. مسایلی که شماره آنها با چهارگوش مشخص شده است، مانند [۱-۲۶]، بایستی تماماً با کامپیوتر حل شوند.

همچنان خود را مدیون همکاران بی‌شماری در سراسر دنیا می‌دانیم که با ارائه نظرها و پیشنهادها، در بهبود کیفیت این ویرایش سهم داشته‌اند. همواره تلاش کرده‌ایم تا نیازهای یادگیری و مشکلات دانشجویان را مدنظر داشته باشیم و در این رابطه از دانشجویان متعددی از دانشگاه‌های اردو، نتردام و جاهای دیگر که باعث تقویت تلاش‌هایمان شده‌اند سپاسگزاریم. در پایان، از تلاش‌های پی‌گیراندره اینکروپرا که حل مسایل آخر فصل این ویرایش را با دقت و حوصله روان تنظیم کرده است قدردانی می‌کنیم.

Frank P. Incropera (fpi@nd.edu)

Notre Dame, Indiana

David P. DeWitt (dpd@ecn.Purdue.edu)

West Lafayette, Indiana

فهرست مندرجات

فصل اول : مقدمه

۱-۱	گرما چیست و چگونه انتقال می یابد؟	۱
۲-۱	مبانی فیزیکی و معادله های نرخ	۲
۱-۲-۱	رسانایی	۲
۲-۲-۱	جابه جایی	۵
۳-۲-۱	تابش	۹
۴-۲-۱	مقایسه انتقال گرما با ترمودینامیک	۱۳
۳-۱	بقای انرژی	۱۴
۱-۳-۱	بقای انرژی برای حجم کنترل	۱۴
۲-۳-۱	موازنه انرژی سطحی	۲۲
۳-۳-۱	روش استفاده از قوانین بقا	۲۵
۴-۱	روش تحلیل مسایل انتقال گرما	۲۵
۵-۱	اهمیت انتقال گرما	۲۹
۶-۱	واحدها و ابعاد	۲۹
۷-۱	خلاصه	۳۲
	مسایل	۳۵

فصل دوم : مقدمه ای بر رسانایی گرما

۱-۲	معادله نرخ رسانایی	۶۵
-----	--------------------	----

۶۸	خواص گرمایی ماده	۲-۲
۶۸	ضریب رسانایی گرما	۱-۲-۲
۷۲	سایر خواص مربوطه	۲-۲-۲
۷۴	معادله پخش گرما	۳-۲
۸۲	شرایط مرزی و اولیه	۴-۲
۸۶	خلاصه	۵-۲
۸۷	مراجع	
۸۸	مسائل	

فصل سوم: رسانایی گرمای دائم و یک بعدی

۱۰۹	دیوار تخت	۱-۳
۱۱۰	توزیع دما	۱-۱-۳
۱۱۲	مقاومت گرمایی	۲-۳
۱۱۳	دیوار مرکب	۳-۱-۳
۱۱۵	مقاومت سطح تماس	۴-۱-۳
۱۲۳	روش دیگر برای تعیین رسانایی	۲-۳
۱۲۷	سیستم‌های شعاعی	۳-۳
۱۲۷	استوانه	۱-۳-۳
۱۳۳	کره	۲-۳-۳
۱۳۶	خلاصه نتایج رسانایی یک بعدی	۴-۳
۱۳۷	رسانایی با تولید انرژی گرمایی	۵-۳
۱۰۹	دیوار تخت	۱-۵-۳
۱۴۴	سیستم‌های شعاعی	۲-۵-۳
۱۴۹	کاربرد مقاومت گرمایی	۳-۵-۳
۱۴۹	انتقال گرما از سطوح گسترش یافته	۶-۳
۱۵۲	تجزیه و تحلیل کلی رسانایی در پره‌ها	۱-۶-۳
۱۵۳	پره‌های با سطح مقطع یک‌نواخت	۲-۶-۳
۱۶۰	عملکرد پره	۳-۶-۳
۱۶۳	پره‌ها با سطح مقطع غیر یک‌نواخت	۴-۶-۳
۱۶۷	بازده کلی سطح	۵-۶-۳
۱۷۴	خلاصه	۷-۳
۱۷۷	مراجع	
۱۷۸	مسائل	

فصل چهارم: رسانایی گرمای دایم و دو بعدی

۲۳۳	۱-۴	روش های مختلف
۲۳۵	۲-۴	روش جداسازی متغیرها
۲۳۹	۳-۴	روش ترسیمی
۲۳۹	۱-۳-۴	روش رسم نمودار شار گرما
۲۴۰	۲-۳-۴	تعیین نرخ انتقال گرما
۲۴۱	۳-۳-۴	ضریب شکل رسانایی گرما
۲۴۶	۴-۴	معادله های تفاضل محدود
۲۴۶	۱-۴-۴	شبکه گره ها
۲۴۶	۲-۴-۴	معادله گرما به صورت تفاضل محدود
۲۴۸	۳-۴-۴	روش موازنه انرژی
۲۵۵	۵-۴	ح معادله های تفاضل محدود
۲۵۶	۱-۵	روش وارون سازی ماتریس
۲۵۷	۲-۵	روش تکراری گوس - سایدل
۲۶۳	۳-۴	چند نکته مهم
۲۶۹	۶-۴	خلاصه
۲۶۹		مراجع
۲۷۰		مسایل

فصل پنجم: رسانایی گرمای غذا

۳۰۰	۱-۵	روش ظرفیت فشرده
۳۰۲	۲-۵	اعتبار روش ظرفیت فشرده
۳۰۷	۳-۵	تجزیه و تحلیل عمومی ظرفیت فشرده
۳۱۴	۴-۵	اثرهای مکانی
۳۱۶	۵-۵	دیوار تخت با جابه جایی
۳۱۷	۱-۵-۵	حل دقیق
۳۱۷	۲-۵-۵	حل تقریبی
۳۱۸	۳-۵-۵	انتقال انرژی کل
۳۲۰	۴-۵-۵	ملاحظات دیگر
۳۲۰	۶-۵	سیستم های شعاعی با جابه جایی
۳۲۰	۱-۶-۵	حل های دقیق
۳۲۱	۲-۶-۵	حل های تقریبی
۳۲۲	۳-۶-۵	انتقال انرژی کل
۳۲۲	۴-۶-۵	ملاحظات دیگر
۳۲۸	۷-۵	جسم نیمه بینهایت
۳۳۵	۸-۵	اثرهای چندبعدی

۳۴۰	روش‌های تفاضل محدود	۹-۵
۳۴۰	گسسته سازی معادله گرما: روش صریح	۱-۹-۵
۳۴۹	گسسته سازی معادله گرما: روش ضمنی	۲-۹-۵
۳۵۷	خلاصه	۱۰-۵
۳۵۸	مراجع	
۳۵۹	مسایل	

فصل ششم: مقدمه‌ای بر جابه‌جایی

۴۰۴	مسأله انتقال گرمای جابه‌جایی	۱-۶
۴۰۷	لایه‌های مرزی جابه‌جایی	۲-۶
۴۰۷	لایه مرزی سرعت	۱-۲-۶
۴۰۷	لایه مرزی گرمایی	۲-۲-۶
۴۰۸	اهمیت لایه مرزی	۳-۱-۶
۴۰۹	جریان آرام و مضطرب	۳-۶
۴۱۱	معادله‌های لایه مرزی	۴-۶
۴۱۱	معادله‌های انتقال جابه‌جایی	۱-۴-۶
۴۱۶	تقریب لایه مرزی	۲-۴-۶
۴۱۸	تشابه لایه مرزی: معادله‌های انتقال جابه‌جایی بی بعد	۵-۶
۴۱۹	پارامترهای تشابه لایه مرزی	۱-۵-۶
۴۲۱	شکل تابعی جواب‌ها	۲-۵-۶
۴۲۵	اهمیت فیزیکی پارامترهای بی بعد	۶-۶
۴۲۸	تشابه انتقال اندازه حرکت و گرما (تشابه رینولدز)	۷-۶
۴۲۹	اثرات اغتشاش جریان	۸-۶
۴۳۲	ضرایب جابه‌جایی	۹-۶
۴۳۳	خلاصه	۱۰-۶
۴۳۴	مراجع	
۴۳۴	مسایل	

فصل هفتم: جریان خارجی

۴۴۸	روش تجربی	۱-۷
۴۵۰	صفحه تخت در جریان موازی	۲-۷
۴۵۰	جریان آرام: حل تشابهی	۱-۲-۷
۴۵۶	جریان مغشوش	۲-۲-۷
۴۵۷	شرایط لایه‌های مرزی مرکب	۳-۲-۷

۴۵۹	۴-۲-۷	حالت‌های خاص
۴۶۱	۳-۷	روش محاسبه جابه‌جایی
۴۶۷	۴-۷	جریان عمود بر استوانه
۴۶۷	۱-۴-۷	بررسی جریان
۴۶۹	۲-۴-۷	انتقال گرمای جابه‌جایی
۴۷۶	۵-۷	کره
۴۷۹	۶-۷	جریان عمود بر مجموعه لوله‌ها
۴۹۱	۷-۷	برخورد قواره‌ها
۴۹۱	۱-۷-۷	بررسی‌های هیدرودینامیکی و هندسی
۴۹۳	۲-۷-۷	انتقال گرمای جابه‌جایی
۴۹۸	۸-۷	بسترهای آکنده
۴۹۹	۹-۷	خا صه
۵۰۵		مراجع
۵۰۶		مسائل

فصل هشتم: جریان دایره‌ای

۵۴۵	۱-۸	ملاحظات هیدرودینامیکی
۵۴۶	۱-۱-۸	شرایط جریان
۵۴۷	۲-۱-۸	سرعت میانگین
۵۴۸	۳-۱-۸	پروفیل سرعت در ناحیه توسعه یافته
۵۴۹	۴-۱-۸	گرادیان فشار و ضریب اصطکاک در جریان توسعه یافته
۵۵۲	۲-۸	ملاحظات گرمایی
۵۵۳	۱-۲-۸	دمای میانگین
۵۵۳	۲-۲-۸	قانون سرمایش نیوتن
۵۵۴	۳-۲-۸	شرایط توسعه یافته
۵۵۷	۳-۸	موازنه انرژی
۵۵۷	۱-۳-۸	ملاحظات کلی
۵۵۹	۲-۳-۸	شار گرمای ثابت در سطح
۵۶۲	۳-۳-۸	دمای سطح ثابت
۵۶۶	۴-۸	جریان آرام در لوله‌های دایره‌ای: تحلیل گرمایی و روابط جابه‌جایی
۵۶۶	۱-۴-۸	ناحیه کاملاً توسعه یافته
۵۷۰	۲-۴-۸	ناحیه ورودی
۵۷۲	۵-۸	روابط جابه‌جایی: جریان معشوش در لوله‌های دایره‌ای
۵۷۷	۶-۸	روابط جابه‌جایی: مجراهای غیر دایره‌ای
۵۸۲	۷-۸	مجرای بین لوله‌های هم محور

۵۸۴	۸-۸	روش‌های افزایش انتقال گرما.
۵۸۵	۹-۸	خلاصه.
۵۸۸		مراجع.
۵۹۰		مسایل.

پ ۱	پیوست الف.
پ ۳۳	پیوست ب.
پ ۳۹	پیوست پ.
پ ۴۷	پیوست د.
پ ۵۳	پیوست ه.
پ ۶۳	پیوست ج.

www.ketab.ir