جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

شورای گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی

برنامه درسی رشته

مهندسی مکانیک

Mechanical Engineering

مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته

گرایش‌ها

Applied Design	طراحی کاربردی
Manufacturing Engineering	ساخت و تولید
Energy Conversion	تبدیل انرژی

گروه فنی و مهندسی

پیشنهادی دانشگاه صنعتی اصفهان

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی گسترش و برنامه‌ریزی آموزش عالی

برنامه درسی رشته

مهندسی مکانیک

MECHANICAL ENGINEERING

مقطع کارشناسی ارشد

مشتمل بر گرایش:

۳. **تبدیل انرژی** | Energy Conversion

تهیه‌کننده:
دکتر مهدی نیلی احمد آبادی **عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان**

فصل اول

مشخصات کلی برنامه درسی

مقدمه

دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، یکی از دوره‌های تحصیلی آموزش عالی است که هدف آن تربیت مهندسانی است که با بکارگیری دانش ریاضی، علوم مهندسی، تحلیل و تفسیر داده‌ها، درک مسئولیت‌های حرفه‌ای، ایجاد ارتباط مناسب با جامعه و آشنائی با مسائل محلی و جهانی قادر به طراحی ابزار، سیستم‌ها یا فرآیندهائی جهت رفع نیاز جوامع باشند. لذا این فارغ‌التحصیلان با توجه به زیرساختی که در دوران آموزش برای آن‌ها ایجاد می‌شود پس از مدت کوتاهی از فارغ‌التحصیلی، قابلیت ارائه‌ی خدمات بزرگی در کشور را خواهند داشت.

مشخصات کلی، تعریف و اهداف

یکی از گرایش های مهم رشته‌ی مهندسی مکانیک در مقطع کارشناسی ارشد، گرایش تبدیل انرژی می‌باشد. در گرایش تبدیل انرژی، دانشجویان به تجزیه و تحلیل مسایل گوناگون در زمینه های انتقال حرارت، سیالات، تبدیل انرژی، احتراق، هوافضا، علوم دریایی، خودرو و زمینه های دیگر می پردازند. همچنین عوامل تاثیرگذار بر حرکت سیال، نیروهای ایجاد شده در اثر عبور سیال و تغییرات ایجاد شده در اثر انتقال حرارت مورد بررسی قرار می گیرد و نحوه فرموله کردن مسائل و حل مسائل مرتبط به همراه کاربرد آنها در صنایع مختلف آموزش داده می‌شود. علاوه بر تجزیه و تحلیل عوامل گفته شده، دانشجویان در این گرایش به طراحی و تحلیل سیستم‌های حرارتی و سیالی نیز می پردازند.

هدف این رشته ارتقاء دانش مهندسان مکانیک مقطع کارشناسی و افزایش عمق دید آنها در تجزیه و تحلیل مسایل گوناگون که اساس کار آن‌ها مبتنی بر انتقال حرارت، دینامیک سیالات و تبدیل انرژی است، می‌باشد و به متخصصان کارایی لازم جهت فعالیت در صنایع مختلف مکانیک را می‌دهد. در این دوره، همچنین پایه های علمی لازم برای ادامه تحصیل در مقطع دکتری فراهم شده و آموزش ای لازم در جهت انجام امور پژوهشی به دانشجو تدریس می‌گردد.

ضرورت و اهمیت

در بسیاری از پروژه‌های صنعتی نیاز به دانشی بیش از دانش پایه مهندسی مکانیک حس می شود. لازم است این دانش در دوره‌های تحصیلات تکمیلی مانند (کارشناسی ارشد و دکتری) در افراد ایجاد شود. همچنین در پروژه‌های تحقیقاتی نه تنها نیاز به دانش فراتر از مهندسی وجود دارد بلکه توانایی‌هایی برای انجام و پیشبرد تحقیقات نیز لازم است که این توانایی در انجام تحقیقات در این دوره آموزش داده می شود. از آنجایی که صنایع اصلی کشور صنایع مربوط به حوزه انرژی می‌باشند لذا اهمیت این گرایش دوچندان خواهد بود.

با طی این دوره، دانش آموختگان مهندسی مکانیک آماده می‌شوند تا وظایف محوله برای اجرای پروژه های صنعتی شامل تحقیق و مطالعات اولیه، طراحی مقدماتی، محاسبات طراحی با جزئیات و تهیه نقشه‌ها و مدارک فنی، تدوین فناوری ساخت و روش تولید، مدیریت و اجرا و تعمیر و نگهداری را با آگاهی علمی و فنی در کلیه حوزه‌های مرتبط با مهندسی مکانیک به عهده گرفته، و با موفقیت انجام دهند.

آنچه انتظار می‌رود تا دانشجویان بدانند و در زمان فارغ‌التحصیلی قادر به انجام آن باشند، شامل دانش‌ها، مهارت ها، و نگرش‌های کسب شده توسط دانشجویان در طول برنامه است. هر برنامه مهندسی باید نشان دهد که دانش‌آموختگان آن به توانایی‌های زیر رسیده‌اند:

- به‌کارگیری دانش‌های ریاضی، علوم و مهندسی مکانیک؛
- طراحی و اجرای آزمایش‌ها و تحلیل و تفسیر داده ها؛
- طراحی یک وسیله، سیستم یا فرایند، جهت رفع یک نیاز؛
- کار در گروه‌های دارای عملکردهای متفاوت؛
- شناسایی، فرموله کردن و حل مشکلات مهندسی مکانیک؛
- درک مسئولیت‌های حرفه‌ای و اخلاقی؛
- ایجاد ارتباط موثر (شفاهی، نوشتاری و تصویری)؛
- درک تاثیر راه حل‌های مهندسی مکانیک بر جامعه محلی و جهانی؛
- درک ضرورت کسب مداوم آموزش در طول کار حرفه‌ای؛
- آگاهی از مسایل معاصر؛
- استفاده از فناوری‌ها، مهارت‌ها، و ابزارهای مدرن، در فعالیت‌های مرتبط با مهندسی مکانیک

تعداد و نوع واحدهای درسی

جدول (۱)- توزیع واحدها

نوع دروس	تعداد واحد
دروس پایه	۵
دروس تخصصی اجباری	۹
دروس تخصصی اختیاری	۱۲
پایان نامه	۶
جمع	۳۲

مهارت، توانمندی و شایستگی دانش‌آموختگان

- ✓ شناسایی و فرموله کردن و حل کردن مشکلات مهندسی مکانیک در حوزه تبدیل انرژی
- ✓ استفاده از فناوری‌ها، علوم روز و ابزارهای مدرن در فعالیت‌های مرتبط با تبدیل انرژی
- ✓ بکارگیری دانش مهندسی مکانیک تبدیل انرژی در انجام تحقیقات مرتبط با این علم
- ✓ طراحی فرآیند های مرتبط در تحلیل و تفسیر داده‌ها در صنایع مربوطه
- ✓ ارائه راه حل در حوزه تعمیر و نگهداری سیستمهای حرارتی-سیالاتی در صنایع مختلف

شرایط و ضوابط ورود به دوره

پذیرش دانشجو مطابق ضوابط و مقررات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است. شکل نظام به‌صورت ترمی - واحدی خواهد بود. و هر واحد نظری معادل ۱۶ ساعت می‌باشد.

تعداد واحدهای درسی برای گرایش تبدیل انرژی در مقطع کارشناسی ارشد ۳۲ واحد درسی شامل ۳ واحد پایه، ۶ واحد تخصصی اجباری، ۱۲ واحد تخصصی اختیاری، ۲ واحد سمینار و ۶ واحد پایان نامه می‌باشد.

دانشجویانی که با مدرک کارشناسی غیر از کارشناسی مهندسی مکانیک پذیرش شده‌اند، ممکن است با نظر دانشکده مجبور به گذراندن درس یا دروس جبرانی باشند.

فصل دوم

جدول عناوین و مشخصات دروس

جدول (۲)- عنوان و مشخصات کلی دروس پایه

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد		تعداد ساعات		پیش نیاز / هم نیاز
			نظری	عملی	نظری	عملی	
۱.	ریاضیات مهندسی پیشرفته ۱	۳	۳	-	۴۸	-	-
۲.	سمینار	۲			۳۲		

جدول (۳)- عنوان و مشخصات کلی دروس تخصصی اجباری

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد		تعداد ساعات		پیش نیاز / هم نیاز
			نظری	عملی	نظری	عملی	
۱.	مکانیک محیط های پیوسته ۱	۳	۳	-	۴۸	-	-
۲.	انتقال حرارت جابجایی *	۳	۳	-	۴۸	-	-
۳.	ترمودینامیک پیشرفته *	۳	۳	-	۴۸	-	-
۴.	سیالات غیرلزج (مکانیک سیالات پیشرفته)**	۳	۳	-	۴۸	-	-
۵.	لایه های مرزی **	۳	۳	-	۴۸	-	-

*: انتخاب حداقل یک درس بین درس های انتقال حرارت جابجایی و ترمودینامیک پیشرفته اجباری است.

**: انتخاب حداقل یک درس بین درس های سیالات غیرلزج و لایه های مرزی اجباری است.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه ریزی و آموزشی

جدول (۴)- عنوان و مشخصات کلی دروس تخصصی اختیاری

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد		تعداد ساعات		پیش نیاز / هم نیاز
			نظری	عملی	نظری	عملی	
۱.	اجزا محدود	۳	۳	-	۴۸	-	-
۲.	احتراق پیشرفته	۳	۳	-	۴۸	-	-
۳.	انتقال حرارت تابشی	۳	۳	-	۴۸	-	-
۴.	انتقال حرارت جابجایی در محیط های متخلخل	۳	۳	-	۴۸	-	-
۵.	انتقال حرارت دوفازی	۳	۳	-	۴۸	-	-
۶.	انتقال حرارت هدایتی پیشرفته	۳	۳	-	۴۸	-	-
۷.	انرژی خورشیدی پیشرفته	۳	۳	-	۴۸	-	-
۸.	آیرودینامیک توربین های بادی	۳	۳	-	۴۸	-	-
۹.	پردازش موازی	۳	۳	-	۴۸	-	-
۱۰.	ترمودینامیک آماری	۳	۳	-	۴۸	-	-
۱۱.	توربولانس	۳	۳	-	۴۸	-	-
۱۲.	توربوماشین پیشرفته	۳	۳	-	۴۸	-	-

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد		تعداد ساعات		پیش نیاز / هم نیاز
			نظری	عملی	نظری	عملی	
۱۳.	توربین گاز پیشرفته	۳	۳	–	۴۸	–	–
۱۴.	دینامیک ذرات معلق	۳	۳	–	۴۸	–	–
۱۵.	دینامیک سیالات محاسباتی ۱	۳	۳	–	۴۸	–	–
۱۶.	دینامیک سیالات محاسباتی ۲	۳	۳	–	۴۸	–	پیش نیاز: دینامیک سیالات محاسباتی ۱
۱۷.	دینامیک گاز پیشرفته	۳	۳	–	۴۸	–	–
۱۸.	روش های عددی پیشرفته	۳	۳	–	۴۸	–	–
۱۹.	ریاضیات مهندسی پیشرفته ۲	۳	۳	–	۴۸	–	پیش نیاز: ریاضیات مهندسی پیشرفته ۱
۲۰.	سیستم های اندازه گیری پیشرفته	۳	۳	–	۴۸	–	–
۲۱.	سیستم های انرژی پیشرفته	۳	۳	–	۴۸	–	–
۲۲.	مدل سازی توربولانس	۳	۳	–	۴۸	–	–
۲۳.	مکانیک سیالات غیرنیوتونی	۳	۳	–	۴۸	–	–
۲۴.	مکانیک سیالات میکرو و نانو	۳	۳	–	۴۸	–	–

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه ریزی و آموزش

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد		تعداد ساعات		پیش نیاز / هم نیاز
			نظری	عملی	نظری	عملی	
۲۵.	موتور احتراق داخلی پیشرفته	۳	۳	–	۴۸	–	–
۲۶.	هیدروآیرودینامیک پیشرفته	۳	۳	–	۴۸	–	–

فصل سوم

ویژگی‌های دروس

عنوان درس به فارسی:	ریاضیات مهندسی پیشرفته ۱		نوع درس و واحد
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Engineering Mathematics I		
دروس پیش‌نیاز:			پایه ■ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری □ عملی □
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری □ نظری / عملی □
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

مروری بر توابع چند متغیره و معادلات دیفرانسیلی معمولی، جبر خطی، تابع مختلط کاربردی (حل معادلات مشتقات جزئی و حساب تغییرات)

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. جبرخطی

۱. علایم اندیسی
۲. دترمینان
۳. ماتریس الحاقی و معکوس ماتریس
۴. مرتبه ماتریس
۵. جبر ماتریس و حل سیستم معادلات خطی
   a. روش حذفی گاوس
   b. ماتریس سطری پلکانی
   c. ماتریس سطری پلکانی تحویل یافته
   d. حل معادلات همگن
   e. ماتریس‌های مقدماتی
۶. فاکتورگیری LU و فاکتورگیری PLU
۷. مقادیر ویژه و بردارهای ویژه
۸. توان یک ماتریس (توان، تشابه ماتریس، قطری کردن)
۹. فضای برداری
۱۰. زیرفضاها
۱۱. بعد و پایه
۱۲. انتقال‌های خطی
۱۳. هسته و تصویر یک انتقال خطی
۱۴. فرم جردن ماتریس
۱۵. چندجمله‌ای‌های ماتریسی
۱۶. معادلات ماتریسی
۱۷. قضیه کیلی-همیلتون
۱۸. چندجمله‌ای مینیمال
۱۹. رابطه سیلوستر
۲۰. سری‌های ماتریسی

۲۱. پیدا کردن معکوس ماتریس‌های بزرگ
۲۲. معادلات دیفرانسیل خطی (همگن و غیرهمگن)
۲۳. فضای ضرب داخلی
۲۴. نرم‌ها و فواصل
۲۵. ماتریس‌های مثبت معین
۲۶. روش بهترین تقریب و کمترین مربعات

۲. معادلات با مشتقات جزئی

۱. مقدمه‌ای بر معادلات با مشتقات جزئی
   a. معادلات خطی
   b. معادلات غیرخطی
   c. معادلات شبه خطی
۲. معادلات با مشتقات جزئی مرتبه اول
   a. منحنی مشخصه
۳. معادلات با مشتقات جزئی خطی مرتبه دوم
   a. معادلات هذلولوی
   b. معادلات سهموی
   c. معادلات بیضوی
۴. روش جداسازی متغیرها
۵. مساله اشتروم لیوویل
۶. توابع پریودیک بسل و لژاندر
۷. بسط‌های بسل – فوریه و لژاندر – فوریه

۳. حساب تغییرات

۱. مقدمه و مبانی حساب تغییرات
۲. لم اساسی و ساده‌ترین مساله در حساب تغییرات
۳. تعریف اپراتور تغییرات یا وردش
۴. فانکشنال‌های چندمتغیره و قیود جانبی
۵. اصل کار مجازی
۶. کاربرد اصل کار مجازی
۷. مسائل مهندسی در تغییرشکل‌های کوچک
۸. میله تحت اثر بار محوری
۹. تیر برنولی تحت اثر خمش و برش

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	-
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۲۵ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۵ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی :

۱. Matrix analysis and applied linear algebra by Carl D. Meyer, SIAM Publication, ۲۰۱۰.
۲. Applied Linear Algebra by Olver and Shakiban, Springer Publication, ۲۰۱۸.
۳. Partial Differential Equations for Scientists and Engineers by S. J. Farlow
٤. Advanced Engineering Mathematics by Wylie and Barrett, Mc Graw Hill, ۱۹۹۵.

عنوان درس به فارسی:	مکانیک محیط های پیوسته ۱		نوع درس و واحد	
عنوان درس به انگلیسی:	Continuum Mechanics I		پایه ■	نظری ■
دروس پیش‌نیاز:			تخصصی اجباری □	عملی □
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اختیاری □	نظری / عملی □
تعداد واحد:	۳			
تعداد ساعت:	۴۸			

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

بیان اصول حاکم بر مکانیک محیط‌های پیوسته با تاکید بر محیط‌های جامد الاستیک

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مبانی ریاضی
۲. حرکت اجسام و تئوری تغییر شکل
۳. اصول پایستگی
۴. تنش
۵. معادلات ساختاری (متشکله)
۶. معادلات متشکله برای یک سیال
۷. جسم جامد الاستیک
۸. ویسکوالاستیسیته خطی
۹. تئوری ترمودینامیکی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	-
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۲۵ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۵ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. مکانیک محیط‌های پیوسته محمد رحیمیان – اسکندری قادی، انتشارات دانشگاه تهران
۲. مکانیک محیط‌های پیوسته برای مهندسان، Thomas Mase, George E. Mase، ترجمه باقریان، سروری و بهشتی، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان
۳. مکانیک محیط پیوسته ۱، شهیدی، محزون، موسسه آموزش عالی آزاد دانش پژوهان
۴. مقدمه‌ای بر مکانیک محیط پیوسته با کاربردها، J. N. Reddy ، مترجم رضا اکبری آلاشتی، انتشارات دانشگاه صنعتی بابل
۵. Introduction to Continuum Mechanics, W. Michael Lai, D. Rubin, E. Krempl, Fourth Edition, Elsevier.

عنوان درس به فارسی:	انتقال حرارت جابجایی		
عنوان درس به انگلیسی:	Convective Heat Transfer		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ■ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ☐ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		بین این درس و درس ترمودینامیک پیشرفته انتخاب یک درس اجباری است

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

این درس شامل نکات پیشرفته انتقال حرارت جابجایی است و دانشجویان در این درس به درک عمیق تری از انتقال حرارت جابجایی می‌رسند. هدف از این درس معرفی تئوری جابجایی مقدماتی، ایجاد بینش بر روش‌های تحلیلی در حل مسائل مهندسی واقعی انتقال حرارت و درک مفاهیم مقدماتی رفتار جریان‌های سیال کنترل شده توسط گرادیان‌های فشار آرام و آشفته و متناظر با انتقال حرارت سیال با دیواره‌های جامد می‌باشد. در این درس روش‌های تحلیلی حل معادلات انتقال حرارت و مومنتوم برای هر دو جریان آرام و آشفته ارائه شده است.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. **مقدمه**

انواع انتقال حرارت جا به جایی و تعریف h

۲. **معادلات بقاء**

پدیده‌های انتقال، قوانین شار جریان و تنش، قانون فوریه، قانون Fick، اعداد بی بعد Pr، Le و Sc، معادله پیوستگی، معادلات بقاء ممنتوم، جرم و انرژی

۳. **انتقال گرما در جریان آرام داخل مجاری**

جریان آرام توسعه یافته در مجاری، جریان در لوله‌های حلقوی، جریان در حال توسعه و اثرات دهانه ورودی، انتقال حرارت متغیر با دمای متغیر در دیواره لوله، انتقال حرارت متغیر با فلاکس حرارتی متغیر در طول مجرا، جریان در حال توسعه هیدرودینامیکی و حرارتی

۴. **جریان خارجی و لایه مرزی هیدرودینامیکی (خلاصه)**

حل تشابهی، جریان روی صفحه تخت، جریانwedge flow، مکش و تزریق

۵. **جریان خارجی و لایه مرزی حرارتی**

حل تشابهی معادله انرژی، فلزات مذاب Pr کم، سیالات با Pr های بزرگ، انتقال حرارت در جریان Wedge Flow، جریان سکون، روش توایتز Thwaites، اجسام تقارن محوری و تبدیل مانگلر Mangler (خلاصه)، اثر تزریق یا مکش سیال، دمای سطح متغیر

۶. **بررسی لایه مرزی حرارتی به روش انتگرالی**

جریان و انتقال حرارت روی صفحه تخت نیمه بی نهایت با یک ناحیه ابتدایی عایق، دمای سطح متغیر، نرخ انتقال حرارت متغیر، تعمیم روش انتگرالی برای اجسام دو بعدی و سه بعدی با شکل دلخواه

۷. **هیدرودینامیک جریان مغشوش (خلاصه)**

فیزیک جریان، متوسط‌گیری رینولدز، تنش رینولدز، لایه مرزی دو بعدی قانون دیوار، حل معادله ممنتوم به روش انتگرالی برای جریان مغشوش، ضریب اصطکاک، مدل دیوار پیوسته (Van_Driest)، اثر زبری سطح، هیدرودینامیک جریان مغشوش در لوله (خلاصه)

۸. **انتقال حرارت در لایه مرزی مغشوش و جریان خارجی**

ضریب پخش حرارتی گردابه‌ها و معادله انرژی متوسط‌گیری شده، تشابه رینولدز (ϵ_H و ϵ_M)، قانون دیوار برای لایه مرزی حرارتی، ضریب انتقال حرارت برای سرعت جریان آزاد و دمای سطح ثابت، لایه مرزی مغشوش با طول آدیاباتیک اولیه، لایه مرزی مغشوش با دمای سطح متغیر و یا انتقال حرارت متغیر از سطح، لایه مرزی مغشوش با U_∞ متغیر، لایه مرزی حرارتی مغشوش با مکش یا تزریق

۹. **انتقال حرارت در جریان مغشوش داخل لوله**

توزیع دما، جریان توسعه یافته حرارتی، اثر شرط مرزی حرارتی و Nu_H/Nu_T

۱۰. **انتقال حرارت جا به جایی آزاد**

۱۱. **لایه مرزی حرارتی در جریان با سرعت زیاد**

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	-
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۰ - ۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۴۰-۳۵ درصد
آزمون پایان‌ترم	۶۵-۵۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Convective Heat and Mass Transfer, Kays & Crawford, Fourth Edition, ۲۰۰۵.
۲. Convective Heat Transfer, Kakac, Sadik, ۱۹۹۵ (۲۰۱۳).
۳. Convection Heat Transfer, A. Bejan, Third Edition, ۲۰۰٤, (Forth Edittion, ۲۰۱۳).
٤. Introduction to Convective Heat Transfer Analysis, Oosthuizen, Patrick, ۱۹۹۹.
٥. Convective Heat Transfer, Arpaci & Larsen, ۲۰۰۲.
۱. Analysis of Heat and Mass Transfer, Eckert.

عنوان درس به فارسی:	ترمودینامیک پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Thermodynamics		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ■ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ☐ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		بین این درس و درس انتقال حرارت جابجایی، انتخاب یک درس اجباری است

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

در این درس مفاهیم اساسی ترمودینامیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. ترمودینامیک در این درس از دیدگاه ماکروسکپی مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. دانشجویان در این درس به درک عمیق تر فیزیکی و ریاضی از مفاهیم اساسی و اصول ترمودینامیک مهندسی می‌رسند. علاوه بر این، در این درس ترمودینامیک آماری نیز مورد توجه قرار می‌گیرد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه و قضایای ریاضی مرتبط با ترمودینامیک
۲. قوانین ترمودینامیک (قوانین اول و دوم)
۳. معادلات حالت
۴. روابط ترمودینامیکی و شرایط تعادل
۵. ترمودینامیک مخلوط‌های همگن
۶. سیستم‌های چندمولفه‌ای-چندفازی
۷. واکنش‌های شیمیایی
۸. اگزرژی و کاربردهای آن
۹. آمار، احتمالات و ترمودینامیک آماری

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	-
ارزشیابی مستمر	۱۰ درصد
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۴۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه: لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Advanced Thermodynamics for Engineers, Kenneth, Jr. Wark, McGraw-Hill Companies, ۱۹۹٤.
۲. A. Bejan, Advanced Engineering Thermodynamics, ٤th Edition, ۲۰۱٦.
۳. Annamalai, Kalyan; Jog, Milind A., Puri, Ishwar K., Advanced Thermodynamics Engineering [۲nd Ed.], CRC Press, ۲۰۱۱.

عنوان درس به فارسی:	سیالات غیر لزج (مکانیک سیالات پیشرفته)		نوع درس و واحد
عنوان درس به انگلیسی:	Invicid Fluids (Advanced Fluid Mechanics)		نظری ■ پایه □
دروس پیش‌نیاز:			عملی □ تخصصی اجباری ■
دروس هم‌نیاز:			نظری / عملی □ تخصصی اختیاری □
تعداد واحد:	۳		بین این درس و درس لایه مرزی انتخاب یک درس اجباری است
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

در این درس دانشجویان مباحث تکمیلی و پیشرفته مربوط به مکانیک سیالات را فرا خواهند گرفت. مبنای اصلی این درس بر اساس جریان‌های غیر لزج می‌باشد و دانشجویان اصول مبنایی مکانیک سیالات را با صرف نظر از ترم‌های لزجت فرا می‌گیرند.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱۰. **سینماتیک جریان (فصل ۴ مرجع [۴]، فصل ۲ مرجع [۲]، فصل ۳ مرجع [۱])**

فرض پیوستگی محیط سیال، روش‌های توصیف میدان جریان، دیدگاه اویلری و لاگرانژی، مشتق مادی، خط جریان، خط مسیر، خط اثر، خط زمان، سطح جریان، لوله جریان، رشته جریان، تابع جریان در مختصات دوبعدی، استوانه‌ای، تقارن محوری و کروی، تغییر شکل سیال، کرنش خطی و زاویه ای، ورتیسیته و سیرکولاسیون، حرکت نسبی نسبت به یک نقطه

۱۱. **فرم حجم کنترلی و دیفرانسیلی قوانین بقا (فصل۲ مرجع [۳]، فصل ۴ مرجع [۱]، فصل ۱ و ۳ مرجع [۲])**

حجم کنترل، قضیه انتقال رینولدز برای حجم کنترل ثابت و تغییر شکل دهنده، قانون بقای جرم، قانون بقای مومنتوم خطی، اصل مومنتوم زاویه ای و قانون بقای انرژی برای حجم کنترل ثابت و متحرک و دارای تغییر شکل دهنده، تنش در یک نقطه، معادله ساختاری برای سیال نیوتنی، معادلات ناویراستوکس در مختصات ثابت و دوار، معادله انرژی مکانیکی، معادله انرژی کل و انرژی داخلی، قانون دوم ترمودینامیک، معادله برنولی دائم و غیر دائم، شرایط مرزی

۱۲. **دینامیک ورتیسیته (فصل۵ مرجع [۱])**

خط ورتکس و لوله ورتکس، ورتکس آزاد و اجباری، قضیه کلوین، تئوری هلمهولتز، معادله کرکو (ارتباط ورتیسیته و انتروپی)، معادله انتقال ورتیسیته در مختصات غیردوار، قانون بیو ساوار، معادله انتقال ورتیسیته در مختصات دوار، برهمکنش ورتکسها

۱۳. **جریانهای پتانسیل (فصل۶ مرجع [۱]، فصل۴ و ۵ مرجع [۲])**

خطوط جریان و تابع پتانسیل، کاربرد متغیرهای پیچیده، جریان های ساده (یکنواخت، چشمه و چاه، گردابه ای و جریان دابلت)، برهم نهی (نیم بدنه، جریان حول یک سیلندر استوانه ای، جریان حول یک سیلندر دوار)، جریان در یک گوشه و شکاف، روش تصویری، قوانین انتگرال بلازیوس، نگاشت تطبیقی، تئوری ایرفویل و شرایط کوتا، تبدیل جاکوفسکی، تبدیل شوارتز کریستوفر، روش پنل دو بعدی، پتانسیل سه بعدی، جریان های سه بعدی غیر متقارن، معادلات لاپلاس و حل آن، جریان در سه بعد غیرمتقارن، انرژی جنبشی، جرم افزوده در جریان های شتاب‌دار

۱۴. **امواج سطحی (فصل۷ مرجع [۱]، فصل ۶ مرجع [۲])**

امواج سطحی با دامنه ی کم، انتشار امواج سطحی، اثر کشش سطحی، پتانسیل های پیچیده در امواج سطحی، مسیر ذره در امواج سطحی، امواج ایستاده، انتشار امواج در سطح بین دو مایع

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۲۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. P. K. Kundu, Fluid Mechanics, Fourth Edition, Elsevier, ۲۰۰۸.
۲. I. C. Currie, Fundamentals of Mechanics of Fluids, Third Edition, McGraw-Hill, New York, ۲۰۰۲.
۳. M. Potter and J. Foss, Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., ۱۹۷۵.
٤. K. Karamcheti, Principles of Ideal-Fluid Aerodynamics, Karamcheti, ۱۹٦٦.
٥. W.P. Graebel, Advanced Fluid Mechanics, *Academic Press*, ۲۰۰۷.
٦. R. L. Panton, Incompressible flows, ۳nd ed., John Wiley & Sons, ۲۰۰٥.

عنوان درس به فارسی:	لایه های مرزی		
عنوان درس به انگلیسی:	Boundary Layers		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ■ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		بین این درس و درس سیالات غیر لزج انتخاب یک درس اجباری است

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان با مفاهیم کلی سیالات لزج آشنا می‌شوند.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. **مقدمه و مفاهیم اولیه**

تاریخچه، تقسیم‌بندی جریان‌های سیال، خواص سیال، شرایط مرزی در مسائل جریان حقیقی

۲. **معادلات اساسی برای جریان لزج و تراکم‌پذیر**

تقسیم بندی معادلات اساسی، معادله پیوستگی، معادلات ناویر-استوکس، دستگاه مختصات متعامد، پارامترهای بدون بعد در جریان لزج، ورتیسیته در جریان تراکم‌ناپذیر و لزج، جریان دو بعدی و تابع جریان، معادلات اساسی در دستگاه مختصات غیر اینرسی

۳. **حل معادلات جریان ویسکوز سیال نیوتنی**

تقسیم‌بندی روش‌ها، جریان برشی کوئت، جریان توسعه یافته در مجاری، جریان غیر دائم در مجاری، جریان غیر دائم با مرزهای متحرک، جریان مکشی مجانب، جریان‌هایی که در اثر باد به حرکت درآمده اند، حل‌های تشابهی، جریان خزنده خطی

۴. **لایه مرزی آرام**

معادلات لایه مرزی آرام، حل‌های تشابهی برای انواع جریان های دائم دو بعدی، جدایی جریان، جریان های برشی آزاد، روش‌های تقریبی انتگرالی، جریان در ورودی مجاری، لایه مرزی و جریان‌های برشی آزاد تقارن محوری

۵. **پایداری جریان آرام**

مفهوم تئوری اغتشاشات کوچک، پایداری جریان آرام، گذار از آرام به مغشوش

۶. **لایه مرزی مغشوش، جریان مغشوش تراکم‌ناپذیر**

تحلیل ریاضی جریان مغشوش، معادلات رینولدز، معادلات لایه مرزی برای جریان مغشوش، جریان مغشوش در لوله‌ها و کانال‌ها، جریان لایه مرزی مغشوش روی یک صفحه تخت، تحلیل لایه مرزی همراه با گرادیان فشار، جدایی جریان، تئوری نیمه تجربی جریان برشی مغشوش، جت و ویک مغشوش

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	-
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۰ - ۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۴۰-۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۶۰-۵۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی :

۱. Schlichting, H.,"Boundary Layer Theory". McGraw-Hill, ۲۰۰۰.
۲. Goldstein, S., "Modern Developments in Fluid Dynamics", V.۱ & V.۲, Dover Pub. Inc., N.Y., ۱۹٦٥.
۳. Currie, I.G., "Fundamental Mechanics of Fluids", Third Edition, Marcel Dekker, ۱۹۹۳.
٤. O'Neill, M.E., Chorlton, F., "Viscous and Compressible Fluid Dynamics", Ellis Horwood limited, ۱۹۸۹.
٥. Papanastasiou, Georgiou, Alexandrou, "Viscous Fluid Flow". CRC Press, ۲۰۰۰.
٦. White. F.M., "Viscous Fluid Flow". McGraw-Hill, N.Y., ۲۰۰٥.

عنوان درس به فارسی:	اجزا محدود		
عنوان درس به انگلیسی:	Finite Element	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

این درس همه ساله به طور ویژه برای دانشجویان دکتری ارائه می‌شود. این درس مبانی و اصول روش اجزا محدود و همچنین کاربرد آن در حل معادلات ناویر-استوکس تراکم‌ناپذیر را پوشش می‌دهد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. **مقدمه**

a. روش مستقیم
b. ماتریس سختی
c. کار مجازی
d. مینیمم انرژی پتانسیلی
e. فرمول‌بندی واریانس
f. روش ریتز
g. روش باقیمانده‌های وزنی

۲. روش تقریب گالرکین

a. فرمولاسیون ضعیف
b. فضای آزمایشی و توابع آزمون
c. روش گالرکین بابنو و پترو
d. گسسته‌سازی با استفاده از المان‌های محدود
e. ارائه ماتریس

۳. ویژگی تقریب و خطا

a. بهترین ویژگی تقریب
b. تخمین خطا و پایداری

۴. تعریف المان

a. یک بعدی (خطی، درجه دوم)
b. درون‌یابی لاگرانژی و هرمیتی
c. المان‌های مثلثی شکل و چهارگوش دو بعدی (ایزوپارامتری)
d. المان‌های گذار
e. ژاکوبین انتقال

f. انتگرال عددی

۵. معادلات نفوذ

a. انتقال حرارت هدایتی پایا

b. انتقال حرارت هدایتی گذرا

c. آنالیز پایداری

d. ماتریس جرمی توده ای

۶. معادله نفوذ جابجایی

a. روش GLS و SUPG

b. روش تیلور – گالرکین

۷. معادله استوکس

a. فرمولاسیون مایرد

b. روش غرامت (Penalty)

c. تخمین خطا و پایداری

۸. معادلات ناویر-استوکس تراکم‌ناپذیر

a. روش GLS و SUPG

b. حل معادلات غیر خطی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۵۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	-
آزمون میان ترم	۲۵ درصد
آزمون پایان ترم	۲۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی :

۱. The Finite Element Method, Basic Concepts and Applications, Pepper and Hienrich, ۲۰۰۶.

۲. Intermediate Finite Element Method, Fluid Flow and Heat Transfer Application, Heinrich and Pepper, ۱۹۹۹.

۳. The Finite Element Method, T.J.R. Hughes, ۱۹۸۷.

عنوان درس به فارسی:	احتراق پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Combustion	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

در این درس، دانشجویان مباحث تکمیلی و پیشرفته مربوط به احتراق را فرا خواهند گرفت. هدف از ارائه این درس ارائه اصول اساسی فرآیند احتراق سوخت‌های مختلف و آشنایی با تعادل شیمیایی و سینتیک شیمیایی است. این درس تئوری شعله‌های پیش‌آمیخته و پخشی، تبخیر ذره و سیستم‌های واکنشی را نیز پوشش می‌دهد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه
۲. ترمودینامیک احتراق
۳. تعادل شیمیایی
۴. سینتیک شیمیایی
۵. معادلات حاکم بر جریان‌های واکنش شیمیایی
۶. شعله‌های پیش‌آمیخته آرام
۷. شعله‌های غیرپیش‌آمیخته آرام
۸. احتراق قطره و اسپری
۹. احتراق آشفته
۱۰. آلایندگی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۳۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان ترم	۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی :

۱. K. K. Kuo, Principles of Combustion, ۲nd Edition, John Wiley & Sons, ۲۰۰۵.

۲. S. Turns, an Introduction to Combustion: Concepts and Applications, ۲nd Edition, McGraw-Hill, ۱۹۹۹.

۳. Poinsot, Thierry and Veynante, Denis, Theoretical and Numerical Combustion [۳rd Ed.], R.T. Edwards, Inc., ۲۰۱۲.

٤. N. Peters, Turbulent Combustion, Cambridge: Cambridge University Press, ۲۰۰۰.

عنوان درس به فارسی:	انتقال حرارت تابشی		
عنوان درس به انگلیسی:	Radiative Heat Transfer		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

آشنایی کامل با فیزیک حاکم بر انتقال حرارت تابشی، آشنایی کامل با فرموله کردن مسائل انتقال حرارت تابشی در محیط‌های مشارکتی و غیر مشارکتی در شرایط کلی و طیفی و در بود و نبود حالت‌های دیگر انتقال حرارت، آشنایی اولیه با حل‌های تقریبی و عددی انتقال حرارت تابشی در محیط‌های مشارکتی

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مدل‌های کلاسیک و کوانتوم ویژگی‌های تابشی مواد
۲. تئوری موج الکترومغناطیس برای تایش حرارتی
۳. انتقال حرارت تشعشعی در جذب، انتشار و پخش ذره‌ی واسط
۴. تابش ذاتی لیزر
۵. کاربردها:
   a. برهمکنش ماده-لیزر
   b. تصویربرداری
   c. سنجش مادون قرمز
   d. گرمایش جهانی
   e. تولید نیمه رسانا
   f. احتراق
   g. کوره‌ها
   h. فرآیندهای دما بالا
۶. آشنایی با خواص تابشی سطوح – کمیت‌های کلی- جهتی و طیفی
۷. ضرایب شکل
۸. فرموله کردن مسائل تابشی از طریق تئوری تبادل تابش محفظه ها
   a. سطوح دیفیوزر – خاکستری
   b. سطوح غیرخاکستری
۹. فرموله کردن مسائل تابش هنگامی که حالت‌های دیگر حرارت حضور دارند
۱۰. آشنایی با ساز و کارهای مختلف تابش در محیط‌های مشارکتی

۱۱. معادله انتقال (شدت) تابش

۱۲. حل دقیق تابش در لایه‌های سطحی

۱۳. حل‌های تقریبی تابش در لایه‌های سطحی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۱۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۵۰ درصد
آزمون میان ترم	۲۰ درصد
آزمون پایان ترم	۲۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی :

۱. Siegel, R. and Howell, J.R., “Thermal Radiation Heat Transfer”, ٤th Edition, Taylor and Francis, ۲۰۱۰.

۲. Modest, M. “Radiative Heat Transfer”, ۲nd Edition, Academic Press, ۲۰۰۳.

۳. Sparrow, E.M., “Radiation Heat Transfer, Augmented Edition”, CRC Press, ۱۹۷۸.

٤. Hottel, H. C. and Sarofim, A. F., “Radiative Transfer”, McGraw-Hill Book Company, New York, ۱۹٦۷.

٥. Reiss, H., “Radiative Transfer in Nontransparent Dispersed Media”, Springer Verlag Pbl. ۱۹۸۸.

٦. Chandrasekhar, S., “Radiative Transfer”, Dover Pbl. ۱۹٦۰.

۷. Edwards, D. K., “Radiation Heat Transfer Notes”, Hemisphere Pbl. ۱۹۸۱.

۸. Planck, M., “The Theory of Heat Radiation”, Dover Pbl. ۱۹۹۱.

عنوان درس به فارسی:	انتقال حرارت جابجایی در محیط های متخلخل		
عنوان درس به انگلیسی:	Convection Heat Transfer in Porous Media		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

دانشجویان در این درس به درک عمیق‌تری از انتقال حرارت جابجایی در محیط‌های متخلخل می‌رسند.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مطالعه مکانیک سیالات در محیط متخلخل
   a. مقدمه
   b. مطالعه تخلخل (Porosity)
   c. سرعت دارسی و معادله پیوستگی
   d. معادله مومنتوم: قانون دارسی
   e. قانون دارسی: نفوذپذیری
   f. مطالعه مدل‌هایی که به قانون دارسی منتهی می‌شوند
   g. مطالعه مدل‌های آماری قانون دارسی
   h. توسعه قانون دارسی
   i. بررسی شتاب و سایر اثرات اینرسی
   j. بررسی معادله وورچیمیر
   k. مطالعه معادله برنیکمین
   l. بررسی شرایط مرزی هیدرودینامیکی
   m. اثر تغییرات متخلخل
   n. توربولانس در محیط متخلخل
   o. مطالعه محیط‌های متخلخل پیچیده
۲. انتقال حرارت از محیط متخلخل
   a. معادله انرژی: بررسی حالات ساده
   b. بررسی معادله انرژی در حالات پیچیده
   c. مطالعه هدایت حرارتی کلی در محیط متخلخل
   d. بررسی اثرات تغییرات فشار، اتلاف انرژی و تعادل ترمودینامیکی
   e. مطالعه براکنش حرارتی در محیط‌های متخلخل
   f. مطالعه شرایط مرزی
   g. مطالعه آنالوژی هله-شاو در محیط متخلخل

۳. مطالعه انتقال حرارت در محیط متخلخل-جریان های مختلط چند مولفه‌ای-جریان‌های چند ماده
   a. مطالعه جریان های مختلط چند مولفه‌ای و مفاهیم اساسی
   b. بررسی اصل بقای جرم در یک محیط متخلخل چند مولفه‌ای
   c. مطالعه انتقال حرارت و انتقال جرم به صورت ترکیبی
   d. اثر واکنش‌های شیمیایی
   e. جریان‌های چندفازی
   f. اصل بقای جرم
   g. اصل بقای مومنتوم
   h. اصل بقای انرژی
   i. مطالعه‌ی محیط های متخلخل اشباع نشده
۴. جابجایی اجباری
   a. دیواره تخت با دمای ثابت
   b. دیواره تخت با شار ثابت
   c. مطالعه کره و استوانه و لایه مرزی
   d. چشمه‌های حرارتی لوله‌ای و خطی
   e. مطالعه اثرات گذرا
   f. اثرات عدم تعادل حرارتی
   g. اثر اینرسی و براکنش حرارتی در جریان‌های خارجی
   h. اثرات اصطکاک مرزی و تغییرات متخلخل در جریان های خارجی
   i. اثرات اصطکاک، اینرسی، تغییرات متخلخل در جریان های محبوس شده
   j. مطالعه جابجایی اجباری از روی سطوحی که با مواد متخلخل پوشش داده شده‌اند
   k. مبدل‌های حرارتی فشرده در محیط متخلخل
   l. مطالعه شبکه درختی برای محاسبه‌ی حداقل مقاومت در جریان‌های حجمی به نقطه‌ای
۵. جریان‌های جابجایی طبیعی بیرونی
   a. جابجایی آزاد در صفحات عمودی
   b. حل‌های تشابهی، مطالعه حالت گذرا
   c. اثر تغییرات دمای محیط
   d. لایه‌های مرزی در انتقال حرارت مرکب
   e. اثرات اصطکاک مرزی، اینرسی و براکنش حرارتی
   f. بررسی مطالعات تجربی
   g. جابجایی در صفحات مورب
   h. جابجایی طبیعی از روی استوانه‌های متخلخل افقی
   i. جریان از روی استوانه در اعداد رایلی بزرگ
   j. جریان از روی استوانه در اعداد رایلی متوسط و کوچک
   k. مطالعه جابجایی طبیعی از روی کره
   l. مطالعه جابجایی طبیعی از روی کره در اعداد رایلی زرگ
   m. مطالعه جریان جابجایی طبیعی در جریان‌های دو بعدی و اجسام متقارن محوری
   n. جریان با چشمه حرارتی نقطه‌ای، چشمه‌های حرارتی خطی در اعداد رایلی بزرگ و کوچک

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه ریزی و اعتبارات

۶. مطالعه جریان های آزاد داخلی – گرمایش از کف
   a. بررسی اثر ناپایداری جریان جابجایی طبیعی
   b. مطالعه جریان غیردارسی و اثرات براکنش حرارتی
   c. بررسی تجربی جریان جابجایی طبیعی داخلی
   d. مطالعه جریان جابجایی طبیعی در استوانه‌های حلقوی
   e. مطالعه اثر میدان‌های مغناطیسی بر جابجایی طبیعی جریان داخلی در محیط متخلخل
۷. بررسی جریان جابجایی طبیعی- گرمایش از وجوه جانبی
   a. مطالعه رزیم لایه مرزی
   b. مطالعه پایداری جریان
   c. جابجایی ترکیبی (هدایت و جابجایی)
۸. مطالعه جابجایی مختلط
   a. جابجایی مختلط بیرونی و بررسی دیواره عمودی، دیواره‌های افقی، استوانه‌های عمودی و افقی، کره و سایر هندسه‌ها
   b. مطالعه جریان جابجایی مختلط داخل کانال‌های افقی
   c. مطالعه جابجایی مختلط از استوانه‌های حلقوی افقی
   d. جریان جابجایی مختلط از داخل استوانه عمودی، استوانه حلقوی عمودی
۹. مطالعه جابجایی با لایه‌های مرزی پخشی دوگانه
   a. معادله انتقال حرارت و جرم، مطالعه ی پروفیل‌های غیرخطی
   b. مطالعه اثر سورت
   c. بررسی جریان جابجایی با لایه‌های پخشی دوگانه در اعداد رایلی بزرگ
۱۰. انتقال حرارت جابجایی با تغییر فاز
   a. فرآیند ذوب در محفظه‌هایی که دیواره جانبی آن‌ها گرم‌شده باشد
   b. اثر سوپرهیت شدن
   c. مطالعه انتقال حرارت در حالت انجماد با خنک‌کاری جانبی
   d. جوشش – جوشش لایه ای
   e. مطالعه فرآیند چگالش در محیط‌های متخلخل

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

پروژه	۱۵ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۵ درصد
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی :

۱. Convection in Porous Media by A.Bejan
۲. Vafai, K, Handbook of Porous Media
۳. Kaviani M, Principles of Porous Media
۴. Bear J, Dynamics of Fluids in Porous Media

عنوان درس به فارسی:	**انتقال حرارت دوفازی**		
عنوان درس به انگلیسی:	**Two Phase Heat Transfer**		**نوع درس و واحد**
دروس پیش‌نیاز:			**پایه** ☐ **نظری** ■
دروس هم‌نیاز:			**تخصصی اجباری** ☐ **عملی** ☐
تعداد واحد:	**۳**		**تخصصی اختیاری** ■ **نظری / عملی** ☐
تعداد ساعت:	**۴۸**		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس مفاهیم اساسی جریان سیالات دوفازی بیان شده و سپس معرفی رژیم‌های مختلف جریان‌های دوفازی انجام می‌شود. در ادامه انتقال حرارت در این رژیم‌ها بررسی و فرمول‌های تحلیلی و تجربی و مدل‌های مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه
۲. مدل‌های اساسی جریان‌های دوفازی
۳. روابط تجربی در جریان‌های دوفازی
۴. مقدمه‌ای بر جوشش
۵. جوشش ساب کولد
۶. جوشش اشباع
۷. تقطیر

ت) راهبرهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۲۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. J. G. Collier, J.R. Thome, Convective Boiling and Condensation, ۳rd Edition, Oxford University Press, Oxford, ۱۹۹۶.
۲. Tong & Tang, Boling Heat Transfer & Two Phase Flow, ۲nd Edition, ۱۹۹۷.

۳. Kandlikar, Handbook of Phase Change, ۱۹۹۹.
٤. J. R. Thome, Heat Transfer Engineering Data Book III, ۲۰۰۷, Wolverine.
٥. M. E. Poniewski, J. R. Thome, Nucleate Boiling on Micro Structured Surface, Heat Transfer Research, Inc. (HTRI) USA (۲۰۰۸).
٦. J. R. Thome, Enhanced Boiling Heat Transfer, Hemisphere Pub. Corp. (Taylor & Francis), New York (۱۹۹۰).
۷. Amir Faghri, Yuwen Zhang, Transport Phenomena in Multiphase System, Elsevier (۲۰۰٦).
۸. Timoshenko, S.P. and Woinowsky, K., Theory of Plates and Shells. McGraw-Hill, New York, ۱۹٥۹.

عنوان درس به فارسی:	انتقال حرارت هدایتی پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Conduction Heat Transfer		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

در این درس دانشجویان مباحث تکمیلی درباره انتقال حرارت هدایتی را فرا خواهند گرفت.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه و مفاهیم اساسی
۲. هدایت یک بعدی دائم
۳. هدایت دو بعدی دائم
۴. هدایت گذرا
۵. هدایت در محیط‌های متخلخل
۶. هدایت با تغییر فاز: مسائل مرزهای متحرک
۷. هدایت غیرخطی
۸. حل‌های تقریبی: روش انتگرالی
۹. حل‌های اختلالی (Perturbation Solutions)
۱۰. انتقال حرارت در بافت‌های حیاتی
۱۱. هدایت در مقیاس میکرو

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	-
ارزشیابی مستمر	۲۰ درصد
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه: لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی :

۱. Jiji, L. M., Heat Conduction, ۳rd Edition, Springer, ۲۰۰۹.
۲. Schneider, P. J., Conduction Heat Transfer, Addison-Weseley, ۲۰۱۲.
۳. Ozisik, M. N., Heat Conduction, John Wiley & Sons, ۲۰۱۱.
۴. Arpaci, V. S., Conduction Heat Transfer, Addison-Weseley, ۱۹٦٦.

عنوان درس به فارسی:	انرژی خورشیدی پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Solar Energy		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

هدف درس آشنایی و ارائه روش‌های تحلیلی برای بررسی عملکرد سیستم‌های استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه‌ای بر انرژی‌های تجدیدپذیر
۲. اصول تابش خورشیدی
۳. تابش برون جوی روی سطوح
۴. اثر تضعیف‌کنندگی جو بر تابش خورشیدی
۵. برآورد تابش آسمان صاف
۶. اجزای مستقیم و پخش تابش روزانه
۷. تابش روی سطوح شیب دار
۸. عبور تابش از پوشش‌های شفاف
۹. تابش جذب شده
۱۰. کلکتورهای تخت
۱۱. توزیع دما بین لوله‌ها و در امتداد جریان
۱۲. آبگرم کن خورشیدی فعال و نافعال
۱۳. اتصال سری و موازی آب گرم کن‌ها
۱۴. کلکتورهای متمرکز کننده
۱۵. آشنایی با فتوولتاییک

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۲۵ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Solar Engineering of Thermal Processes, J. A. Duffie, W. A. Beckman, ۳rd Edition, John Wiley, ۲۰۰۸.
۲. Solar Energy Engineering Processes and Systems, ۲nd Edition, Soteris A. Kalogirou, ۲۰۱٤.
۳. Solar Energy Principals of Thermal Collection and Storage, ۳rd Edition, S. P. Sukhatme, J. K. Nayak, Tata McGraw-Hill, ۲۰۰۹.

عنوان درس به فارسی:	آیرودینامیک توربین های بادی		
عنوان درس به انگلیسی:	Wind Turbine Aerodynamics		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ■ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

پس از تکمیل دوره دانشجویان قادر خواهند بود تا:

۱. از دانش بدست آمده در مورد آیرودینامیک توربین‌های بادی استفاده کنند تا نیروهای ساختاری و شرایط درک شده توسط توبین بادهای مقیاس صنعتی را پیش‌بینی کنند.
۲. با استفاده از نرم‌افزارهای آنالیز مدرن که در صنعت باد در حال استفاده می‌باشد یک طراحی توربین باد را تحلیل کنند.
۳. یک پره‌ی توربین باد چند مگاواتی مدرن طراحی کنند.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. توسعه توربین‌های بادی
۲. تئوری مومنتوم، تئوری مومنتوم المان پره
۳. بارهای دینامیکی بر پره‌های توربین بادی
۴. ایرفویل‌های توربین بادی
۵. طراحی توربین بادی و قوانین تحلیل بارها
۶. مقدمه‌ای بر روش‌های گردابه-ویک، روش‌های گردابه ویک، روش‌های ویک آزاد
۷. مدل‌های محاسباتی پیشرفته
۸. بهینه‌سازی توربین‌های بادی
۹. افزایش چرخش و تعویق استال
۱۰. دوران پایا حول محور قائم در توربین بادی
۱۱. تولید نویز در توبین بادی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۳۵ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۵ درصد
تمرین	-
آزمون میان ترم	۱۵ درصد
آزمون پایان ترم	۳۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Aerodynamics of Wind Turbines, M. L. Hansen, ۲nd Edition, Earthscan, ۲۰۰۸.
۲. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery, ۷th Edition, S. L. Dixon and C. A. Hall Elsevier, ۲۰۱٤.
۳. Wind Turbine Technology, Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, ۲nd Edition, David A. Spera (Editor), ASME Press, ۲۰۰۹.
٤. Wind Turbines _ Fundamentals, Technologies, Application, Economies, Erich Hau, Springer ۲۰۱۳.

عنوان درس به فارسی:	پردازش موازی		
عنوان درس به انگلیسی:	Parallel Processing		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

امروزه، کامپیوتر به یک ابزار همگانی تبدیل شده است که در تمامی رشته‌های علوم و مهندسی کاربرد دارد. از طرفی به دلایل و ضرورت‌های عملیاتی و فنی، تقریبا تمامی کامپیوترها و تجهیزات محاسباتی دارای بیش از یک هسته محاسباتی بوده و قابلیت این را دارند که محاسبات را به صورت همزمان بر روی چند هسته پردازشی انجام دهند. اجرای همزمان محاسبات بر روی چندین پردازنده که اصطلاحا به آن پردازش موازی می‌گویند، نیازمند برنامه‌نویسی موازی می‌باشد. با توجه به اینکه به نظر می‌رسد که آینده محاسبات با پردازش موازی عجین بوده، لذا آشنایی دانشجویان تحصیلات تکمیلی با تکنولوژی پردازش موازی و همچنین کسب دانش برنامه‌نویسی موازی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این درس دانشجویان با مفاهیم پایه پردازش و انجام محاسبات در رایانه‌ها، مفاهیم پردازش موازی، مدل‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و همچنین روش‌ها و ابزارهای برنامه نویسی موازی آشنا خواهند شد. با توجه به پیشرفت و توسعه سریع در سخت‌افزار و همچنین نرم افزار رایانه‌ها، ضرورت دارد تا محتوای درس مرتبا به‌روز رسانی شده و مطالب جدید در اختیار دانشجویان قرار گیرد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمات و مفاهیم کلی پردازش در کامپیوتر
۲. آشنایی با لینوکس و کاربرد آن در برنامه‌نویسی موازی
۳. مقدمات و مفاهیم پردازش موازی
۴. آشنایی با استاندارد MPI برای برنامه‌نویسی موازی در مدل حافظه توزیع شده
۵. آشنایی با استاندارد OpenMP برای برنامه‌نویسی موازی در مدل حافظه مشترک
۶. آشنایی با سایر مدل‌های برنامه‌نویسی موازی و ابزارهای به‌روز پردازش موازی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۵۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۰ درصد
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۱۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۲۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. An Introduction to Parallel Programming, Book by Peter Pachoco
۲. Parallel programming in C with MPI and OpenMP, Book by Michael J. Quinn
۳. Introduction to parallel programming, Book by Steven Brawer
٤. https://www.guru۹۹.com/unix-linux-tutorial.html
٥. https://www.linux.org/forums/linux-beginner-tutorials.۱۲۳/
٦. https://www.w۳schools.in/c-tutorial/
۷. https://www.open-mpi.org/doc/current/

عنوان درس به فارسی:	ترمودینامیک آماری		
عنوان درس به انگلیسی:	Statistical Thermodynamics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

هدف اصلی این درس ارائه اصول و مبانی ترمودینامیک آماری است. در این راستا قوانین اول و دوم ترمودینامیک و خواص ترمودینامیکی از نقطه نظر آماری بررسی خواهند شد. مطالبی که در این درس دنبال خواهد شد عبارت‌اند از اصل هایزنبرگ و معادله موج، تابع حامل انرژی‌های انتقالی، انرژی داخلی ذرات چند اتمی، واکنش‌های چندتائی و همزمان، روش‌های مختلف توزیع آماری و معادلات حالت

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمات: مقدمات احتمالات، معادلات ماکسول، تئوری اتمی
۲. اصل هایزنبرگ و مشخصه معادله موج، مدل هارمونیک برای انرژی نوسانی و دورانی، مولکول‌های دو اتمی و مدل عمومی
۳. تابع حائل انرژی های انتقالی، نوسانی، دورانی و الکترونیکی ذرات، مدل انیشتین و دبای برای اجسام جامد
۴. انرژی داخلی ذرات چند اتمی، تعیین ثابت های تعادل و عناصر موجود در واکنش های شیمیایی در حال تعادل
۵. واکنش‌های چندتایی و همزمان
۶. توزیع ذرات ماکسول=بولتزمن، توزیع بوز انیشتین و توزیع فرمی دیراک
۷. مدل Grand Canonical در سیستم‌های وابسته
۸. معادلات حالت، معادله حالت نیروئی (Virial)، تعیین ضرایب نیرویی در معادله حالت، توابع پتانسیل بین مولکول‌ها و ذرات برای تعیین ضرایب نیروئی، تعیین ضرائب نیرویی مخلوط چند گاز، مخلوط گاز مایع

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	-
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۵ درصد
آزمون میان‌ترم	۴۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Norman M. Laurendeau, Statistical Thermodynamics, Cambridge University Press, ۲۰۰۵.
۲. Donald A. McQuarrie, Statistical Mechanics, University Science Books, ۲۰۰۰.
۳. Terrell L. Hill, an Introduction to Statistical Thermodynamics, Dover Publications, ۱۹۸۷.
۴. D. Chandler, Introduction to Modern Statistical Mechanics, Oxford University Press, ۱۹۸۷.
۵. J.E. Lay, Statistical Mechanics and Thermodynamics of Matter, Harper & Row Publisher, ۱۹۹۰.

عنوان درس به فارسی:	توربولانس		
عنوان درس به انگلیسی:	Turbulence	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان با اصول فیزیکی و مبانی جریان مغشوش و همچنین مقدماتی از روش‌های مدل‌سازی جریان‌های آشفته آشنا می‌شوند که عمده‌ی مطالب مبتنی بر مراجع ۱ و ۲ است.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه‌ای بر فیزیک توربولانس
کاربردها، ویژگی‌ها، روش‌های تحلیل، منشع، پخش و اسکیل‌ها در جریان توربولانس
۲. انتقال آشفته مومنتوم و حرارت
تجزیه رینولدز، متغیرهای همبسته، تنش و معادلات رینولدز، تئوری جنبشی گازها، تخمین تنش رینولدز، تئوری طول مخلوط و محدویت‌های آن
۳. دینامیک توربولانس
ملاحظات فیزیکی معادلات انرژی جنبشی متوسط و توربولانسی، دینامیک ورتیسیته متوسط و لحظه‌ای، دینامیک نوسانات دما
۴. جریان‌های برشی آزاد شامل ویک، جت و لایه مخلوط
۵. جریان‌های محدود به دیوار شامل جریان‌های لوله و کانال و همچنین لایه مرزی با اثرات گرادیان فشار
۶. انتقال آشفته ی همگن و ساکن در جریان برشی و خاص
۷. مباحث ویژه مرتبط با توربولانس
۸. مقدمه‌ای بر مدل سازی توربولانس

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۱۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۴۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. A first course in turbulence, H. Tennekes & J. H. Lumley.
۲. Turbulence, J. O. Hinze.
۳. Turbulent flow (Analysis, Measurement and Prediction) , P. S. Bernard & J. M. Wallace.
۴. Turbulence modeling for CFD, D. C. Wilcox.
۵. Introduction to turbulence, P. A. Libby.
۶. The physics of fluid turbulence, W. D. McComb.
۷. Turbulent flow, S. B. Pope.

عنوان درس به فارسی:	توربوماشین پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Turbomachinery	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ■ آزمایشگاه ■ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

هدف این درس آشنایی با معادلات حاکم در دستگاه مختصات چرخان و طراحی یک بعدی و سه بعدی توربوماشین‌های شعاعی و محوری می‌باشد. اصول طراحی کمپرسورهای محوری و گریز از مرکز و همچنین توربین‌های محوری و شعاعی آموزش داده می‌شود.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه:
اهداف، تعاریف، مقایسه توربین های گازی با دیگر موتورها

۲. مروری بر ترمودینامیک:
قانون اول ترمودینامیک، قانون دوم ترمودینامیک، معادله انرژی جریان دائم، توابع جریان تراکم‌پذیر برای یک گاز ایده آل، تعاریف راندمان توربوماشین

۳. ترمودینامیک سیکل‌های توربین گاز:
دیاگرام دما-انتروپی، فرآیندهای واقعی، انتخاب نسبت فشار برای بیشترین توان، انتخاب نسبت فشار بهینه برای بیشترین راندمان، طراحی سیکل، محاسبات عملکرد سیکل، راندمان در مقابل توان مشخص برای موتورهای توربوشافت، سیکل‌های پیشران، مشخصات کاری سیکل‌های نیروی پیشران، توصیفات و عملکرد موتورهای دیگر

۴. دیفیوژن و دیفیوزرها:
دیفیوژن در مجراها، اندازه‌گیری‌های عملکرد، افزایش تئوریک فشار به عنوان یک معیار طراحی، اثرگذاری دیفیوزرها، داده‌های عملکردی دیفیوزرهای محوری، عملکرد دیفیوزرهای شعاعی، درفت تیوپ برای توربین های هیدرولیکی، فاکتور ریسک در طراحی دیفیوزر

۵. انتقال انرژی در توربوماشین ها:
معادله‌ی اویلر، دیاگرام‌های سرعت، کمپرسورهای محوری و دیاگرام‌های سرعت پمپ، دیاگرام‌های سرعت توربوماشین‌های شعاعی، اصلاحات بازده ماکزیمم طبقه با نسبت شعاع و سرعت ویژه، روش‌های طراحی مقدماتی توربوماشین های جریان شعاعی، انتخاب تعداد مرحله

۶. دیاگرام های سرعت سه بعدی در توربوماشین های محوری:
طبقه کار-ثابت، شرایط تعادل شعاعی، کاربرد معادله تعادل شعاعی برای توزیع سرعت، تغییر ضریب عکس العمل، ملاحظات عملی پیچش پره‌ها، روش‌های محاسبه ی انحناء-خط جریان

۷. طراحی و پیش بینی عملکرد توربین های جریان محوری:
مراحل طراحی مقدماتی، شکل و تعداد پره، مراحل طراحی جزئی با تاکید بر موتورهای هواپیما، اثرات توزیع انحنای سطح پره، طراحی انحنای پره توربین، برهمکنش روتور-استاتور، تخمین راندمان عملکرد طبقات توربین محوری، رفتار توربین‌های هوا-خنک شونده، روابط تلفات، داده‌های ضریب تلفات برای توربوماشین جریان محوری، ویژگی‌های عملکردی توربین

۸. طراحی و پیش بینی عملکرد کمپرسورهای محوری:

مقدمه، تست کسکید، طراحی اولیه‌ی فن‌های تک- طبقه وکمپرسورها، طراحی تیغه کمپرسور با انحناء معین، تخمین عملکرد کمپرسورهای جریان محوری، طراحی و تحلیل کمپرسورهای محوری چند طبقه، سرج، مرحله stacking کمپرسور محوری، روشهای راه اندازی سرعت پایین برای کاهش استال، کمپرسورهای محوری-شعاعی، فن‌ها و کمپرسورهای گذرصوتی، هندسه‌های اصلاح شده پره‌ها، فلاتر، طراحی پمپ جریان محوری

۹. روش‌های طراحی توربوماشین های شعاعی:

پیچیدگی‌های طراحی دقیق، مزایا و معایب و حوزه‌های کاربرد، فرآیند طراحی برای کمپرسورها، فن‌ها و پمپ‌ها، فرآیند طراحی برای توربین‌های جریان شعاعی، نازل‌های توربین‌های جریان شعاعی، مشخصات کاری توربوماشین‌های جریان شعاعی، پیکربندی‌های روتور، شکل پره، محدوده‌ی سرج، تخمین عملکرد در شرایط غیر طراحی، طراحی پمپ‌های سانتریفیوژ، کاویتاسیون و جریان دوفازی در پمپ‌ها، تلفات کاری کاویتاسیون

۱۰. طراحی توربوماشین‌ها با استفاده از نرم‌افزار CFX و تحلیل CFD توربوماشین‌ها

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۲۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۱۵ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Wilson, David Gordon, “The Design of High-Efficiency Turobomachinery and Gas Turbines”, ۲nd Edition, Prentice-Hall Inc, ۱۹۹۸.
۲. Dixon S. L., Fluid Mechanics & Thermodynamics of Turbomachinery, Elsevier, Vth Edition.
۳. Turbo Machines, Arasu, A. V., VIKAS Publishing House PVT LTD, ۲۰۰۱.
۴. توربوماشینها، دکتر ابراهیم شیرانی، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
۵. Hydraulic and Compressible Flow Turbomachinery, Sayers, A. T., McGraw-Hill book Company, ۱۹۹۰.
۶. Mechanics and Thermodynamics of Propulsion, Hill, P. G. and Peterson, C. R., ۱۹۹۲.

عنوان درس به فارسی:	توربین گاز پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Gas Turbine	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ■ آزمایشگاه ■ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

هدف این درس فراگیری اصول عملکرد انواع توربین گاز، طراحی صفر بعدی سیکل توربین گاز، طراحی یک بعدی اجزا و بررسی انطباق اجزا می‌باشد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. آشنایی با اصول کارکرد موتور های بنزینی:
سیکل باز با ترکیب تک محور و دو محور، ترکیب چند محور، سیکل بسته، پیشرانش هواپیما، کاربردهای صنعتی، پروسه طراحی توربین گاز
۲. سیکل های تولید قدرت:
روش محاسبه تلفات اجزا، محاسبه عملکرد نقطه طراحی، عملکرد مقایسه ای سیکل‌های عملی، سیکلهای ترکیبی، توربین گاز سیکل بسته
۳. توربین گاز برای تولید پیشرانش:
معیارهای عملکردی، بازده نازل پیشرانش و ورودی هوا، سیکل ساده توربوجت، موتور توربوفن، موتور توربوپراپ، افزایش پیشرانش
۴. طراحی دهانه ورودی هوا و طراحی نازل
۵. کمپرسورهای گریز از مرکز:
دیفیوزر، اثرات تراکم‌پذیری، کمیت‌های بی‌بعد ، منحنی عملکردی کمپرسور، روش طراحی
۶. طراحی کمپرسور و فن محوری:
تئوری پایه، فاکتورهای مؤثر در نسبت فشار، انسداد، ضریب عکس‌العمل، جریان سه‌بعدی، روند طراحی، طراحی پره، محاسبه عملکرد طبقه، اثرات تراکم‌پذیری، عملکرد خارج طرح، منحنی عملکردی کمپرسور محوری
۷. طراحی توربین محوری:
تئوری اولیه توربین محوری، تئوری ورتکس، انتخاب پروفیل پره، گام و کورد، تخمین عملکرد طبقه، عملکرد کلی توربین، توربین‌های خنک‌شونده، توربین شعاعی
۸. طراحی محفظه احتراق:
الزامات عملکردی، انواع سیستم احتراق، فاکتورهای طراحی محفظه احتراق، عملکرد محفظه احتراق
۹. طراحی و پیش بینی عملکرد توربین گاز برای شرایط خارج از نقطه طراحی:
منحنی عملکرد اجزا، عملکرد خارج طرح توربین گاز تک محور، خط تعادل ژنراتور گازی، عملکرد خارج طرح موتور توربین آزاد، عملکرد خارج طرح موتور جت، روش‌های رسم خط تعادل

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۲۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۵ درصد
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Gas Turbine Theory, Cohen, Rogers .
۲. Mechanics and Thermodynamic of Propulsion, Hill & Peterson.
۳. Elements of Propulsion, Mattingly.

عنوان درس به فارسی:	دینامیک ذرات معلق		
عنوان درس به انگلیسی:	Aerosol Dynamics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان دینامیک ذرات معلق جامد و مایع در هوا و نحوه مدل‌سازی آن را فرا خواهند گرفت.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه
۲. خواص گازهای ایده آل
۳. توزیع آماری اندازه ذرات
۴. حرکت یکنواخت در ذرات معلق
۵. حرکت شتابدار مستقیم الخط و حرکت منحنی‌الخط در ذرات معلق
۶. حرکت براونی و پخش
۷. نشست ذرات معلق
۸. چسبندگی در ذرات معلق
۹. تبخیر و میعان
۱۰. فیلتراسیون
۱۱. خواص الکتریکی ذرات معلق
۱۲. خواص اپتیکی ذرات معلق
۱۳. روش‌های اندازه‌گیری ذرات معلق

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۲۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۰ درصد
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. W.C. Hinds, Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, ۲nd Edition, Wiley, ۱۹۹۹.

۲. S.K. Friedlander, Smoke, Dust and Haze, Fundamental of Aerosol Dynamics, ۲nd Edition, Oxford University Press, ۲۰۰۰.

۳. J.H. Seinfeld and S.N. Pandis, Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, ۳rd Edition, Wiley, ۲۰۱٦.

۴. F. M. White, Viscous Fluid Flow, McGraw Hill, New York, ۲۰۰٦.

۵. R.L. Panton, Incompressible Flow, ٤th Edition, Wiley, ۲۰۱۳.

عنوان درس به فارسی:	دینامیک سیالات محاسباتی ۱		
عنوان درس به انگلیسی:	Computational Fluid Dynamics I		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی :

در این درس دانشجویان مباحث مربوط به حل عددی معادلات PDE و تحلیل خطای ایجاد شده به وسیله‌ی روش‌های مختلف گسسته‌سازی را فرا خواهند گرفت.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه:

a. دسته‌بندی رفتار معادلات PDE
b. دسته‌بندی معادله شبه‌خطی مرتبه دوم بر اساس وجود مسیرهای مشخصه‌ای، فرم کانونیک معادلات
c. معادلات نوع هایپربولیک، معادله موج خطی مرتبه اول و دوم و حل مشخصه‌ای آن
d. معادلات نوع پارابولیک، معادله انتقال حرارت
e. معادلات نوع الیپتیک، معادله لاپلاس
f. رفتار سیستم معادلات شبه‌خطی مرتبه اول
g. تعیین رفتار معادلات مرتبه بالاتر و در چند بعد فضا
h. انتخاب شرایط مرزی و اولیه مناسب برای معادلات PDE ، تعریف مساله خوش رفتار
i. معرفی معادله‌های مدل ساده متناظر با معادلات ناویر-استوکس

۲. گسسته‌سازی معادلات به روش تفاضل محدود Finite Difference Discretization Techniques

a. بدست آوردن تقریب‌های تفاضلی برای عبارت مشتق
   i. استفاده از سری تیلور
   ii. استفاده از اپراتورهای تفاضلی
   iii. تقریب مرتبه بالای فشرده یا ضمنی مشتق
   iv. تقریب مشتق با استفاده از برازش چند جمله‌ای
   v. تقریب مشتق در چند بعد فضا، مشتق‌های مختلط
b. بدست آوردن معادلات تفاضلی FDE
   i. فرم صریح معادلات FDE
   ii. فرم ضمنی معادلات FDE
   iii. تعریف خطای سازگازی و پایداری
   iv. قضیه Lax و شرط همگرایی جواب معادله FDE به جواب دقیق معادله PDE
c. روش‌های مرسوم بررسی پایداری، روش فوریه، روش ماتریسی و روش انرژی

d. بررسی خطای روش‌های عددی در روی شبکه‌های با سایز محدود
   i. تحلیل خطا به کمک معادله اصلاح شده
   ii. تحلیل فرکانسی خطا
e. روش‌های تفاضل محدود برای معادلات با رفتار هایپربولیک (معادله Advection)
   i. روش‌های مرتبه اول ضمنی و صریح و خطای دامنه
   ii. روش‌های مرتبه دوم ضمنی و صریح و خطای فاز
   iii. روش‌های چند مرحله‌ای
   iv. تعمیم به چند بعد فضا، روش کاملا گسسته در مقابل روش تقسیم اپراتورها
f. روش‌های تفاضل محدود برای معادلات با رفتار پارابولیک (معادله دیفیوژن)
   i. روش‌های صریح و ضمنی ساده
   ii. روش Crank-Nicolson و الگوریتم ترکیبی
   iii. روش Keller Box
   iv. تعمیم به چند بعد فضا، روش کاملا گسسته در برابر روش ADI و روش عمومی فاکتورگیری ضمنی
g. روش‌های تفاضل محدود برای معادلات با رفتار الیپتیک (معادله پواسون)
   i. الگوریتم پنج نقطه‌ای و نه نقطه‌ای
   ii. روش‌های مستقیم و تکراری حل دستگاه معادلات جبری:
   روشهای تکراری ایستا: ژاکوبی، گوس-سیدل، SOR و SIP
   تکنیک‌های شتاب‌دهی روش‌های ایستا، روش چند شبکه‌ای
   روش‌های غیر ایستا، تعریف فرم مرتبه دوم، روش سریعترین فرود، روش جهت‌های جستجو مزدوج و گرادیان مزدوج و BCG و GMRES
h. روش حل دستگاه معادلات غیر خطی، روش شبه نیوتونی و روش تکراری Picard

۳. روش‌های تفاضل محدود برای معادلات هایپربولیک غیر خطی
a. فرم اسکالر معادله بقا، تعریف سرعت موج و فرم شبه خطی، رفتار مشخصه ها و جواب مشخصه‌ای معادله غیرخطی
b. ایجاد موج ضربه‌ای، تعریف جواب ضعیف و شرط هوگونیوت، غیریکتایی جواب ضعیف و شرط انتروپی عددی
c. تعمیم صوری روش‌های خطی به معادله برگرز، روش‌های عددی برای معادله convection-diffusion

۴. گسسته سازی معادلات به روش حجم محدود Finite Volume Methods
a. فرم انتگرالی معادله ژنریک Convection-Diffusion
b. تعریف کمیت متوسط سلولی و تقریب انتگرال های حجمی و سطحی در معادله ژنریک با دقت مورد نظر
c. میان‌یابی کمیت های سطحی از مقادیر متوسط سلولی در محاسبه شار جابجایی، روش CDS، UDS ، الگوریتم ترکیبی Spalding، روش تصحیح تاخیری Deferred Correction، روش QUICK و روش‌های High-Resolution
d. تعمیم به چند بعد فضا

۵. گسسته سازی معادلات به روش المان محدود گالرگین Galerkin Finite Element Method
a. روش‌های باقیمانده وزنی Weighted Residual Methods و انواع آن
b. روش المان محدود گالرکین
c. تعریف توابع شکل خطی و quadratic و بررسی دقت آنها در میان‌یابی جواب
d. اعمال روش المان محدود گالرکین به معادله Sturm-Liouville
e. اعمال روش المان محدود گالرکین به معادله کانوکشن-دیفیوژن
f. تعمیم به چند بعد فضا، اعمال روش المان محدود گالرگین به معادله پواسون

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۵۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	۲۵ درصد
آزمون پایان‌ترم	۲۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, Third Edition, Pletcher, Tanehill, Anderson.
۲. Computational Methods for Fluid Dynamics, Ferziger, Peric.
۳. Numerical Methods for Conservation Laws, LeVeque.
۴. Hand Book of Grid Generation, Tompson, Soni, Weatherill.

عنوان درس به فارسی:	دینامیک سیالات محاسباتی ۲		
عنوان درس به انگلیسی:	Computational Fluid Dynamics II		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:	دینامیک سیالات محاسباتی ۱		پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان مباحث تکمیلی مربوط به روش‌های حل معادلات ناویر-استوکس تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر و همچنین مقدمه‌ای بر روش‌های تولید شبکه محاسباتی را فرا خواهند گرفت.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه: مراحل انجام یک حل CFD
   a. مرور معادلات حاکم بر جریانهای تراکم ناپذیر و تراکم پذیر
   b. گذار جریان آرام به درهم و خواص گردابه ها در جریان درهم ، ملزومات و موانع حل مستقیم (DNS)
   c. خواص اپراتور متوسطگیری و معادلات RANS
   d. معادلات تنش رینولدز و مساله بسته نبودن توربولانس (Closure Problem)
   e. مدل‌های جبری، یک معادله ای ، دو معادله‌ای، ASM ،RSM
   f. روشLES، معرفی فیلترها، مدل Smagorinsky و مدل های دینامیکی
۲. روش های تولید شبکه محاسباتی
   a. معرفی شبکه های با سازمان، بی سازمان و برهم نهاده Overset
   b. روش‌های جبری (میانیابی) تولید شبکه با سازمان (Transfinite interpolation TFI)
      i. میانیاب‌های خطی ، لاگرانژی و هرمیتی
      ii. توابع کنترل برای ایجاد فشردگی و کشیدگی در شبکه
   c. روش حل معادلات PDE برای ایجاد شبکه‌های با سازمان
      i. سیستم‌های مولد بیضوی، روش گسسته‌سازی و حل آن
      ii. نگاشت‌های کنترل شبکه
      iii. سیستم‌های مولد هایپربولیک
   d. شبکه های بی سازمان، ماتریس connectivity و الگوریتم های جستجو
      i. روش دلانی Delaunay-Voronoi
      ii. روش جبهه پیش رونده Advancing Front
۳. روش‌های حل معادلات جریان تراکم‌ناپذیر
   a. رفتار معادلات تراکم‌ناپذیر و مشکل ترم فشار
   b. حذف ترم فشار: روش ورتیسیته-تابع جریان
   c. روش تراکم‌پذیری مصنوعی

d. روشهای تصویرسازی (projection methods)

i. انتخاب ترتیب متغییرها در روی شبکه، شبکه جابجا شده (staggered) و هم مکان هم مکان (collocated)
ii. روش‌های تصحیح فشار صریح، روش گام جزیی Fractional step method
iii. روش‌های تصحیح فشار ضمنی:
الگوریتم SIMPLE
الگوریتم SIMPLER، SIMPLEC و PISO
الگوریتم SIMPLE در روی شبکه هم مکان ، اصلاح Rhie-Chow
iv. شرایط مرزی معادلات تراکم‌ناپذیر
v. حل معادلات در روی شبکه‌های پیچیده

۴. روش حل معادلات تراکم‌پذیر
a. خواص معادلات جریان تراکم‌پذیر و اهمیت وجود مشخصه‌ها
b. معادله بقا غیرخطی، وجود ناپیوستگی، جواب ضعیف و شرط انتروپی عددی
c. فرم بقایی روش عددی و قضیه همگرایی Lax -Wendroff
d. تعریف تابع تغییرات کل (Total Variation) و قضیه پایداری Harten-Lax
e. روش‌های مرتبه اول یکنوا Monotone Scheme
i. تعریف یکنوایی
ii. روش Lax-Friedrichs
iii. روش Osher-Engquist
iv. تعریف مساله ریمان و روش گودونف Godunov
v. روش Roe برای خطی‌سازی مساله ریمان
f. روش‌های مرتبه بالا با حفظ یکنوایی (monotonicity preserving) و قدرت تفکیک بالا (High Resolution)
i. روش استهلاک مصنوعی JST (Jameson-Schmidt-Turkel)
ii. روش‌های مرتبه دوم TVD:
روش محدود سازی تابع فلاکس (Flux limiter)
روش محدود سازی شیب (Slope limiter)
iii. روش‌های ENO و WENO
g. روش تعمیم به سیستم معادلات غیرخطی

ت) راهبردهای تدریس و یادگیری متناسب با محتوا و هدف:

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۵۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	۲۵ درصد
آزمون پایان‌ترم	۲۵ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, Third Edition, Pletcher, Tanehill, Anderson.
۲. Computational Methods for Fluid Dynamics, Ferziger, Peric.
۳. Numerical Methods for Conservation Laws, LeVeque.
۴. Hand Book of Grid Generation, Tompson, Soni, Weatherill.
۵. Turbulence Modeling for CFD, Wilcox.

عنوان درس به فارسی:	دینامیک گاز پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Gas Dynamics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان به درک عمیق‌تری از دینامیک گازها و جریان های تراکم‌پذیر می‌رسند.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه
   a. تعریف جریان تراکم‌پذیر
   b. تراکم‌پذیری هم دما
   c. تراکم‌پذیری آیزنتروپیک
   d. رژیم‌های جریان
   e. مروری بر ترمودینامیک
   f. گاز کامل
   g. گاز واقعی
   h. مخلوط واکنشی گاز کامل
   i. روابط آیزنتروپیک
۲. معادلات حاکم
   a. شکل انتگرالی معادله پیوستگی
   b. شکل انتگرالی معادله مومنتوم
   c. شکل انتگرالی معادله انرژی
   d. شکل دیفرانسیلی معادله پیوستگی
   e. شکل دیفرانسیلی معادله مومنتوم
   f. شکل دیفرانسیلی معادله انرژی
   g. تئوری Crocco
   h. تئوری آکوستیک
۳. جریان یک بعدی پایا
   a. روابط شوک عمودی
   b. روابط هوگونیوت
۴. شوک مایل و موج انبساطی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه‌ریزی و آموزش

a. روابط شوک مایل
b. Shock Polar
c. نمودار Pressure Deflection
d. موج انبساطی Prandtl-Meyer
e. تئوری انبساط شوک

۵. جریان نازل
a. معادلات حاکم
b. روابط سرعت-مقطع سطح
c. روابط آیزنتروپیک در نازل

۶. جریان یک بعدی پایا
a. جریان در کانال با مقطع ثابت با اصطکاک
b. خط Fanno
c. جریان بدون اصطکاک در کانال با مقطع ثابت با انتقال حرارت
d. خط Rayleigh
e. جریان هم‌دما

۷. حرکت موج ناپایا
a. حرکت امواج شوک عمودی
b. انعکاس امواج شوک
c. امواج غیرخطی
d. برخورد و انعکاس امواج انبساطی
e. روابط لوله شوک

۸. جریان پتانسیل
a. مقدمه
b. جریان غیرچرخشی
c. معادله پتانسیل سرعت
d. معادله لاپلاس

۹. جریان خطی شده
a. مقدمه
b. معادله پتانسیل سرعت خطی شده
c. ضریب فشار خطی شده
d. جریان فروصوتی خطی شده
e. تصحیحات تراکم پذیری
f. عدد ماخ بحرانی
g. واگرایی درگ
h. جریان فوق صوتی خطی شده

۱۰. جریان مخروطی
a. مقدمه
b. معادلات حاکم در مختصات خمیده‌ی عمودی
c. فرمولاسیون Taylor-Moccoll

d. رویی عددی
e. جنبه‌های فیزیکی جریان قوق صوتی روی مخروط‌ها

۱۱. روش مشخصه‌ها
a. طبقه بندی معادلات مشتق جزئی
b. تئوری مشخصه‌ها
c. خطوط مشخصه جریان غیرچرخشی دوبعدی
d. معادلات تراکم‌پذیری
e. رویه عددی
f. طراحی نازل فوق صوتی

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۱۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۳۰ درصد
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Anderson, J. D., Modern Compressible Flow, ۲nd Edition, McGraw-Hill, ۱۹۹۰.
۲. Elements of Gas Dynamics, Lieppman and Roshko, John Wiley, ۱۹۵۷.
۳. The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, A. H., Shapiro, Vol I, John Wiley, ۱۹۵۳.
۴. Compressible Fluid Dynamics, P. H., Thompson, McGraw-Hill, ۱۹۷۲.
۵. Gas Dynamics, M. J. Zucrow and J. D. Hoffman, Vol I, John Wiley, ۱۹۷٦.
۶. Gas Dynamics, M. J. Zucrow and J. D. Hoffman, Vol II, John Wiley, ۱۹۷۷.
۷. Viscous and Compressible Fluid Dynamics, M. E. O'Neil and F. Chorlton, Ellis Horwood, ۱۹۸۹.

عنوان درس به فارسی:	روش های عددی پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Numerical Methods		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان با پیش زمینه‌های لازم برای درک مفاهیم روش‌های عددی آشنا می‌شوند.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه
۲. درون‌یابی و برازش منحنی:
درون‌یابی لاگرانژ و تفاضل تقسیم شده، نقاط چبیشف، میان‌یابی هرمیتی مکعبی، Spline، روش کمترین مربعات
۳. حل معادلات غیرخطی:
روش Bisection، روش نیوتون رفسون، روش سکانت، روش جایگزینی متوالی
۴. روش‌های انتگرال‌گیری:
نیوتون کوتز باز و بسته، گوس کوادراچر، گوس هرمیت، انتگرال دوبل، انتگرال‌های ناسره
۵. حل دستگاه معادلات خطی و مسائل مقادیر ویژه:
روش LU، روش توانی، توانی معکوس، توانی معکوس انتقال یافته، Householder Bisection، Householder/QR Iteration
۶. مشتق‌گیری عددی
۷. حل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای:
معادلات بیضوی، روش Jacobi Iterative، معادلات سهموی، روش صریح، روش ضمنی، معادلات هذلولوی

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۳۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۰ درصد
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه: لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Numerical methods for engineers and scientists, J. D. Hoffman
۲. Numerical analysis, D. Kincaid, W. Cheney
۳. Numerical methods for scientists and engineers, H. M. Antia
۴. Burden, R.L., Faires, J.D., Numerical Analysis, ۹th Ed., Congage Learning, ۲۰۱۱.
۵. Chapra, S.C., Canale, R.P., Numerical Methods for Engineers, ٦th Ed., McGraw-Hill, ۲۰۱۰.
۶. ویلیام اچ پرس، ترجمه منصور نیکخواه بهرامی، دستورالعمل محاسبات عددی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۵.
۷. اصغر کرایه چیان، محاسبات عددی، رواق مهر، ۱۳۸۸.

عنوان درس به فارسی:	ریاضیات مهندسی پیشرفته ۲		نوع درس و واحد
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Engineering Mathematics II		نظری ■ پایه ☐
دروس پیش‌نیاز:	ریاضیات مهندسی پیشرفته ۱		عملی ☐ تخصصی اجباری ☐
دروس هم‌نیاز:			نظری / عملی ☐ تخصصی اختیاری ■
تعداد واحد:	۳		برای دوره ی دکتری
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. کاربردهایی از آنالیز مختلط:

انتگرال وارون مختلط، تبدیل مختلط فوریه و وارون آن، اصل آوند، قضیه روشه، معیار نایکوئیست، اصل اساسی جبر، ادامه تحلیلی، تئوری پتانسیل، مسائل دیریشله و نویمن، نگاشت همدیس و چند مثال، مسائل دیریشله و نویمن برای دایره و نیم‌صفحه، توابع گرین، نگاشت شوارتز-کریستوفل، نگاشت ژوکوفسکی

۲. کاربرد آنالیز مختلط در مطالعه جریان دوبعدی ایده‌آل، مسائل دو بعدی در الاستیسیته خطی

۳. نگاهی به معادالت دیفرانسیل پاره‌ای:

معادالت شبه‌خطی رسته یک، پیدایش ضربه، مسئله ترافیک، قضیه کوشی-کوالفسکی، معادلات رسته دو، تقلیل معادالت هذلولوی، سهموی و بیضوی به فرم متعارف، جدایی متغیرها در مختصات مختلف، مرور معادالت دیفرانسیل عادی رسته دو و حل سری، طبقه‌بندی تکینگی‌ها، معادله پاپریتز و معادله فوق هندسی، معادله دیفرانسیل فوق هندسی همریز و سری‌های مربوطه

۴. توابع خاص:

تابع گاما و دایگاما، توابع بسل و نمایش انتگرالی آنها، روابط بازگشتی و روابط مشتق، مسئله استورم لیوویل و تعامد توابع بسل، توابع لژاندر

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	-
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	۲۵ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۵ درصد
آزمون پایان‌ترم	۴۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه: لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Zill, Dennis G. Advanced engineering mathematics. Jones & Bartlett Publishers, ۲۰۲۰.
۲. Wylie, Clarence Raymond, Louis C. Barrett, and Clarence R. Wylie. "Advanced engineering mathematics." (۱۹۶۰).
۳. Kreyszig, Erwin. "Advanced Engineering Mathematics ۱۰th Edition." (۲۰۰۹).
۴. Brown, James Ward, and Ruel V. Churchill. Complex variables and applications eighth edition. McGraw-Hill Book Company, ۲۰۰۹.
۵. Zachmanoglou, Eleftherios C., and Dale W. Thoe. Introduction to partial differential equations with applications. Courier Corporation, ۱۹۸۶.
۶. Lebedev, Nikolaĭ Nikolaevich. Special functions and their applications. Prentice-Hall, ۱۹۶۵.

عنوان درس به فارسی:	سیستم های اندازه گیری پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Measurement Systems		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ■ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان با اصول، روش‌ها و حسگرهای اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی، مکانیکی آشنا می‌شوند. همچنین روش‌های بررسی صحت اندازه‌گیری‌ها و داده‌ها و چگونگی انجام شبیه‌سازی سیستم‌های اندازه‌گیری بیان می‌شوند.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. یادآوری و مقدمه

a. اهداف، انگیزه و کاربرد سیستم‌های اندازه‌گیری در کنترل و صنعت

۲. اصول و تعاریف سیستم‌های اندازه‌گیری و محدودیت‌ها

a. مشخصات استاتیکی و نحوه انجام آزمایش برای بدست آوردن این مشخصات

b. مشخصات دینامیکی و نحوه انجام آزمایش برای بدست آوردن این مشخصات

c. روش‌های مدل سازی سیستم های اندازه‌گیری

d. مشخصات آماری و نحوه انجام آزمایش برای بدست آوردن این مشخصات

e. روش‌های آماری ارزیابی میزان دقت اندازه‌گیری‌ها

f. دیاگرام‌های P&ID

g. روش‌های کالیبراسیون

۳. انواع خطا و روش های جبران خطا

a. روش‌های جبران خطاهای استاتیکی و دینامیکی

b. معرفی، محاسبه و جبران خطای بارگذاری

۴. مدارات آماده‌سازی سیگنال (آنالوگ و دیجیتال)

a. مدارهای جمع‌کننده، تفریق کننده، بایاس، مقایسه کننده، تقویت‌کننده، انتگرال‌گیر، مشتق‌گیر، تقویت‌کننده ابزار دقیق، تقویت‌کننده تفاضلی، ساخت توابع غیرخطی

b. مدارهای مبدل کمیت‌های الکتریکی به یکدیگر

c. مدارهای فیلترهای اکتیو و پسیو، مدارها و روش‌های کاهش اثر نویز و شیلددار کردن

d. مدارهای مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ و اصول نمونه‌برداری، نکات مهم در استفاده از ریزپردازنده‌ها و کامپیوترها

۵. یادآوری و تکمیل انواع حسگرها و اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی و مکانیکی

a. روش‌ها و حسگرهای اندازه‌گیری دما (RTD، ترمیستور، ترموکوپل، LM۳۵، LM۷۵ و روش‌های نوری و تابشی، لیزری و شیمیایی)

b. حسگرهای اندازه‌گیری نیرو (Load Cell Strain Gauge و غیره)

c. یادآوری و تکمیل روش‌ها و حسگرهای اندازه‌گیری فشار (Burdon Gauge، Manometer، Bimetal، پیزوالکتریک، فیبر نوری)

d. حسگرهای اندازه‌گیری جریان سیالات و جامدات (آلتراسونیک، ونتوری، ارفیس، پیتوت، پیمانه ای، اثر کوریولیس و مغناطیسی)

e. حسگرهای اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (حسگرهای اثر هال، حسگرهای جریان، ولتاژ، فرکانس و شار، اینکدرها)

۶. آشنایی با محرک‌های الکتریکی و مکانیکی

a. محرک مکانیکی (سرو موتورهای هیدرولیکی و نیوماتیکی خطی و دوار و غیره)

b. محرک‌های الکتریکی (سرو موتورهای الکتریکی DC و AC، موتور پله‌ای، رله‌ها)

۷. حسگرهای هوشمند

a. آشنایی به مزایا و ویژگی های سنسورهای هوشمند

b. بررسی یک سیستم صنعتی دارای حسگرهای هوشمند

c. طراحی سنسور هوشمند

۸. آشنایی با شبکه‌های صنعتی

a. اصول شبکه‌های صنعتی

b. شبکه‌های پروفیباس

c. شبکه‌های مدباس

۹. آشنایی با نرم افزارهای مونیتورینگ سیستم‌های اندازه‌گیری

۹,۱. Labview

۹,۲. Matlab

۹,۳. Wincc

۱۰. سرعت سنجی تصویری ذرات Particle Image Velocimetry (PIV)

۱۱. لیزر داپلر Laser Doppler Velocimetry (LDV)

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

پروژه	۲۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۲۰ درصد
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	-
آزمون پایان‌ترم	۶۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه: لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Alan S. Morris, Principle of Measurement and Instrumentation, Prentice Hall, ۱۹۹۳.

۲. C. A. Smith and A. B. Corripio, Principles and Practice of Automatic Control, John Wiley and Sons, ۱۹۸۵.

۳. G. K. McMillian and D. M. Considine, Process Industrial Instruments and Controls, Handbook, ۵th Ed., Mc Grow Hill, ۱۹۹۹.

۴. M. C. Jacob, Industrial Control Electronics: Applications and Design, Mc Grow Hill, ۱۹۸۸.

۵. J. P. Bentley, Principles of Measurement Systems, ۲nd Ed., Longman Inc., ۱۹۸۳.

۶. Figliola, R.S., and Beasley, D.E., Theory and Design for Mechanical Measurement, ٤th Edition, Wiley, ۲۰۰٦.

۷. Doebelin, E. O., Measurement Systems, Application and Design, ٤th Edition, McGraw-Hill, ۲۰۰٤.

عنوان درس به فارسی:	سیستم های انرژی پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Energy Systems		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ■
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ■ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

سیستم‌های انرژی در شکل های مختلف خود نیازهای روز بشر را تامین می‌کنند و رشد تکنولوژی در این عرصه به بهبود راندمان، کاهش مصرف سوخت و ذخیره‌سازی بهینه انرژی کمک می نماید. در این درس تلاش می‌شود که ابتدا دانشجویان با سیستم‌های متداول تبدیل انرژی آشنا شده و سپس با آشنایی با تکنولوژی‌های جدید و غیرمتداول اقدام به تحلیل این سیستم‌های نمایند. سیکل‌های تولید توان مدرن و غیرمعمول و عموما هیبریدی نیز بررسی شده و ضمنا روش‌های جدید مورد استفاده در محرکه‌های زمینی و هوایی معرفی شده و اقدام به بررسی علمی این روش‌ها می‌گردد. در پایان نیز در مورد اقتصاد و بررسی قیمت تمام شده تولید برق به روش‌های مختلف مطالبی ارائه می‌گردد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. منابع انرژی و روش های تبدیل انرژی
   a. مقدمه
   b. منابع اولیه و ثانویه انرژی
   c. سیستم‌های انرژی
   d. روش‌های مدرن تولید توان
   e. محرکه‌های غیرمتداول
۲. چرخه های پیشرفته و غیرمتداول:
   a. مقدمه
   b. انواع چرخه‌های هوایی استاندارد
   c. چرخه‌های مدرن تولید توان
   d. چرخه‌های تولید همزمان و هیبرید
   e. تحلیل ترمودینامیکی چرخه‌های مدرن تولید توان
۳. انرژی‌های نو:
   a. مقدمه
   b. روش‌های تولید برق تجدید پذیر
   c. تحلیل اگزرژی در سیستم‌های تجدیدپذیر
   d. آلایندگی سیستم های تجدیدپذیر
۴. سیستم های پیشرفته ذخیره سازی انرژی:
   a. مقدمه
   b. پارامترهای مهم در سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه ریزی و آموزش

c. روش‌های ذخیره‌سازی انرژی
d. روند تکنولوژی در حوزه ذخیره‌سازی انرژی

۵. راندمان انرژی:
a. مقدمه
b. روند بهبود راندمان انرژی
c. روش‌های بهبود راندمان
d. پارامترهای مهم در بهبود راندمان تجهیزات توربین های گازی
e. نتیجه‌گیری

۶. اقتصاد تولید برق:
a. مقدمه
b. اقتصاد کلان تولید برق در دنیا و ایران
c. محوه محاسبه قیمت تمام شده برق
d. مقایسه اقتصادی روش‌های تولید برق

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

پروژه	۲۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۰ درصد
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	۲۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۵۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. V. Khartchenko, Vadym M. Khartchenko, Advanced Energy Systems, ۲nd Edition, Nikolai CRC Press, ۲۰۱٤.
۲. Henrik Lund, Renewable Energy Systems (۲nd Edition), ۲۰۱٤ Elsevier Inc, ISBN: ۹۷۸-۰-۱۲-٤۱۰٤۲۳-٥.
۳. Basel I. Ismail (۲۰۱۱). Power Generation Using Nonconventional Renewable Geothermal & Alternative Clean Energy Technologies, Planet Earth ۲۰۱۱ – Global Warming Challenges and Opportunities for Policy and Practice, Prof. Elias Carayannis (Ed.), ISBN: ۹۷۸-۹٥۳-۳۰۷-۷۳۳-۸, InTech.
۴. Power Techologies Energy Data Book, ٤th Edition, ۲۰۰٦, NREL.
۵. Power Technologies Energy Data Book, ٤th Edition, ۲۰۰٦, NREL.

عنوان درس به فارسی:	مدل سازی توربولانس		
عنوان درس به انگلیسی:	Turbulence Modeling		
دروس پیش‌نیاز:			
دروس هم‌نیاز:			
تعداد واحد:	۳		
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع درس و واحد		
نظری ■	پایه ☐	
عملی ☐	تخصصی اجباری ☐	
نظری / عملی ☐	تخصصی اختیاری ■	

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان مباحث مربوط به انواع روش‌های مدل‌سازی توربولانس را فرا خواهند گرفت.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مروری بر مفاهیم اساسی فیزیک توربولانس
۲. مروری بر مدل سازی توربولانس پایه:
مدل‌های جبری، تک معادله‌ای و دو معادله‌ای
۳. تاثیر تراکم‌پذیری بر مدل سازی توربولانس:
ملاحظات فیزیکی، معادلات متوسط‌گیری فاور، تقریب‌های کلوژر، قانون دیواره، بررسی مدل‌های توربولانسی تراکم پذیر نظیر k-ε و k-ω ، کاربردها در لایه مرزی، شوک، جدایی جریان
۴. مدلهای توربولانسی غیر مبتنی بر تقریب بوزینسک:
مشکلات تقریب بوزینسک، روابط متشکله غیر خطی، مدل‌های انتقال تنش نظیر مدل لاندر-ریسی-رودی و مدل ویلکوکس، کاربردها در جریان‌های آشفته همگن، جریان های برشی، جریان های جداشده،
۵. شبیه‌سازی گردابه های بزرگ:
تفاوت LES، DNS و DES، فیلتر، معادلات فیلتر شده، انواع مدل‌سازی زیر شبکه‌ای نظیر مدل اسمگورینسکی و دینامیکی، کاربردها
۶. مباحث خاص مرتبط با مدل‌سازی توربولانس

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۱۵ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۰ درصد
تمرین	۱۵ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه: لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Turbulence Modeling for CFD, D. C. Wilcox, third edition, ۲۰۰۶.
۲. Turbulent Flow, S. B. Pope.
۳. Turbulent Flow (Analysis, Measurement and Prediction), P. S. Bernard & J. M. Wallace.
۴. Introduction to Turbulence, P. A. Libby.
۵. The Physics of Fluid Turbulence, W. D. McComb.
۶. A First Course in Turbulence, H. Tennekes & J. H. Lumley.
۷. Turbulence, J. O. Hinze.

عنوان درس به فارسی:	مکانیک سیالات غیرنیوتونی		
عنوان درس به انگلیسی:	Non-Newtonian Fluid Mechanics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

آشنایی دانشجویان با سیالات غیرخطی و اصول حاکم بر دینامیک آنها با استفاده از روش‌های دیفرانسیلی

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مفاهیم اولیه و معادلات حاکم
۲. خواص رئولوژیکی سیالات غیرنیوتونی
۳. دینامیک سیالات غیرنیوتونی (حل‌های دقیق)
۴. دینامیک سیالات غیرنیوتونی (حل‌های تقریبی)
۵. تئوری ناپایداری خطی سیالات غیرنیوتونی

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۴۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۰ درصد
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	-
آزمون پایان‌ترم	۵۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Turbulence Modeling for CFD, D. C. Wilcox, third edition, ۲۰۰٦.
۲. C. W. Macosko, Rheology: Principles, Measurement and Applications, VCH, ۱۹۹٤.
۳. R. I. Tanner, Engineering Reology, Oxford University Press, Oxford, ۱۹۹۲.
۴. R. B. Bird, R. C. Armstrong, and O. Hassager, Dynamics of Polymeric Liquids, Vol. I, Fluid Mechanics, Wiley-Interscience, ۲nd Edition, ۱۹۸۷.
۵. T. Papanastasiou, Viscous Fluid Flow, CRC Press, New York, ۲۰۰۰.

عنوان درس به فارسی:	مکانیک سیالات میکرو و نانو		
عنوان درس به انگلیسی:	Micro and Nano Fluid Mechanics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان ضمن آشنایی با مفاهیم و اصول جریان سیالات در مقیاس نانو و میکرو، تئوری های مرتبط با پدیده‌های مختلف جریان‌های سیالات میکرو و نانو و اصول اولیه طراحی سیستمهای میکرو فلوئیدیک را فرا می‌گیرند.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مفاهیم پایه
۲. معادلات حاکم و مدل‌های لغزشی
۳. جریان‌های برش محرک (Shear driven)
۴. جریان‌های فشار محرک (Pressure driven)
۵. اثرات گرمایی جریان سیال در مقیاس‌های میکرو و نانو
۶. کاربردهای نمونه جریان گاز
۷. جریان‌های الکتروسینتیک
۸. جریان‌های کشش سطحی محرک
۹. جریان الکترواسمتیک در نانو کانال‌ها

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۳۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۲۰ درصد
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	-
آزمون پایان‌ترم	۵۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه: لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. Karniadakis, G., Beskok, A., Aluru, N., Microflows and Nanoflows (fundamental and simulation). Springer, ۲۰۰۵ (Textbook).
۲. Kirby, B., Micro-and Nanoscale fluid Mechanics: transport in microfluidic devices, Cambridge University Press, ۲۰۱۰.
۳. Nguyen, N.T., Wereley, S.T., Fundamental and Applications of Microfluidics, Artech House, ۲۰۰۲.
۴. Kandlikar, S.G., Garimella, S., Li, D., Colin, S. And King, M.R., Heat transfer and fluid flow in minichannels and microchannels, Elsevies, ۲۰۰۵.

عنوان درس به فارسی:	موتور احتراق داخلی پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Internal Combustion Engines		نوع درس و واحد
دروس پیش‌نیاز:			پایه ☐ نظری ☐
دروس هم‌نیاز:			تخصصی اجباری ☐ عملی ☐
تعداد واحد:	۳		تخصصی اختیاری ■ نظری / عملی ■
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ■ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

در این درس دانشجویان مباحث تکمیلی مربوط به موتورهای احتراق داخلی رفت و برگشتی را فرا خواهند گرفت.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مرور موارد مهم در مورد موتورهای احتراق داخلی
   a. انواع موتورهای احتراق داخلی رفت و برگشتی
   b. اصول کار موتورهای احتراق داخلی
   c. ترمودینامیک موتورهای احتراق داخلی
   d. چرخه‌های مهم موتورهای احتراق داخلی
   e. ویژگی‌های مهم موتور احتراق داخلی
۲. تبادل گاز
   a. مسیر هوارسانی
   b. مسیر دود
   c. انواع جریان‌های مهم در داخل سیلندر
   d. بازخورانی دود و پرخورانی
   e. بازده تنفسی
   f. سازوکارهای پیشرفته در تبادل گاز
   g. مدل‌سازی تبادل گاز به صورت صفر بعدی
   h. روش‌های حل عددی
۳. احتراق
   a. مقدمه‌ای در مورد سینتیک شیمیایی
   b. تعادل شیمیایی
   c. سرعت آرام شعله
   d. سرعت مغشوش شعله
   e. احتراق در موتور بنزینی
   f. احتراق در موتور دیزلی
   g. احتراق در موتورهای اشتعال تراکمی همگن و نفوذی
   h. احتراق غیرعادی در موتور بنزینی
   i. نوفه در احتراق موتور دیزلی
   j. حضور در آزمایشگاه و اندازه‌گیری تجربی یک نمونه عملی
   k. محاسبات ترمودینامیکی و سینتیکی جهت مدل‌سازی احتراق

۴. پاشش سوخت
   a. پاشش سوخت در موتورهای بنزینی
   b. پاشش سوخت در موتورهای دیزلی
   c. آخرین فناوری‌های پاشش سوخت در موتورهای احتراق داخلی
   d. مدل‌سازی پاشش سوخت
۵. آلایندگی
   a. اثرات مخرب آلاینده‌ها بر محیط زیست
   b. آلاینده‌های موتور بنزینی و نحوه تشکیل آن
   c. روش‌های پالایش آلاینده‌های موتور بنزینی
   d. آلاینده‌های موتور دیزلی و نحوه تشکیل آن
   e. روش‌های پالایش آلاینده‌های موتور دیزلی
   f. استاندارد های آلایندگی
۶. مدل سازی موتور
   a. مدل سازی ترمودینامیکی(صفربعدی)
   b. مدل سازی شبه سه بعدی
   c. مدل سازی سه‌بعدی
۷. آینده موتورهای احتراق داخلی
   a. برقی‌سازی
   b. پیل‌سوختی
   c. موتورهای اشتعال تراکمی به همراه فناوری برقی‌سازی
   d. چالش‌های پیش‌روی موتوهای احتراقی

ث) راهبردهای ارزشیابی :

پروژه	۲۰ درصد
ارزشیابی مستمر	۱۰ درصد
تمرین	۱۰ درصد
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. J .B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill, ۲۰۱۸.
۲. G. P. Blair, Design and Simulation of Four Stroke Engines, SAE International, ۱۹۹۹.
۳. C. R. Ferguson, A. T. Kirkpatric, Internal Combustion Engines applied thermodynamics, John Wiley & Sons, ۳rd edition, ۲۰۱٦.
۴. W. W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice-Hall

عنوان درس به فارسی:	هیدروآیرودینامیک پیشرفته		
عنوان درس به انگلیسی:	Advanced Hydro-Aerodynamics	نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ■
دروس هم‌نیاز:		تخصصی اجباری ☐	عملی ☐
تعداد واحد:	۳	تخصصی اختیاری ■	نظری / عملی ☐
تعداد ساعت:	۴۸		

نوع آموزش تکمیلی عملی (در صورت نیاز): سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر: .....

هدف کلی:

هدف از این درس بررسی سیالات در حال حرکت، مطالعه و بررسی جریان تراکم ناپذیر، محاسبه‌ی نیروها و گشتاورهای ناشی از آن بر روی اجسام پرنده می‌باشد.

اهداف ویژه:

پ) مباحث یا سرفصل‌ها:

۱. مقدمه و پیش زمینه
   a. توصیف حرکت سیال
   b. انتخاب دستگاه مختصات
   c. خطوط مسیر، اثر و جریان
   d. نیروها در یک سیال
   e. شکل انتگرالی معادلات دینامیک سیالات
   f. شکل دیفرانسیلی معادلات دینامیک سیالات
   g. آنالیز ابعادی معادلات دینامیک سیالات
   h. جریان با عدد رینولدز بالا
   i. تشابه جریان‌ها
۲. مبانی جریان تراکم‌ناپذیر غیرلزج
   a. سرعت زاویه‌ای، ورتیسیته و سیرکولاسیون
   b. نرخ تغییر ورتیسیته
   c. نرخ تغییر سیرکولاسیون: تئوری کلوین
   d. جریان غیرچرخشی و پتانسیل سرعت
   e. شرایط مرزی و شرایط نامحدود
   f. معادله‌ی برنولی برای فشار
   g. نواحی همبند ساده و چندگانه
   h. یکتایی حل
   i. کمیت‌های گردابه
      i. گردابه‌ی دوبعدی
      ii. قانون بیوت-ساوارت
      iii. سرعت القائی از خط ورتکس مستقیم

iv. تابع جریان

۳. حل عمومی معادلات جریان پتانسیل تراکم‌ناپذیر
   a. تشریح مسئله جریان پتانسیل
   b. حل کلی مبتنی بر اتحاد گرین
   c. خلاصه: تشخیص روش حل
   d. حل اساسی: چشمه نقطه‌ای
   e. حل اساسی: دابلت نقطه‌ای
   f. حل اساسی: چندجمله‌ای‌ها
   g. نسخه‌ی دو بعدی حل‌های اساسی
   h. حل اساسی: گردابه
   i. اصول برهم نهی
      i. برهم نهی چشمه‌ها و جریان آزاد: بیضی رانکین
      ii. برهم نهی دابلت و جریان آزاد: جریان حول یک سیلندر
      iii. برهم نهی دابلت سه‌بعدی و جریان آزاد: جریان اطراف یک کره
      iv. نکاتی پیرامون جریان اطراف سیلندر و کره
      v. توزیع صفحه‌ای معادلات اساسی

۴. جریان با اغتشاشات کوچک حول پره‌های سه‌بعدی (فرمولاسیون مسئله)
   a. تعریف مسئله
   b. شرایط مرزی بر روی پره
   c. مسائل برآزا
   d. پره‌ی متقارن با ضخامت غیر صفر در زاویه حمله‌ی صفر
   e. ضخامت صفر پره خمیده در زاویه حمله – سطوح لیفتینگ
   f. بارهای آیرودینامیکی
   g. ویک گردابه
   h. تئوری خطی شده جریان‌تراکم‌پذیر با اغتشاشات کوچک

۵. جریان با اغتشاشات کوچک روی ایرفویل های دو بعدی
   a. ایرفویل متقارن با ضخامت غیر صفر در زاویه حمله‌ی صفر
   b. ایرفویل با ضخامت صفر در زاویه حمله
   c. حل کلاسیک مسئله برآزا
   d. نیروهای آیرودینامیک و ممان آنها بر روی یک ایرفویل نازک
   e. المان گردابه – توده
   f. خلاصه و نتیجه‌گیری از تئوری ایرفویل نازک

۶. حل‌های اغتشاشات کوچک سه‌بعدی
   a. پره محدود: مدل خط برآزا
      i. تعریف مسئله
   b. مدل خط برآزا
      i. بارهای آیرودینامیکی
      ii. توزیع لیفت بیضوی
      iii. توزیع سیرکولاسیون در جهت اسپن

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه‌ریزی و آموزش

iv. پره بیضوی پیچ خورده
v. نتایج تئوری خط برآزا
c. تئوری پره نازک
i. تعریف مسئله
ii. حل جریان روی پره‌های نازک تیز
iii. روش R. T. Jones
iv. نتایج تئوری پره نازک
d. تئوری جسم نازک
i. جریان طولی نامتقارن در پشت یک جسم نازک دورانی
ii. جریان متقاطع در پشت یک جسم نازک دوارنی
iii. اطلاعات نیرو و فشار
iv. نتایج تئوری جسم نازک
e. محاسبات میدان دور برای درگ القائی

۷. روش‌های عددی (پنل‌ها)
a. معادلات اصلی
b. شرایط مرزی
c. ملاحظات فیزیکی
d. کاهش مسئله به مجموعه‌ای از معادلات خطی جبری
e. بارهای آیرودینامیکی
f. ملاحظات اولیه، قبل از ایجاد حل‌های عددی
g. گام‌های تولید یک حل عددی
h. مثال: حل ایرفویل نازل با المان Lumped-Vortex
i. در نظر گرفتن اثرات تراکم‌پذیری و ویسکوزیته

۸. المان‌های منفرد و ضرایب اثرگذاری
a. المان‌های نقطه منفرد دوبعدی
i. چشمه‌ی نقطه‌ای دوبعدی
ii. دابلت نقطه‌ای دوبعدی
iii. گردابه‌ی نقطه‌ای دوبعدی
b. المان‌های نقطه‌ای دو بعدی با قدرت ثابت
i. توزیع چشمه با قدرت ثابت
ii. توزیع دابلت با قدرت ثابت
iii. توزیع گردابه با قدرت ثابت
c. المان‌های منفرد دو بعدی با قدرت خطی
i. توزیع چشمه ی خطی
ii. توزیع دابلت خطی
iii. توزیع گردابه‌ی خطی
iv. توزیع دابلت درجه دوم
d. المان‌های منفرد سه‌بعدی با قدرت ثابت
i. چشمه‌ی چهار وجهی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی

ii. دابلت چهار وجهی
iii. پنل دابلت ثابت معادل با حلقه‌ی گردابه
iv. مقایسه‌ی روابط میدان نزدیک و دور
v. جزء خطی گردابه با قدرت ثابت
vi. حلقه گردابه
vii. گردابه نعل اسبی

e. المان‌های مرتبه بالاتر سه‌بعدی

۹. حل های عددی دو بعدی

a. حل‌های منفرد نقطه‌ای
i. روش گردابه گسسته
ii. روش چشمه گسسته

b. حل‌های منفرد با قدرت ثابت (با استفاده از شرایط مرزی نیومن)
i. روش چشمه با قدرت ثابت
ii. روش دابلت با قدرت ثابت
iii. روش گردابه با قدرت ثابت

c. روش‌های پتانسیل ثابت (شرایط مرزی دریشله)
i. روش چشمه و دابلت ترکیبی
ii. روش دابلت با قدرت ثابت

d. روش‌های قدرت منفرد با تغییرات خطی (با استفاده از شرایط مرزی نیومن)
i. روش چشمه با قدرت خطی
ii. روش گردابه با قدرت خطی

e. روش‌های قدرت منفرد با تغییرات خطی (با استفاده از شرایط مرزی دریشله)
i. روش چشمه/ دابلت خطی
ii. روش دابلت خطی

f. روش‌های مبتنی بر توزیع دابلت چهار وجهی (با استفاده از شرایط مرزی دریشله)
i. روش چشمه خطی/ دابلت چهار وجهی
ii. روش دابلت چهار وجهی

g. برخی از نتایج درباره روش‌های پنل

۱۰. حل‌های عددی سه‌بعدی

a. حل خط برآزا با استفاده از المان‌های نعل اسبی
b. مدل سازی متقارن و بازتاب‌ها از مرز های جامد
c. حل سطح برآزا با استفاده از المان‌های حلقه‌ی گردابه
d. مقدمه‌ای بر کدهای پنل: یک تاریخچه مختصر
e. روش‌های پنل مبتنی بر پتانسیل مرتبه اول
f. روش‌های پنل مرتبه بالاتر
g. حل‌های نمونه و کدهای پنل

۱۱. جریان پتانسیل تراکم ناپذیر گذرا

a. فرمولاسیون مسئله و انتخاب دستگاه مختصات
b. روش حل

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای عالی برنامه ریزی و آموزش

c. ملاحظات فیزیکی اضافی
d. محاسبات فشار
e. مثال‌های شرایط مرزی گذرا
f. خلاصه‌ای از شناخت روش حل
g. شتاب ناگهانی یک صفحه‌ی تخت
i. جرم افزوده
h. حرکت گذرای یک ایرفویل نازک دوبعدی
i. سینماتیک
ii. مدل ویک
iii. حل با استفاده از روش گام زمانی
iv. بارهای دینامیکی سیال
i. حرکت گذرای یک پره‌ی باریک
j. سینماتیک
k. حل جریان گذرا روی یک پره‌ی باریک
l. الگوریتم برای ایرفویل گذرا با استفاده از المان گردابه-توده (Lumped-Vortex)
m. چند نکته درباره شرایط مرزی گذرای کوتا
n. حل سطح برآزای گذرا با استفاده از المان‌های حلقه گردابه
o. روش‌های پنل گذرا

ث) راهبردهای ارزشیابی (پیشنهادی):

پروژه	۴۰ درصد
ارزشیابی مستمر	-
تمرین	-
آزمون میان‌ترم	۳۰ درصد
آزمون پایان‌ترم	۳۰ درصد

ج) ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:

لوازم مرسوم جهت تدریس نیاز است.

چ) فهرست منابع پیشنهادی:

۱. K. Karamcheti, Principles of Ideal-Fluid Aerodynamics, ۲nd Edition, Krieger Publication Company, ۱۹۸۰.
۲. R. L. Panton, Incompressible Flow, ٤th Edition, Wiley, ۲۰۱۳.
۳. L. Prandtl and O. G. Tietjens, Fundamentals of Hydro- and Aeromechanics, Dover Publications, ۲۰۱۱.
۴. J. Katz and A. Plotkin, Low-Speed Aerodynamics, ۲nd Edition, Cambridge University Press, ۲۰۰۱. ۵. J. D. Anderson, Fundamentals of Aerodynamics, ۳rd Edition, McGraw-Hill, ۲۰۰۱.