**بسمه تعالی**

دانشگاه شهید بهشتی

مشخصات کلی، برنامه درسی و
سرفصل دروس دوره تحصیلات تکمیلی (کارشناسی‌ارشد و دکتری)
مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

**دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی**
**گروه تبدیل انرژی**

معاونت آموزشی
کد (۲۰۰)

مصوب جلسه شورای آموزشی دانشگاه مورخ ۱۴۰۱/۰۲/۲۰.

این برنامه بر اساس آئین‌نامه واگذاری اختیارات برنامه درسی به دانشگاه‌ها توسط اعضای گروه علمی تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی **دانشگاه شهید بهشتی** بازنگری شده و در جلسه مورخ ۱۴۰۱/۰۲/۲۰ شورای آموزشی دانشگاه به تصویب رسید.

مصوبه شورای آموزشی دانشگاه مورخ ۱۴۰۱/۰۲/۲۰ در خصوص بازنگری برنامه درسی تحصیلات تکمیلی (کارشناسی‌ارشد و دکتری) رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

برنامه درسی تحصیلات تکمیلی(**کارشناسی‌ارشد و دکتری**) رشته مهندسی مکانیک گرایش **تبدیل انرژی** که توسط گروه علمی تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی بازنگری شده، با اکثریت آراء به تصویب رسید.

این برنامه از تاریخ تصویب لازم الاجرا است.*

*: هر نوع تغییر در برنامه مجاز نیست مگر آنکه به تصویب شورای آموزشی دانشگاه برسد.

رأی صادره جلسه مورخ ۱۴۰۱/۰۲/۲۰ شورای آموزشی دانشگاه در مورد برنامه درسی بازنگری شده تحصیلات تکمیلی (کارشناسی‌ارشد و دکتری) رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی صحیح است؛ به واحدهای ذیربط ابلاغ شود.

مریم دولو

مدیر برنامه‌ریزی و ارزیابی آموزشی دانشگاه

علی اکبر افضلیان

معاون آموزشی دانشگاه

اسامی کمیته برنامه‌ریزی درسی

| ردیف | نام و نام‌خانوادگی به ترتیب حروف الفبا | تخصص | مرتبه علمی |
|---|---|---|---|
| ۱ | محمد امام‌زاده | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | استادیار |
| ۲ | حمید جان‌نثاری | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | استادیار |
| ۳ | علی جهانگیری | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | دانشیار |
| ۴ | امین رسام | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | استادیار |
| ۵ | محمد عامری | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | استاد |
| ۶ | محمد مجدم | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | استادیار |
| ۷ | سهند مجیدی | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | استادیار |
| ۸ | آرمان محسنی | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | استادیار |
| ۹ | نگار نباتیان | مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی | استادیار |

# فصل اول:
# مشخصات کلی دوره تحصیلات تکمیلی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی (کارشناسی‌ارشد و دکتری)

« بازنگری برنامه درسی دوره تحصیلات تکمیلی(کارشناسی‌ارشد و دکتری) مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی »

## ۱- تعریف:

دوره تحصیلات تکمیلی (کارشناسی‌ارشد و دکتری) مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی یکی از مجموعه‌های آموزش عالی است که شامل دروس نظری و پروژه تحقیقاتی در یکی از زمینه‌های صنعتی کشور می‌باشد.

## ۲- هدف:

هدف از اجرای این دوره، تربیت محقق، مدرس یا مهندس مسلط به مباحث جریان سیال، انتقال حرارت و ترمودینامیک در سطح پیشرفته و همچنین آشنا به مباحث نوین مطرح شده در شاخه‌های علمی فوق است.

## ۳- ضرورت و اهمیت:

نظر به پیشرفت روزافزون کشور در زمینه‌های مختلف نیروگاهی، نفت و گاز، دفاعی، هوایی، خودروسازی، مهندسی پزشکی و غیره، نیاز به انجام تحقیقات در راستای پیشبرد و توسعه صنایع مذکور ضروری به نظر می‌رسد. لذا ارایه مطلوب دوره تحصیلات تکمیلی (کارشناسی‌ارشد و دکتری) مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی می‌تواند خلاء پژوهشی موجود در علوم مهندسی مربوطه را برطرف نماید و ضامن پیشرفت پایدار صنایع مرتبط باشد.

## ٤- طول دوره و شکل نظام:

حداقل و حداکثر مدت مجاز برای انجام دوره کارشناسی‌ارشد مطابق با آیین نامه کارشناسی‌ارشد می‌باشد. نظام آموزشی آن واحدی است و دروس در ۴ نیمسال ارائه می‌شود و زمان هر نیمسال ۱۶ هفته است و مدت تدریس یک واحد نظری ۱۶ ساعت و یک واحد عملی ۳۲ ساعت می‌باشد.

دوره دکتری مهندسی مکانیک، مطابق آیین‌نامه مقطع مربوطه مصوبه شورای عالی برنامه‌ریزی دارای دو مرحله آموزشی و پژوهشی (تدوین رساله) و جمعا حداقل شش و حداکثر هشت نیم سال است. نظام آموزشی آن واحدی است و دروس در ۴ نیمسال ارائه می شود و زمان هر نیمسال ۱۶ هفته است و مدت تدریس یک واحد نظری ۱۶ ساعت و یک واحد عملی ۳۲ ساعت می‌باشد.

## ۵- تعداد و نوع واحدهای درسی دوره:

تعداد واحدهای درسی دوره کارشناسی‌ارشد ۳۲ واحد به شرح ذیل می باشد:

| | |
|---|---|
| دروس تخصصی الزامی | ۱۲ واحد |
| دروس تخصصی اختیاری | ۱۴ واحد |
| پایان نامه | ۶ واحد |

(دروس جبرانی: با نظر و تشخیص گروه مربوطه، برخی دروس بصورت جبرانی، قابل ارائه می‌باشد)

درس‌های تخصصی و پایان‌نامهٔ پژوهشی کارشناسی‌ارشد در ارتباط با یکدیگراند و با تأیید استاد راهنما با توجه به شاخهٔ آموزشی دانشجو، انتخاب خواهند شد. همچنین دانشجو موظف است تا قبل از پایان نیم سال اول تحصیلی، استاد راهنمای پایان نامهٔ خود را به طور مکتوب به گروه معرفی نماید.

تعداد واحدهای درسی در دورهٔ دکتری، ۳۶ واحد بدین شرح است:

دروس تخصصی ۱۲ واحد

رساله ۲۴ واحد

درس‌های تخصصی و رساله دکتری در ارتباط با یکدیگراند و با تأیید استاد راهنما با توجه به شاخهٔ آموزشی دانشجو، انتخاب خواهند شد. همچنین دانشجو موظف است تا قبل از پایان نیم سال اول تحصیلی، استاد راهنمای رساله خود را به طور مکتوب به گروه معرفی نماید.

## ٦- نقش و توانایی فارغ التحصیلان:

- آشنایی با پدیده‌های مهم و تأثیرگذار در جریان سیال و توانایی تحلیل جریان در فرم‌های مختلف قابل مشاهده در صنعت.
- توانایی شناخت مکانیزم‌های غالب در انتقال حرارت و قابلیت ارائه روش‌های مناسب جهت بهبود فرایندهای انتقال حرارت.
- قابلیت تحلیل فرایندهای ترمودینامیکی و ارایه راهکار جهت بهبود قابلیت کاردهی سیستم‌های ترمودینامیکی
- توانایی تحلیل تجربی و شناخت روش‌های اندازه‌گیری در جریان و همچنین ساخت دستگاه جهت انجام تحلیل تجربی
- توانایی به‌کارگیری روش‌های عددی و محاسباتی جهت حل معادلات جریان و انتقال حرارت و انجام تحلیل‌های عددی پیشرفته

## ۷- شرایط ورود به رشته/گرایش:

شرایط ورود توسط آخرین قوانین حاکم برآزمون کارشناسی‌ارشد و دکتری صادره از وزارت علوم و تحقیقات تعیین می گردد.

## ۸- مواد و ضرایب امتحانی و...:

آخرین قوانین مربوط به مواد امتحانی و ضرایب، هرساله توسط سازمان سنجش آموزش کشور تعیین می گردد.

# فصل دوم:
# جداول دروس

۱- دروس تخصصی (الزامی برای کارشناسی‌ارشد)

۲- دروس تخصصی اختیاری تحصیلات تکمیلی(کارشناسی‌ارشد و دکتری)

دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۶۰۰)

**جدول شماره ۱: دروس تخصصی (الزامی برای کارشناسی‌ارشد)**

| کد درس | نام درس | تعداد واحد | ساعت | | | پیش‌نیاز یا هم‌نیاز |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | جمع | نظری | عملی | |
| ۱۰۱ | ریاضیات پیشرفته ۱ | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۱۰۲ | مکانیک سیالات پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۱۰۳ | ترمودینامیک پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۱۰۴ | انتقال حرارت جابجایی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۰۰۰)

**جدول شماره ۲: دروس تخصصی اختیاری (کارشناسی‌ارشد و دکتری)**

| کد درس | نام درس | تعداد واحد | ساعت | | | پیش‌نیاز یا هم‌نیاز |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | جمع | نظری | عملی | |
| ۲۰۱ | انتقال حرارت هدایت | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ریاضیات پیشرفته ۱ (هم‌نیاز) |
| ۲۰۲ | انتقال حرارت تشعشع | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۰۳ | توربولانس | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | مکانیک سیالات پیشرفته |
| ۲۰۴ | جریان و انتقال حرارت چندفازی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | انتقال حرارت جابجایی (هم‌نیاز)، مکانیک سیالات پیشرفته (هم‌نیاز) |
| ۲۰۵ | دینامیک گاز | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۰۶ | کاربرد انرژی خورشیدی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۰۷ | لایه‌های مرزی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۰۸ | طراحی مبدل‌های حرارتی پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۰۹ | محاسبات عددی پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۱۰ | مکانیک سیالات غیرنیوتنی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | مکانیک سیالات پیشرفته (هم‌نیاز) |
| ۲۱۱ | نیروگاه‌ها | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۱۲ | دینامیک سیالات محاسباتی ۱ | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۱۳ | دینامیک سیالات محاسباتی ۲ | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | دینامیک سیالات محاسباتی ۱ |
| ۲۱۴ | تهویه مطبوع پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۱۵ | سیستم‌های تبرید پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۱۶ | آکوستیک مهندسی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۱۷ | سوخت و احتراق پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ترمودینامیک پیشرفته |
| ۲۱۸ | ذخیره‌سازی انرژی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۱۹ | اندازه‌گیری پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۲۰ | توربوماشین‌ها | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | مکانیک سیالات پیشرفته (هم‌نیاز) |
| ۲۲۱ | مکانیک محیط‌های پیوسته ۱ | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۲۲ | مکانیک محیط‌های پیوسته ۲ | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | مکانیک محیط‌های پیوسته ۱ |
| ۲۲۳ | آیروآکوستیک | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ریاضیات پیشرفته ۱، مکانیک سیالات پیشرفته |
| ۲۲۴ | کرایوژنیک | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ترمودینامیک پیشرفته (هم‌نیاز) |
| ۲۲۵ | پردازش موازی و کاربردهای آن در CFD | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | دینامیک سیالات محاسباتی ۱ |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۲۶ | جریان‌های میکرو-نانو | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۲۷ | موتورهای احتراق داخلی پیشرفته | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ترمودینامیک پیشرفته (هم‌نیاز) |
| ۲۲۸ | جریان چندفاز در محیط متخلخل | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۲۹ | روش اجزاء محدود | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ریاضیات پیشرفته ۱ |
| ۲۳۰ | تبدیل مستقیم انرژی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۳۱ | ترمودینامیک آماری | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ترمودینامیک پیشرفته |
| ۲۳۲ | انتقال حرارت در مقیاس میکرو و نانو | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۳۳ | مکانیک سیالات زیستی | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۳۴ | انتقال و پخش ذرات | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | مکانیک سیالات پیشرفته (هم‌نیاز) |
| ۲۳۵ | جریان‌های لزج | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۳۶ | ریاضیات پیشرفته ۱ ** | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۳۷ | ترمودینامیک پیشرفته ** | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۳۸ | مکانیک سیالات پیشرفته ** | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۳۹ | انتقال حرارت جابجایی ** | ۳ | ۴۸ | ۴۸ | | ندارد |
| ۲۴۰ | سمینار و روش تحقیق | ۲ | ۳۲ | ۳۲ | | ندارد |

** توضیح: امکان اخذ هرکدام از دروس اختیاری مشخص شده صرفا برای دانشجویان دوره دکتری وجود دارد، در صورتی که در مقطع قبلی خود این دروس را نگذرانده باشند.

# دروس تخصصی الزامی (کارشناسی‌ارشد)

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: ریاضیات پیشرفته ۱</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>ریاضیات پیشرفته ۱</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Engineering Mathematics I</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="7">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="7">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با مباحث پیشرفته ریاضی مهندسی

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | • آنالیز اعداد مختلط |
| **دوم** | o بررسی توابع مختلط |
| **سوم** | o انتگرال گیری مختلط |
| **چهارم** | o سری های توانی<br>o انتگرال گیری به روش مانده ها |
| **پنجم** | • جبر خطی |
| **ششم** | o بررسی ماتریس دترمینان و بردار<br>o مسایل مقدار ویژه |
| **هفتم** | • معادلات دیفرانسیل ODE |
| **هشتم** | o یادآوری<br>o سیستم معادلات دیفرانسیل |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۳۰۰)

| | |
|---|---|
| | o توابع بسل لژاندر گاما هرمیت گاوس |
| **نهم**<br>**دهم**<br>**یازدهم**<br>**دوازدهم** | • معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزیی |
| **سیزدهم** | • تبدیلات انتگرالی و کاربرد آن ها در حل PDE ها<br>o مسایل اشتورم لیوویل |
| **چهاردهم** | o توابع متعامد<br>o تبدیل لاپلاس فوریه و ملین |
| **پانزدهم** | • توابع انتگرالی<br>o انتگرال های گرین و کرنل |
| **شانزدهم** | • حساب تغییرات |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۳۵ | ٪۵ | ٪۵۵ | اختیاری | ٪۵ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Kreyszig, Erwin. Advanced Engineering Mathematics, 10th eddition, Wiley (2009).
2. Pinchover, Yehuda, and Jacob Rubinstein. An Introduction to Partial Differential Equations. Cambridge University Press (2005).


.

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: مکانیک سیالات پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>مکانیک سیالات پیشرفته</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Fluid Mechanics</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با مباحث تکمیلی مکانیک سیالات و کسب توانایی در تحلیل دیفرانسیلی جریان سیال، آشنایی با معادلات حاکم بر جریان در حالت کلی، کسب معلومات مورد نیاز در به‌کارگیری تقریبات مختلف از معادلات حاکم بر جریان.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مرور مقدماتی جبر تانسوری، بیان معادلات در فرم اندیسی |
| **دوم** | استخراج معادلات حاکم بر حرکت سیال در حالت کلی با به کارگیری فرضیه محیط پیوسته، تحلیل سینماتیک جریان، مرور رهیافت اویلری و لاگرانژی و قضیه انتقال رینولدز، معرفی معادلات اساسی و |
| **سوم** | معادلات حالت پرکاربرد، استخراج معادلات ناویر-استوکس به عنوان معادلات حاکم بر جریان سیالات نیوتنی |
| **چهارم** | ارایه حل‌های دقیق پرکاربرد از معادلات ناویر-استوکس در مسایلی مانند جریان پوازی، جریان کوئت، |
| **پنجم** | جریان کوئت دورانی، مساله اول و دوم استوکس، جریان نقطه سکون، جریان پیچشی فون کارمن، جریان |
| **ششم** | ضربانی، جریان در کانالهای همگرا-واگرا، جریان اطراف حباب نوسانی و معادله رایلی-پلسه، جریان یکنواخت روی سطح متخلخل |
| **هفتم** | تشریح نحوه ساده‌سازی معادلات حاکم بر جریان در تقریب خزشی، دستیابی به معادله Biharmonic، |

| | |
|---|---|
| **هشتم** | ارایه حل‌های تحلیلی از معادلات حاکم بر جریان خزشی مانند حل مفات، جریان خزشی در گوشه (حل دین و مونتاگنون)، جریان فشاری ( Squeezing Flow) بین دو دیسک نزدیک شونده و غیره، تشریح پارادوکس استوکس و معرفی تقریبات اصلاح شده برای جریان خزشی مانند تقریب اوسین ( Oseen's approximation) |
| **نهم** | |
| **دهم** | تشریح نحوه ساده‌سازی معادلات حاکم بر جریان در تقریب روغنکاری و بررسی نحوه به کارگیری این تقریب در یاتاقان‌های ژورنال و یاتاقان‌های لغزشی |
| **یازدهم** | تشریح فرضیات اساسی در تقریب لایه مرزی، به دست آوردن معادلات حاکم بر لایه مرزی از معادلات ناویر-استوکس، تبدیل فالکنر-اسکن و حل‌های تحلیلی لایه مرزی همراه با گرادیان فشار مانند لایه مرزی روی سطح شیبدار، لایه مرزی در جریان نقطه سکون و لایه مرزی در کانال‌های همگرا، روش حل تقریبی لایه مرزی مانند روش مومنتوم-انتگرال فون کارمن، معرفی روش‌های پیش‌بینی جدایش لایه مرزی مانند روش کارمن-پل‌هاوزن و روش تویتس، معرفی اجمالی تحلیل پایداری خطی لایه مرزی |
| **دوازدهم** | |
| **سیزدهم** | |
| **چهاردهم** | تشریح تقریب پتانسیل و بررسی شرایط لازم جهت اعمال این تقریب، معرفی تابع پتانسیل مختلط و تشریح ارتباط تابع پتانسیل و تابع جریان، بررسی تابع پتانسیل مختلط جریان های ساده و بررسی جریان های پتانسیل ترکیبی، انتگرال بلازیوس، معرفی نگاشت های همدیس و کاربرد آنها در تحلیل جریان پتانسیل حول ایرفویل، شرط کوتا |
| **پانزدهم** | |
| **شانزدهم** | |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. White, Frank M., and Joseph Majdalani. Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill (2021).
2. Panton, Ronald L. Incompressible Flow. John Wiley & Sons (2013).
3. Currie, Iain G. Fundamental Mechanics of Fluids. CRC press (2016).
4. Graebel, William. Advanced Fluid Mechanics. Academic Press (2007).
5. Kundu, Pijush K, Ira M. Cohen, and David R. Dowling. Fluid Mechanics. Academic Press (2015).



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۲۰۰)

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: ترمودینامیک پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به فارسی:<br>ترمودینامیک پیشرفته</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="5">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="5">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Thermodynamics</td><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td colspan="2">تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با مباحث و مفاهیم پیشرفته ترمودینامیک و کسب توانایی در تحلیل اگزرژی سیکل‌ها و فرآیندهای ترمودینامیکی، بهینه سازی در ترمودینامیک و روابط ترمودینامیکی.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مروری بر ترمودینامیک کلاسیک، |
| **دوم** | یادآوری تعاریف پایه در محیط پیوسته، معرفی سیستم و محیط، سیستم‌های باز، بسته و ایزوله. توابع مستقل از مسیر و توابع وابسته به مسیر. |
| **سوم** | بیان قانون صفرم و سوم ترمودینامیک و اثبات آنها |
| **چهارم** | تشریح قانون اول و دوم ترمودینامیک و اثبات آنها برای انواع سیستم‌ها |
| **پنجم** | ارائه اثبات قانون دوم برای سیتمهای شامل چند منبع |
| **ششم** | - قانون دوم برای سیستم‌های باز و بسته<br>- تعادل ترمودینامیکی<br>- تئوری کراتئودوریک در بیشینه انتروپی و کمینه انرژی<br>اثبات قوانین و به‌کارگیری مفهوم فرایندهای امکان‌پذیر ترمودینامیکی |
| **هفتم** | تحلیل اگزرژی و محاسبه تولید انتروپی در سیکل‌ها و فرایندها |
| **هشتم** | معرفی اگزرژی غیرجریانی و فیزیکی و معرفی اگزرژی جریانی و چرخه اگزرژی سیکل‌ها |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۰۰۰)

| | |
|---|---|
| **نهم** | - تولید انتروپی و تخریب اگزرژی<br>- مفهوم بازگشت‌پذیری در فرایندهای ترمودینامیکی و سیستم‌های باز و بسته<br>- مکانیزم تولید انتروپی در انواع پدیده ها و فرایندها |
| **دهم** | مقدمه‌ای بر بهینه‌سازی به روش ریاضی |
| **یازدهم**<br>**دوازدهم**<br>**سیزدهم**<br>**چهاردهم** | بهینه‌سازی سیکل‌های ترمودینامیکی<br>- سیکل‌های تولید توان:<br>- بازگشت ناپذیری و تخریب اگزرژی در سیکل‌های نیروگاهی، نیروگاه‌های بخار و گاز پیشرفته و سیکل‌های ترکیبی.<br>- سیکل‌های تبرید:<br>- اثر ژول تامسون و مفهوم تخریب اگزرژی در سیکل‌های سرمایش<br>- کمینه کردن تولید انتروپی<br>بهینه سازی فرایندها به روش کمینه کردن تولید انتروپی در انتقال حرارت و بازگشت‌ناپذیری ناشی از آن و در مبدل‌های حرارتی و سیستم‌های ذخیره سازی انرژی و... |
| **پانزدهم**<br>**شانزدهم** | روابط ترمودینامیکی:<br>- روابط ماکسول، کلاسیوس- کلاپیرون، معادلات گیبس، تغییر فاز، انواع تعادل و ناپایداری، معادلات حالت و... |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Bejan, Adrian. Advanced Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons (2016).
2. Winterbone, Desmond, and Ali Turan. Advanced Thermodynamics For Engineers. Butterworth-Heinemann (2015).
3. Moran, Michael J., et al. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons (2010).
4. Callen, Herbert B. Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics. John Wiley & Sons (1988).
5. Hsieh, Jui Sheng. Principles of Thermodynamics. McGraw-Hill Kogakusha (1975).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: انتقال حرارت جابه‌جایی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>انتقال حرارت جابه-جایی</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Convection Heat Transfer</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ■ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی عمیق با مفاهیم انتقال حرارت جابجایی، آشنایی با معادلات حاکم و کسب توانایی در تحلیل مسائل مختلف با روش‌های آنالیز مقیاس، تشابهی و انتگرالی، کسب مهارت مورد نیاز در به‌کارگیری تقریب‌های مناسب مهندسی در ساده کردن معادلات حاکم.

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول و دوم** | **قوانین اساسی**: معرفی قوانین بقای جرم، ممنتم و انرژی، معرفی روابط ساختاری شامل رابطه حاکم بر سیال نیوتنی و رابطه فوریه، معرفی معادلات حالت، بدست آوردن شکل دیفرانسیلی معادلات حاکم بر جابه‌جایی اجباری با فرض جریان آرام شامل معادلات بقای جرم، بقای ممنتم (معادله نویر-استوکس با فرض سیال نیوتنی) و قانون اول ترمودینامیک (بقای انرژی)، قانون دوم ترمودینامیک، معرفی روش آنالیز مقیاس و قوانین آن، معادلات حاکم در مختصات استوانه‌ای و کروی |

| | |
|---|---|
| سوم، چهارم، پنجم و ششم | **جریان لایه مرزی لامینار:** تشریح فرضیات اساسی در تقریب لایه مرزی، بدست آوردن معادلات حاکم بر لایه مرزی از معادلات ناویر-استوکس، استفاده از آنالیز مقیاس در حل جریان آرام لایه مرزی روی صفحه تخت نیمه بینهایت برای اعداد پراندل بزرگ و کوچک، حل دقیق جریان روی صفحه نیمه بینهایت با شرط مرزی دمای سطح ثابت و فرض لایه مرزی: حل بلازیوس در میدان سرعت و حل پلهاوزن در میدان دما، روش حل تقریبی انتگرالی در حل لایه مرزی، مقایسه مزایا و معایب روش‌های انتگرالی و دیفرانسیلی، استخراج شکل انتگرالی معادلات بقا، مراحل کار در حل انتگرالی، حل دقیق تشابهی جریان روی صفحه نیمه بینهایت با شرط مرزی دمای سطح ثابت و فرض لایه مرزی: حل بلازیوس در میدان سرعت و حل پلهاوزن در میدان دما، استفاده از فرض لایه مرزی و روش تشابهی در حل جریان خارجی روی صفحه نیمه بینهایت با شرط مرزی دمای سطح متغیر،حل انتگرالی جریان آرام روی صفحه تخت با شرط مرزی دمای سطح ثابت و شرط مرزی شار حرارتی ثابت و در حالت دهش و مکش جریان عمود بر سطح، اثر گرادیان فشار طولی: جریان روی گوه |
| هفتم، هشتم و نهم | **انتقال حرارت در جریان آرام داخلی:** مفاهیم جریان توسعه یافته و در حال توسعه، طول ورودی هیدرولیکی و حرارتی، استفاده از آنالیز مقیاس و روش انتگرالی در بدست آوردن طول ورودی در جریان آرام داخلی با فرض لایه مرزی، تعریف سرعت و دمای میانگین، ارائه مبانی توسعه یافتگی در میدان سرعت و حرارت، اثبات مستقل بودن عدد ناسلت در جریان آرام توسعه یافته، حل معادلات لایه مرزی درون لوله در حالت جریان توسعه یافته و بدست آوردن عدد ناسلت در شرایط مرزی دمای سطح ثابت، شار حرارتی سطح ثابت و حالتیکه لوله توسط یک سیال دما ثابت احاطه شده است برای دو حالت عدد پراندل کوچک و بزرگ، جریان توسعه یافته در مجاری غیر دوار، حل معادلات لایه مرزی در حالت جریان توسعه نیافته حرارتی در ناحیه ورودی (حل گرائتزGraetz) |
| دهم، یازدهم و دوازدهم | **انتقال حرارت جابجایی آزاد:** انتقال حرارت جابجایی طبیعی و شرایط لازم برای ایجاد آن، معادلات حاکم و شرایط مرزی، اعداد بدون بعد گراشف، رایلی و بوزینسک، بررسی مفهوم فیزیکی و هندسی و میزان اهمیت هر یک به کمک آنالیز مقیاس، تفاوت شکل لایه مرزی در جابجایی اجباری و طبیعی، حل معادله جریان جابجایی طبیعی روی صفحه تخت عمودی با شرط دمای سطح ثابت به کمک روش تشابهی و روش انتگرالی، انتقال حرارت جابجایی طبیعی با رقیق شدن هوا ، انتقال حرارت مخلوط جابجایی طبیعی و اجباری |
| سیزدهم | **گذر جریان لامینار به جریان مغشوش:** روابط تجربی گذر به حالت توربولان، قوانین مقیاس در حالت گذر، کمانش جریان غیر ویسکوز، معیار عدد رینولدز موضعی برای گذر، گذر در حالت انتقال حرارت جابجایی روی دیواره عمودی |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۳۰۰)

| | |
|---|---|
| **چهاردهم و پانزدهم** | **انتقال حرارت جابجایی در جریان لایه مرزی مغشوش**: ساختار مقیاس بزرگ، معادلات متوسط زمانی توربولان، معادلات لایه مرزی، مدل طول مخلوط شونده، توزیع سرعت، اصطکاک دیواره در لایه مرزی توربولان، انتقال حرارت در جریان لایه مرزی توربولان، تئوری انتقال حرارت در جریان لایه مرزی توربولان، انتقال حرارت کنوکسیون آزاد روی دیواره عمودی |
| **شانزدهم** | **انتقال حرارت با تغییر فاز:** جوشش استخری و رژیم‌های مختلف آن، جوشش جریانی، تقطیر لامینار و توربولان فیلمی، تقطیر قطره ای |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۳۰ | ندارد | ٪۵۰ | ندارد | ٪۲۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی:**


1. Bejan, Adrian. Convection Heat Transfer. John Wiley & Sons (2013).
2. Jiji, Latif M. Heat Convection. Springer Science & Business Media (2009).
3. Kays, William Morrow. Convective Heat And Mass Transfer. McGraw-Hill Education (2012).



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۰۰۰)

# دروس تخصصی اختیاری
# (کارشناسی‌ارشد و دکتری)

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: انتقال حرارت هدایت</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>انتقال حرارت هدایت</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ریاضیات پیشرفته ۱<br>(هم‌نیاز)</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Conduction Heat Transfer</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">نوع واحد</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="4">دروس پیش‌نیاز:<br>ریاضیات پیشرفته ۱<br>(هم‌نیاز)</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="7">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="7">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با مباحث تکمیلی انتقال حرارت به روش هدایت و کسب توانایی در حل تحلیلی و عددی معادلات مکانیزم انتقال حرارت هدایت در شرایط پایدار و گذرا.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | تعریف انرژی گرمایی ( مدهای ارتعاشی، چرخشی و انتقالی، گرمای نهان)، تعریف دما |
| **دوم** | - انتقال حرارت هدایتی و تفاوت آن با انتقال حرارت جابجایی<br>- انتقال حرارت در سیالات و جامدات مفهوم دیفیوژن و برخورد، امواج شبکه ای و الکترونهای آزاد |
| **سوم** | - مواد جدید با ضریب هدایت بالا (گرافن و ... |
| **چهارم** | - تئوری جنبشی و هدایت در گازهای ایده ال توزیع ماکسول – بولتزمن، تابع توزیع، طول متوسط آزاد، |
| **پنجم** | - نتایج تحلیلی برای ضریب هدایت گازهای ایده ال |
| **ششم** | - تاثیر دما برهدایت جامدات، مایعات و گازها<br>- ضریب هدایت به عنوان یک تانسورو هدایت درمحیط های مرکب و کریستاله<br>- هدایت در نانوسیالات- میکرو ساختارو مقیاسهای طول مربوطه |
| **هفتم** | - فیزیک و مدلسازی هدایت فوریه و غیر فوریه ای معادله انتقال حرارت هدایتی |
| **هشتم** | - قانون اول ترمودینامیک، مفهوم تعادل گرمایی موضعی، رابطه قانون اول برای انرژی گرمایی. شکل کلی معادله انتقال حرارت هدایتی |
| **نهم** | - رژیم های مختلف انتقال حرارت در مقیاس میکرو<br>- معادله هدایت حرارتی غیر فوریه |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی

| | |
|---|---|
| **دهم** | -شباهت معادلات برای هدایت حرارتی با معادلات خواص اسکالر انتقالی عبوردهی محیط متخلخل، نفوذپذیری دی الکتریک و ...(. هدایت حرارتی در مختصات کارتزین، استوانه ای و کروی. معادله هدایت حرارتی در مختصات منحنی الخط عمود برهم. |
| **یازدهم** | -انواع شرایط مرزی (خطی و غیرخطی) شامل دیریشله، نیومن و رابین، شرایط مرزی بین سطحی: اهمیت و مسائل مربوطه در صنعت مانند اصطکاک بین دو سطح متحرک |
| **دوازدهم** | -هدایت حرارتی در جامدات متحرک و مواد غیر ایزوتروپیک، گرادیان دما و معادله انتقال حرارت هدایتی<br>- فرمولاسیون کلوخه ای<br>جداسازی متغیرها<br>- شرایط جدایی پذیری، معادله هلمولتزو مختصاتی که جدایش امکان پذیر است.<br>- شرایطی که با داشتن آنها می توان معادلات پایا و وابسته به زمان را از طریق جدایش متغیرها حل نمود.<br>- روش‌های عددی برای محاسبه مقادیر مشخصه، فرمولاسیون شار، محیط های محدود و نامحدود<br>- مسائل ناهمگن و تبدیلات مفید برای تبدیل معادلات به شکل ساده تر |
| **سیزدهم** | |
| **چهاردهم** | - جدایش متغیرها در مختصات استوانه‌ای |
| **پانزدهم** | - جدایش متغیرها در مختصات کروی<br>- انتقال حرارت هدایت گذرا |
| **شانزدهم** | - روش‌های حل عددی |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**

1. Arpaci, Vedat S., and Vedat S. Arpaci. Conduction Heat Transfer, Vol. 237, Addison-Wesley (1966).
2. Kakaç, Sadık, Yaman Yener, and Carolina P. Naveira-Cotta. Heat Conduction. CRC Press (2018).
3. Ã–zisik, M. Necati, M. Necati Özışık, and M. Necati Özısık. Heat Conduction. John Wiley & Sons (1993).
4. Carslaw, Horatio Scott, and John Conrad Jaeger. Conduction of Heat in Solids. Clarendon Press (1959).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: انتقال حرارت تشعشع</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>انتقال حرارت تشعشع</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Radiation Heaat Transfer</td><td rowspan="5">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="5">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی عمیق مفاهیم انتقال حرارت تابشی، درک عوامل فیزیکی و هندسی موثر بر شدت انتقال حرارت تابشی، درک اهمیت خواص سطح، توانایی به‌کارگیری مفاهیم و کمیت‌ها در محاسبات تبادل حرارت تشعشعی بین سطوح در خلا و در محیطهای شفاف و درون گازها، آشنایی با روش‌های عددی حل معادلات تشعشع مانند روش مونت کارلو و ...، آشنایی با انتقال حرارت تابشی میدان نزدیک در ابعاد نانو و فیزیک حاکم بر مساله و کاربردهای آن.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | اصول انتقال حرارت تابشی، طیف امواج الکترومغناطیس و انتشار آن، انتشار تشعشع توسط جسم سیاه، قانون پلانک، قانون وین |
| **دوم** | تبادل حرارت تابشی بین سطوح سیاه، ضرایب شکل و روابط بین آنها، روش ریسمان، محاسبات تبادل حرارت بین اجسام سیاه، مقاومت فضایی |
| **سوم** | انتشار انرژی حرارتی تابشی جسم غیر سیاه، خواص تابشی سطوح واقعی، ضرایب صدور، جذب، عبور و بازتاب، خواص جهتی و نیم‌کره‌ای، خواص طیفی و کلی، سطوح دیفیوز و خاکستری، قانون کرشف |
| **چهارم** | تبادل تابشی در محفظه‌های بسته با سطوح خاکستری، مقاومت تابشی سطحی، رادیوسیتی، سپر تشعشعی |
| **پنجم** | کمیت $F^*$، تبادل حرارت تابشی بین سطوح نیمه‌خاکستری، تابش بین سطوح آینه‌ای، تابش بین سطوح غیر خاکستری |
| **ششم** | روش مونت کارلو در به دست آوردن ضریب شکل و تبادل حرارت تابشی بین سطوح، روش انتگرالی، روش ردیابی در سطوح آینه‌ای |

| | |
|---|---|
| **هفتم** | انتقال حرارت ترکیبی تابشی، جابجایی و رسانایی، ترکیب انتقال حرارت هدایتی و تشعشعی در پره‌های |
| **هشتم** | نازک، ترکیب تشعشع، هدایت و جابجایی در پره‌های نازک و جریان داخل مجاری، ترکیب تشعشع و جابجایی طبیعی، فرمول‌بندی روابط عددی و روش‌های عددی حل معادلات حاکم در حالت ترکیب سازوکارهای مختلف انتقال حرارت |
| **نهم** | مبانی جمع‌کننده‌های خورشیدی تخت و سهموی |
| **دهم** | انتقال حرارت تابشی در محیط‌های مشارکتی، ضخامت اپتیکی؛ پدیده‌های جذب، پخش و صدور در محیط مشارکتی، گازها، خواص اپتیکی گاز، گاز خاکستری، |
| **یازدهم** | معادله انتقال تشعشع (RTE)، معادله انتگرالی فردهولم، تابش در گازهای هم‌دما و غیرهم‌دما، روش‌های تقریبی حل معادله |
| **دوازدهم** | محاسبه ضرایب متوسط جذب و انتقال اجسام طیفی، طول متوسط شعاع اشعه از یک گاز به تمام یا قسمتی از مرز جسم، انتقال حرارت تابشی بین گاز و مرز جامد گاز، انتقال حرارت تابشی در کوره‌ها |
| **سیزدهم** | تحلیل معکوس مسأله انتقال حرارت تشعشعی، روش‌های معکوس مختلف و مقایسه آنها |
| **چهاردهم** | انتقال حرارت تشعشعی میدان نزدیک (نانوتابش)، رفتار الکترومغناطیسی تشعشعات حرارتی، مفاهیم |
| **پانزدهم** | اساسی، بیان الکترومغناطیسی انتقال حرارت تابشی، امواج میرا و سطحی در میدان نزدیک، محاسبات شار حرارتی تشعشعی میدان نزدیک، مطالعات آزمایشگاهی تابش حرارتی میدان نزدیک |
| **شانزدهم** | کاربردهای تابش حرارتی میدان نزدیک، ترموفتوولتائیک، یکسوسازهای حرارتی، کلیدهای حرارتی، ترانزیستورهای حرارتی میدان نزدیک، حافظه حرارتی، ضبط مغناطیسی به کمک گرما و خنک‌کننده تابشی، |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Howell, John R., et al. Thermal Radiation Heat Transfer. CRC Press (2020).
2. Modest, Michael F., and Sandip Mazumder. Radiative Heat Transfer. Academic Press (2021).
3. Nellis, Gregory, and Sanford Klein. Heat Transfer. Cambridge university press (2008).
4. Incropera, Frank P., et al. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley (1996).
5. Mahan, J. Robert. Radiation Heat Transfer: A Statistical Approach. John Wiley & Sons (2002).
6. Balaji, C, Essentials of Radiation Heat Transfer. Wiley (2014).

7. Basu, Soumyadipta. Near-field Radiative Heat Transfer Across Nanometer Vacuum Gaps: Fundamentals and Applications. William Andrew (2016).
8. Duffie, John A., William A. Beckman, and Nathan Blair. Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind. John Wiley & Sons (2020).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: توربولانس</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>توربولانس</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>مکانیک سیالات پیشرفته</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Turbulence</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="7">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="7">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با مباحث پایه در جریان‌های آشفته، شبیه‌سازی، مدل‌سازی و آنالیز این جریان‌ها

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| اول | مروری بر مباحث پایه‌ای مورد نیاز از مکانیک سیالات نظیر معادلات حاکم و همچنین جبر تانسوری و بیان معادلات در فرم اندیسی |
| دوم | مقدمه‌ای بر آمار و احتمال مورد نیاز در بررسی جریان‌های آشفته: تعریف توابع توزیع تجمعی، چگالی احتمال، مفهوم متوسط آنسامبل، واریانس، انحراف معیار و ممان‌های مرتبه بالاتر، معرفی توزیع استاندارد و برخی توابع توزیع احتمال مانند توزیع گاوسی |
| سوم | انجام تجزیه رینولدز و به‌دست آوردن معادلات ناویر-استوکس و اسکالر به‌صورت متوسط‌گیری شده (RANS)، معرفی تنش رینولدز و شار اسکالر و مساله بسته نبودن معادلات توربولانس و لزوم مدل‌سازی. بررسی نقش جملاتی که در معادلات RANS ظاهر می‌شوند. فرضیه‌های بوسینسک و گرادیان پخش، تعریف جریان‌های آشفته همگن، همسانگرد و پایا |
| چهارم | |
| پنجم | جریان‌های لایه برشی آزاد آشفته: جت، دنباله و لایه اختلاط، انجام آنالیز مرتبه بزرگی و ساده‌سازی معادلات متوسط‌گیری شده برای این جریان‌های و به‌دست آوردن حل‌های تشابهی آن‌ها و مقایسه با نتایج تجربی. مباحث مربوط به نرخ گسترش جت و دنباله و پایستاری ممنتوم. |
| ششم | |
| هفتم | |
| هشتم | |
| نهم | بررسی جریان‌های آشفته در مجاورت دیواره: جریان در کانال، لوله و لایه‌مرزی. معرفی مقیاس دیواره و |
| دهم | |

| | |
|---|---|
| **یازدهم** | تقسیم‌بندی نواحی مختلف در جریان مجاور دیواره، قانون دیواره و پروفیل سرعت لگاریتمی، قانون نقصان سرعت، بررسی بودجه انرژی آشفتگی، فرضیه طول اختلاط، اثر زبری سطح ، معرفی دینامیک جریان آشفته در نزدیکی دیواره و ساختارهای سازمان‌یافته‌ی جریان آشفته |
| **دوازدهم** | |
| **سیزدهم** | مفهوم آبشار انرژی و مقیاس‌های جریان آشفته، تئوری‌ها و مقیاس‌های کلموگروف، مقیاس تیلور، مقیاس‌های انتگرالی، همبستگی‌های دونقطه‌ای، طیف انرژی، طیف کولموگروف، زیربازه اینرشیال، معرفی تجزیه متعامد سره (POD) |
| **چهاردهم** | |
| **پانزدهم** | مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی و مدل‌سازی جریان‌های آشفته، روش شبیه‌سازی مستقیم، روش‌های RANS شامل روش‌های جبری، روش‌های $k-\varepsilon$ و $k-\omega$ |
| **شانزدهم** | مقدمه‌ای بر مدل‌سازی جریان‌های آشفته به روش LES: مفهوم فیلتر، به‌دست آوردن معادلات LES و معرفی روش اسماگورینسکی |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Davidson, Peter Alan. Turbulence: An Introduction For Scientists And Engineers. Oxford University Press (2015).
2. Pope, Stephen B., Turbulent Flows. Cambridge University Press (2000).
3. Frisch, Uriel, and Andreĭ Nikolaevich Kolmogorov. Turbulence: The Legacy of AN Kolmogorov. Cambridge University Press (1995).
4. Tennekes, Hendrik, John Leask Lumley, and Jonh L. Lumley. A First Course in Turbulence. MIT Press (1972).



دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۰۰۰)

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: جریان و انتقال حرارت چندفازی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>جریان و انتقال حرارت چندفازی</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="6">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>انتقال حرارت جابجایی (هم-نیاز)، مکانیک سیالات پیشرفته (هم-نیاز)</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Multiphase flow and heat transfer</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="5">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="5">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

هدف اصلی این درس ارائه اصول و مدل های مختلف جریان های چندفازی است. در این رابطه مدل های اصلی جریان‌های دوفازی، مدل های تجربی، جوشش استخری و جوشش جریانی، انتقال حرارت و افت فشار درجوشش مادون سرد و جوشش اشباع، چگالش و ناپایداری درجریان دوفازی بررسی خواهد شد.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مروری بر جریا های دوفازه، روش تجزیه و تحلیل جریانهای دو فازه، الگوهای جریان |
| **دوم** | |
| **سوم** | مدل‌های اصلی جریان دوفازه: |
| **چهارم** | معادلات اساسی، مدل همگن، مدل مجزا، معادلات وروابط حاکم برای هریک از مدل‌ها |
| **پنجم** | مدل های تجربی جریان چندفازه |
| **ششم** | جوشش استخری و جوشش جریانی |
| **هفتم** | |
| **هشتم** | انتقال حرارت و افت فشار در جوشش مادون سرد |
| **نهم** | |
| **دهم** | کسر حجمی(Void Fraction) |
| **یازدهم** | انتقال حرارت در جوشش اشباع |
| **دوازدهم** | |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی

| | |
|---|---|
| **سیزدهم**<br>**چهاردهم** | چگالش |
| **پانزدهم** | ناپایداری در جریان دو فازی: |
| **شانزدهم** | ناپایداری هلملتز کلوین، ناپایداری تایلر |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Collier, John G., and John R. Thome. Convective Boiling and Condensation. Clarendon Press (1994).
2. Carey, Van P. Liquid-vapor Phase-change Phenomena: An Introduction to The Thermophysics of Vaporization and Condensation Processes in Heat Transfer Equipment. CRC Press (2020).
3. Tong, Long Sun, and Yu S. Tang. Boiling Heat Transfer and Two-phase Flow. Routledge (2018).
4. Kutateladze, Samson Semenovich. Heat Transfer in Condensation and Boiling. Vol. 3770. US Atomic Energy Commission, Technical Information Service (1959).
5. Webb, Ralph L., and N. Y. Kim. Enhanced Heat Transfer. Taylor and Francis (2005).



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۲۰۰)

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: دینامیک گاز</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>دینامیک گاز</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2" colspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="6">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Gas Dynamics</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با جریان تراکم‌پذیر و تحلیل جریان تراکم‌پذیر حول وسایل پرنده، درون مجراهای با سطح مقطع متغیر، خطوط انتقال گاز و غیره.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه ای بر تئوری جنبشی گازها<br>شناخت مقدماتی از تئوری جنبشی گازها، معرفی پارامترهای آماری و ارتباط آنها با خواص ترمودینامیکی گاز نظیر فشار و دما، انرژی داخلی گاز، لزجت، ضریب هدایت حرارتی و غیره. |
| **دوم** | معادلات حاکم بر جریان تراکم‌پذیر<br>معرفی نظریه پیوستگی گازها و تشریح شرایط لازم جهت اعمال فرضیه محیط پیوسته، دستیابی به معادلات جریان تراکم‌پذیر در محیط پیوسته، تبیین ارتباط بین معادلات جریان و پیوستگی با معادله انرژی و قانون دوم ترمودینامیک، تبیین نقش معادلات حالت، شناخت معادلات حالت پرکاربرد در جریان تراکم‌پذیر، شناخت معادله حالت گاز کامل و حقیقی. |
| **سوم** | |
| **چهارم** | تحلیل یک‌بعدی جریان تراکم‌پذیر<br>ساده‌سازی معادلات جریان در حالت یک بعدی، بررسی یک بعدی جریان غیرلزج همراه با تغییر سطح مقطع، تشریح موج ضربه‌ای و انبساطی، بررسی جریان‌های تراکم پذیر همراه با اصطکاک و انتقال حرارت، بررسی جریان-های همدمای گاز در خطوط لوله طویل، |
| **پنجم** | |
| **ششم** | |
| **هفتم** | |

| | |
|---|---|
| **هشتم** | جریان‌های ابرصوتی (Hypersonic) و دما بالا<br>تعریف و مشخصات جریان ابرصوتی، تجزیه و یونیزه شدن جریان گاز در دمای بالا، اثرات غیرتعادلی |
| **نهم** | جریان گازهای رقیق<br>تعریف عدد نادسن، تشریح رژیم‌های جریان رقیق، جریان همراه با لغزش، جریان مولکولی آزاد، مقدمه- |
| **دهم** | ای بر دینامیک مولوکولی |
| **یازدهم** | بررسی مقدماتی جریان تراکم‌پذیر دوبعدی<br>استخراج معادله پتانسیل سرعت، ارایه حل‌های خطی شده از جریان زیرصوت و فراصوت، شناخت |
| **دوازدهم** | خطوط مشخصه و روش تحلیل جریان مبتنی بر خطوط مشخصه. |
| **سیزدهم** | جریان تراکم‌پذیر بخار<br>بررسی ترمودینامیکی مخلوط آب و بخار در دیاگرام‌های T-s، انبساط ایزنتروپیک بخار، جریان بخار در |
| **چهاردهم** | نازل‌ها و توربین‌های بخار، خفگی در نازل‌های بخار، شوک چگالشی |
| **پانزدهم** | اندازه‌گیری در جریان تراکم‌پذیر<br>شناخت روش‌های اندازه‌گیری فشار، دما و سرعت، آشکارسازی جریان تراکم‌پذیر، اینترفرومتری، |
| **شانزدهم** | اشلیرن، سایه‌نگاری (Shadowgraph)، شناخت انواع تونل باد |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۲۰ | ٪۳۰ | اختیاری | ٪۳۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Oosthuizen, Patrick H., and William E. Carscallen. Introduction to Compressible Fluid Flow. CRC press (2013).
2. Ames, Forrest E., and Clement C. Tang. An Introduction to Compressible Flow. CRC Press (2021).
3. Anderson, John David. Modern Compressible Flow: With Historical Perspective. 4th edition. McGraw-Hill (2020).



دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۷۰۰)

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: کاربرد انرژی خورشیدی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>کاربرد انرژی خورشیدی</td><td rowspan="2">تعداد واحد: ۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Solar Energy Application</td><td rowspan="4">تعداد ساعت: ۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ■ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

دانشجویان در این درس ضمن آشنایی کلی با انواع انرژیهای تجدید پذیر درک مناسبی از کاربردهای انرژی خورشیدی به دست خواهند آورد.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه ای بر آمار به روز و کاربرد استفاده از انواع انرژیهای تجدید پذیر در دنیا |
| **دوم** | معرفی انواع کاربردهای انرژی خورشیدی |
| **سوم و چهارم** | نیروگاههای حرارتی خورشیدی Solar Thermal Power Plants شامل نیروگاه‌های خورشیدی شلجمی باز Parabolic Trough ، برج مرکزی، بشقابک و موتور استرلینگ Dish Sterling |
| **پنجم** | نیروگاه‌های دودکش خورشیدی Solar Stack Power Plant |
| **ششم** | آب شیرین کن های خورشیدی Solar Desalination |
| **هفتم** | خشک کن های خورشیدی Solar Dryers |
| **هشتم** | خوراک پزهای خورشیدی Solar Cookers |
| **نهم** | آب گرمکن های خورشیدی Solar Water Heaters |
| **دهم و یازدهم** | تهویه مطبوع خورشیدی Solar AC (گرمایش و سرمایش) |
| **دوازدهم و سیزدهم** | سیستم‌های پاسیو Passive و کاربرد آن در ساختمان‌ها |

| | |
|---|---|
| **چهاردهم** | فتو ولتاییک PV و کاربرد آن |
| **پانزدهم و شانزدهم** | مروری بر انواع انرژیهای تجدیدپذیر شامل انرژیهای باد، زیست توده Biomass و بیوگازBiogas، زمین گرمایی Geothermal، دریایی Ocean و پیل سوختیFuel Cell |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۱۵ | ندارد | ٪۵۰ | ندارد | ٪۳۵ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی:**


1. Moukhtar, Ibrahim, et al. Solar Energy: Technologies, Design, Modeling, and Economics. Springer Nature (2020).
2. Secretariat, REN21. "Renewables 2020 global status report." Rep. Paris: REN12 (2020).

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: لایه‌های مرزی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>لایه‌های مرزی</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td rowspan="5">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">عنوان درس به انگلیسی:<br>Boundary Layers</td><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

بررسی تفصیلی نظریه لایه مرزی و کاربرد آن، بررسی پدیده های مرتبط با لایه مرزی نظیر گذرش و جدایش و بررسی روش های کنترل لایه مرزی.

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مرور مقدماتی جبر تانسوری، بیان معادلات در فرم اندیسی |
| **دوم** | استخراج معادلات حاکم بر حرکت سیال در حالت کلی با به کارگیری فرضیه محیط پیوسته، معرفی معادلات اساسی و معادلات حالت پرکاربرد، استخراج معادلات ناویر-استوکس به عنوان معادلات حاکم |
| **سوم** | بر جریان سیالات نیوتنی، معرفی فرم بی‌بعد معادلات ناویر-استوکس |
| **چهارم** | تشریح لایه خارجی و لایه داخلی در حل معادلات دیفرانسیل ساده دارای پارامترهای اغتشاشی و سپس تشریح نحوه ارتباط دو لایه حل تحلیلی با استفاده از انطباق دو حل (matching) |
| **پنجم** | معرفی تقریب لایه مرزی در جریان آرام روی صفحه صاف؛ تشریح روش حل تشابهی بلازیوس در لایه |
| **ششم** | رمزی روی صفحه صاف، بررسی سینماتیک جریان و انحراف خطوط جریان در لایه مرزی روی صفحه صاف, تعیین ضخامت جابجایی، مومنتوم و انرژی، بررسی لایه های مرزی همراه با گرادیان فشار، تشریح |
| **هفتم** | شرایط وجود حل تشابهی و فرایند دستیابی به حل تشابهی در لایه مرزی همراه با گرادیان فشار (حل تشابهی فالکنر-اسکن)، بررسی حل فالکنر-اسکن در حالت‌های خاص مانند جریان روی سطح شیبدار، |

| | |
|---|---|
| **هشتم** | جریان در کانال‌های همگرا و غیره، بررسی تشکیل و حل لایه مرزی در جریان های برشی ایجاد شده بر اثر مرز متحرک در سیال ساکن، بررسی لایه های برشی ایجاد شده در حین انتشار جت سیال در محیط ساکن، حل های تقریبی لایه مرزی و معرفی مومنتوم-انتگرال فون کارمن، بیان شرط لازم برای جدایش جریان در لایه مرزی، استفاده از حل‌های تقریبی لایه مرزی جهت پیش بینی جدایش جریان با استفاده از روش های تویتز و کارمن-پل‌هاوزن و والز، مقایسه پیش‌بینی‌های تئوری با نتایج آزمایشگاهی |
| **نهم** | مبانی گذرش از جریان آرام به متلاطم، بررسی گذرش در جریان داخل لوله، تعریف پارامترهای مورد استفاده در تعیین محدوده گذرش، بررسی شهودی گذرش از جریان آرام به متلاطم روی صفحه صاف، بررسی تغییرات ضریب شکل و ضریب درگ در حین گذرش در لایه مرزی، بررسی تاثیر گذرش در لایه مرزی جریان روی سطح خمیده مانند استوانه و کره، تشریح ارتباط بین رژیم‌های مختلف گذرش با جدایش جریان و ناحیه گردابی ایجاد شده در اثر جدایش، تشریح مبانی پایداری با استفاده تئوری پایداری خطی در لایه مرزی آرام، دستیابی به معادله اور-سامرفلد و تشریح مدهای ناپایداری، تئوری اسکوایر، مقایسه شرایط و خصوصیات ناپایداری لزج و غیرلزج، بررسی اثرات هندسی مانند شیب سطوح در منحنی خنثای پایداری، مقایسه منحنی پایداری حاصل از پیش‌بینی تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی |
| **دهم** | |
| **یازدهم** | |
| **دوازدهم** | بیان تفاوت های ماهوی لایه مرزی متلاطم با لایه مرزی آرام، معرفی فرم متوسط گیری شده معادلات جریان، اعمال تقریب لایه مرزی به فرم متوسط گیری شده معادلات و استخراج معادلات لایه مرزی متلاطم، بیان مفهوم ویسکوزیته توربولانس و طول اختلاط پرانتل، مروری بر مدل های توربولانسی مورد استفاده در حل معادلات لایه مرزی متلاطم، بررسی خصوصیات زیرلایه‌های مختلف در لایه مرزی متلاطم، بررسی انتگرالی لایه مرزی متلاطم |
| **سیزدهم** | |
| **چهاردهم** | اعمال تقریب لایه مرزی برای تعیین معادله لایه مرزی حرارتی، حل تحلیلی لایه مرزی دماثابت و شار ثابت، بیان کاربرد اصل برهم‌نهی خطی در لایه مرزی حرارتی برای تعیین توزیع دمای لایه مرزی با شرط مرزی دمای اختیاری، مقایسه ضخامت لایه مرزی حرارتی و هیدرودینامیکی و تعیین پارامترهای موثر در نسبت ضخامت، |
| **پانزدهم** | |
| **شانزدهم** | معرفی اجمالی روش‌های کنترل لایه مرزی، بررسی اثرات مکش و دمش در کنترل لایه مرزی، اعمال روش های کنترل لایه مرزی روی ایرفویل برای کنترل واماندگی ایرفویل و بررسی تغییرات ضریب لیفت و درگ. |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**

1. Schlichting, Hermann, and Klaus Gersten. Boundary-Layer Theory. Springer (2016).

2. Schetz, Joseph A., and Rodney DW Bowersox. Boundary Layer Analysis. American Institute of Aeronautics and Astronautics (2011).
3. White, Frank M., and Joseph Majdalani. Viscous Fluid Flow, McGraw-Hill (2021).

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: طراحی مبدل‌های حرارتی پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>طراحی مبدل‌های حرارتی پیشرفته</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced heat exchanger design</td><td rowspan="5">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="5">تخصصی</td><td rowspan="3">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با انواع مبادله‌کن‌های حرارتی و نحوه عملکرد هر یک، کسب مهارت در انتخاب و به‌کارگیری روابط مورد نیاز و مراحل طراحی انواع آنها، آشنایی با معیارهای مختلف انتخاب مبادله‌کن‌های حرارتی، آشنایی با معیارهای برآورد بهبود کارایی مبدل و تسلط در انتخاب رابطه مناسب

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه‌ای بر مبادله‌کن‌های حرارتی، معیارهای تقسیم‌بندی مبادله‌کن‌ها، تفاوت بازیاب و رکوپراتور، |
| **دوم** | مبادله‌کن‌ها از لحاظ آرایش، تعداد جریان، نوع تماس و سازوکار انتقال حرارت، مفهوم جریان مخلوط و غیر مخلوط در جریان متقاطع، انواع مبادله‌کن‌های دولوله‌ای، صفحه‌ای، پوسته و لوله و پره‌دار، مبادله‌کن‌های ترکیبی، مبادله کن‌های فشرده و ... |
| **سوم** | جنبه‌های مختلف طراحی در مبادله‌کن‌های گرمایی شامل طراحی هیدرولیکی و حرارتی، مکانیکی، |
| **چهارم** | بهینه‌سازی، مبانی تئوری طراحی حرارتی مبادله‌کن حرارتی، روش‌های LMTD، ε-NTU،P-NTU، ضریب F برای آرایش‌های جریان متفاوت، روش $P_1$-$P_2$، روش P–ψ، معادلات اساسی، روش‌ها و محاسبات طراحی |
| **پنجم** | روابط انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی، روابط انتقال حرارت جابجایی اجباری با تغییر فاز و بدون |
| **ششم** | تغییر فاز، افت فشار و تشکیل رسوب در مبدل‌های حرارتی، ملاحظات ویژه در مورد روابط انتقال حرارت در مبادله‌کن‌های صفحه–پره، لوله–پره و پوسته و لوله |
| **هفتم** | انتقال حرارت در ابعاد میکرو و نانو، عدد نودسن، جریان لغزشی، پرش دمایی، عدد برینکمن، کاربردهای |

| | |
|---|---|
| | مهندسی مبدلهای حرارتی میکروکانالی، انتقال حرارت بدون تغییر فاز نانوسیال، روابط همبسته تجربی در مورد انتقال حرارت جابجایی نانوسیالات |
| **هشتم** | طراحی مبادله‌کن‌های لوله – پوسته، تخمین اندازه اولیه، روش‌های کرن، تینکر و بل-دلاور در تعیین ضریب انتقال حرارت سمت پوسته، تعیین شرایط عملکرد، محاسبات افت فشار سمت لوله و پوسته |
| **نهم** | طراحی مبادله‌کن حرارتی صفحه‌ای، اجزای مکانیکی، ویژگیهای عملکردی، مزیت‌ها و محدودیت‌ها، آرایش جریان، محاسبات انتقال گرما و افت فشار، روشهای طراحی، کارایی حرارتی |
| **دهم** | مبادله‌کن حرارتی فشرده، روش‌های تولید، مبدل‌های لوله‌ای و صفحه‌ای پره‌دار، انتقال گرما و افت فشار، روش طراحی |
| **یازدهم** | انواع چگالش، چگالنده‌های پوسته و لوله، چگالنده‌های نیروگاهی، چگالنده‌های صفحه‌ای، چگالنده‌های هواخنک، چگالش فیلمی و قطره‌ای بر روی سطوح افقی و عمودی، چگالش در سطح خارجی دسته لوله‌ها، چگالش در داخل لوله، طراحی چگالنده |
| **دوازدهم** | طراحی و عملکرد مبدل‌های حرارتی بخار، دسته‌بندی، توزیع دما، محدودیت‌ها، روش‌های طراحی، دیگ‌های بخار مشعل‌دار، دیگهای بخار با گازهای داغ خروجی، تبخیرکننده‌ها، تبخیر فیلم مایع |
| **سیزدهم** | معیارهای مختلف انتخاب مبادله‌کن‌های حرارتی، استاندارد TEMA، معیارهای انتخاب کیفی بر اساس متغیرهای عملکردی دما و فشار، هزینه، رسوب، نشت و آلودگی سیال، سازگاری جنس مبدل و سیال، معیارهای کمی، راهنمای کلی انتخاب مبدل حرارتی از بین انواع مبدل‌های پوسته و لوله |
| **چهاردهم** | معیارهای برآورد بهبود کارایی مبدل‌های حرارتی، توابع هدف و قیود، حالت‌های دبی ثابت، سطح مقطع عبور جریان ثابت، توان پمپ ثابت و ...، بدست آوردن رابطه جبری برای هر حالت، معیار تخریب اگزرژی در مقایسه مبدلهای حرارتی |
| **پانزدهم** | معرفی تکنولوژی پینچ Pinch Technology |
| **شانزدهم** | نوآوری‌ها در مبدلهای حرارتی: مبدلهای مجهز به پیل سوختی و روابط مرتبط، مبدلهای پلیمری و طراحی آنها، کاهش صدا در مبادله‌کن‌های حرارتی |

معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**

1. Shah, Ramesh K., and Dusan P. Sekulic. Fundamentals of Heat Exchanger Design. John Wiley & Sons (2003).

2. Kakac, Sadik, Hongtan Liu, and Anchasa Pramuanjaroenkij. Heat exchangers: selection, rating, and thermal design. CRC press (2002).
3. Saunders, E. A. D., Heat Exchangers: Selection, Design & Construction. Longman Scientific & Technical (1988).
Taler, Dawid. Numerical Modelling and Experimental Testing of Heat Exchangers. Springer International Publishing (2019).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: محاسبات عددی پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>محاسبات عددی پیشرفته</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Numerical Methods</td><td rowspan="5">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="5">نوع واحد</td><td rowspan="2">تخصصی</td><td>الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="8">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

هدف از این درس، آشنایی با مفاهیم محاسبات عددی و اهمیت آن‌ها است و در ادامه آموزش روش‌ها و ابزارهای عددی کاربردی برای حل مسائل مهندسی می‌باشد. همچنین در این درس ضمن معرفی روش‌های مختلف محاسباتی، این روش‌ها از لحاظ دقت، هزینه محاسباتی و دامنه کاربرد مقایسه می‌شوند.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه ای بر مدلسازی و حل عددی: تشریح اهمیت روش‌های عددی در حل مسائل مهندسی، معرفی انواع خطا در محاسبات عددی، معرفی مفاهیم اولیه، نظیر دقت، صحت، عدم قطعیت، همگرایی، پایداری و محاسبه خطا. |
| **دوم** | ریشه یابی: معرفی روش های باز وبسته، تحلیل خطا و شرایط همگرایی هر کدام از روش‌ها، چگونگی |
| **سوم** | حل مسائل ریشه‌یابی با روش‌های بهینه‌سازی |
| **چهارم** | حل دستگاه معادلات: حل دستگاه معادلات خطی، معرفی روش‌های مستقیم و تکراری، حل دستگاه |
| **پنجم** | معادلات غیرخطی، روش‌های تجزیه ماتریس‌ها، مقادیر ویژه |
| **ششم** | برازش منحنی، درونیابی و تقریب توابع: معرفی شاخص‌های آماری، انواع توابع تقریب، روش‌های |
| **هفتم** | درونیابی با نقاط پایه به فواصل مساوی و نامساوی، آنالیز فوریه، FFT |
| **هشتم** | انتگرال گیری عددی : روش‌های مختلف انتگرال‌گیری با نقاط پایه به فواصل یکسان و غیریکسان، |
| **نهم** | روش‌های انتگرال گیری توابع (روش ریچاردسون و روش رامبرگ)، انتگرالگیری تطبیقی، و انتگرال‌های |
| **دهم** | چندگانه |
| **یازدهم** | مشتق‌گیری عددی: استخراج روابط تقریب مشتق، بحث در رابطه با درجه و خطای تقریب‌ها، مشتق گیری |

| | |
|---|---|
| | برای نقاط با فواصل یکسان و غیریکسان، تقریب مشتق پاره‌ای |
| **دوازدهم** | حل معادلات دیفرانسیل معمولی: حل معادلات دیفرانسیل معمولی با شرط اولیه: شرایط وجود جواب |
| **سیزدهم** | یگانه و خوش رفتاری معادلات، روش‌های یک قدمی اویلر، رانگ-کوتا، روش‌های چند قدمی، |
| **چهاردهم** | روش‌های پیش‌بینی و تصحیح، بررسی خطا، پایداری و کنترل اندازه قدم،روش‌های تطبیقی، حل معادلات |
| **پانزدهم** | دیفرانسیل معمولی با شرط مرزی، حل دستگاه معادلات دیفرانسیل. |
| **شانزدهم** | مقدمه‌ای بر حل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای: دسته بندی معادلات و اساس روش اختلاف محدود. |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:-**

**منابع اصلی**


1. Chapra, S.C. Applied Numerical Methods with MATLAB For Engineers and Scientists, McGraw-Hill Higher Education (2018).
2. Burden, Richard L., J. Douglas Faires, and Annette M. Burden. Numerical Analysis, Cengage Learning (2010).
3. Moin, Parviz, Fundamentals of Engineering Numerical Analysis, Cambridge University Press (2010).
4. Hoffman, Joe D., and Steven Frankel. Numerical Methods For Engineers and Scientists. CRC Press (2018).
5. Kincaid, David, David Ronald Kincaid, and Elliott Ward Cheney. Numerical Analysis: Mathematics of Scientific Computing. American Mathematical Society (2009).



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: مکانیک سیالات غیرنیوتنی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>مکانیک سیالات غیرنیوتنی</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>مکانیک سیالات پیشرفته (هم-نیاز)</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Non-Newtonian Fluid Mechanics</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

تبیین پدیده‌های مربوط به انحراف از رفتار نیوتنی در جریان سیال، معرفی شاخصه‌های کمی در توصیف خواص سیالات غیرنیوتنی و بیان روش‌های اندازه‌گیری شاخصه‌های مذکور، دسته‌بندی سیالات غیرنیوتنی به لحاظ رفتار هیدرودینامیکی، تبیین معادلات اساسی و به‌کارگیری آنها در توصیف رفتار جریانات غیرنیوتنی

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مرور مقدماتی جبر تانسوری، بیان معادلات در فرم اندیسی |
| **دوم** | دسته بندی سیالات به لحاظ رفتار هیدرودینامیکی:<br>مروری بر فرضیه محیط پیوسته، تعریف سیال، تعریف علم رئولوژی، معیارهای تشخیص انحراف رفتار از حالت نیوتنی، دسته‌بندی کلی سیالات غیرنیوتنی و توضیح اجمالی هر کدام از دسته‌ها شامل سیالات مستقل از زمان، سیالات وابسته به زمان و سیالات ویسکوالاستیک، تعریف عدد دبورا و عدد وایزنبرگ |
| **سوم** | مشاهدات تجربی انحراف از رفتار نیوتنی: جریان سیالات نازک شونده با برش و ضخیم شونده با برش در |
| **چهارم** | جریانات داخلی، صعود از میله در جریان کوئت دورانی (Rod Climbing )، جریان محوری در مجرای حلقوی، تورم در جریان خروجی از قالب‌های اکستروژن (Extrudate Swell)، جریان ثانویه برعکس در جریان پیچشی سیالات ویسکوالاستیک، جریان سیالات غیرنیوتنی در مجراهای با انبساط و انقباض ناگهانی، کاهش درگ در جریان‌های غیرنیوتنی متلاطم |
| **پنجم** | معادلات پایه در مکانیک سیالات: |

| | |
|---|---|
| **ششم** | سینماتیک جریان، تراکم‌ناپذیری، معادلات حرکت: تئوری تنش کشی و تانسور تنش اضافی، معادلات ناویر-استوکس به عنوان یک فرم خاص از معادلات حرکت، فرم‌های خاص از معادلات حرکت در جریان‌های بین صفحات موازی-جریان داخل لوله-فیلم مایع، معادله انرژی |
| **هفتم**<br>**هشتم** | سینماتیک تغییر شکل:<br>نرخ تغییر شکل و تمایز آن با نرخ چرخش المان، دسته‌بندی جریانات بر حسب نوع تغییر شکل – جریان برشی ساده- جریان برشی تعمیم‌یافته – جریان‌های کششی، فرم‌های مختلف جریان‌های قابل مشاهده در ویسکومتری: جریان‌های محوری حلقوی- جریان‌های کوئت محیطی-جریان‌های پیچشی و جریانات مارپیچی، جریان‌های کششی تک‌محور و صفحه‌ای |
| **نهم**<br>**دهم** | توابع موادی:<br>تعریف و دسته‌بندی توابع موادی، توابع موادی مورد استفاده در ویسکومتری، کاربرد توابع موادی در تعیین مشخصات رئولوژیکی سیالات ویسکوالاستیک تحت میدانهای مختلف (برشی پایدار، برشی نوسانی و کششی)، معرفی و بررسی روش عملکرد ویسکومترهای پرکاربرد مانند ویسکومتر صفحه-مخروط، ویسکومتر چرخشی، ویسکومتر لوله مویین |
| **یازدهم**<br>**دوازدهم** | سیالات نیوتنی تعمیم‌یافته:<br>فرم کلی معادله اساسی سیال نیوتنی تعمیم یافته مانند سیال توانی نازک شونده با برش و ضخیم شونده با برش-معادله اساسی کرو- معادله اساسی کاسون- معادله اساسی بینگهام، حل‌های دقیق مربوط به جریان سیالات نیوتنی تعمیم‌یافته از جمله جریان پوازی-جریان کوئت-جریان مارپیچ-جریان غیرهمدمای سیالات نیوتنی تعمیم‌یافته و تبیین انحراف رفتار آنان نسبت به جریان نیوتنی |
| **سیزدهم**<br>**چهاردهم** | ویسکوالاستیسیته خطی:<br>تابع آسودگی و تابع خزش، معادلات مکانیکی ساده برای توصیف وبسکوالاستیسیته با استفاده از مدل جرم-فنر-دمپر، مدل جفری، مدل ماکسول، روش‌های ارزیابی رفتار سیالات ویسوالاستیک شامل آزمون آسودگی از تنش-آزمون خزش -آزمون برگشت، بررسی حل‌های تحلیلی جریان سیالات ویسکوالاستیک خطی |
| **پانزدهم**<br>**شانزدهم** | ویسکوالاستیسیته غیرخطی:<br>معرفی تانسور گرادیان تغییر شکل و تبیین ارتباط آن با تانسور گرادیان سرعت، تبیین مفهوم تاریخچه تغییر شکل و حافظه تغییر شکل، معرفی معادلات اساسی سیال مرتبه دو، سیالات دیفرانسیلی مانند سیال ماکسول-سیال اولدروید، ترکیب ویسکوالاسیتیسه و لزجت تابع برش- سیال فان‌تین-تنر، حل‌های دقیق جریان سیالات ویسکوالاستیک |

معاونت آموزشی

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Malkin, Alexander Y., and Avraam I. Isayev. Rheology: Concepts, Methods, and Applications. Elsevier (2017).
2. Irgens, Fridtjov. Rheology and Non-newtonian Fluids. Vol. 190,Springer International Publishing (2014).
3. Bird, Robert Byron, Robert Calvin Armstrong, and Ole Hassager. Dynamics of Polymeric Liquids. Vol. 1: Fluid Mechanics, Wiley-Interscience (1987).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: نیروگاه ها</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>نیروگاه ها</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="4">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Power Plants</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="7">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ■ندارد<br>سفر علمی ■ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="7"></td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی کلی با نیروگاه های حرارتی شامل نیروگاههای بخار، توربینهای گازی، سیکلهای ترکیبی و نیروگاههای هسته ای و همچنین آشنایی با اجزاء و سیستم های جانبی این نیروگاه ها. آشنایی با نحوه طراحی کلی نیروگاه و معرفی انواع نیروگاههای تجدید پذیر (بادی، خورشیدی و زمین گرمایی)

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مروری بر چرخه تولید توان نیروگاه بخار و پارامترهای مهم بر عملکرد آن، بررسی یک سیکل واقعی نیروگاه بخار و رسم تحولات آن در دیاگرامT-S |
| **دوم و سوم** | مقدمه ای بر طراحی کلی نیروگاه بخار |
| **چهارم** | مروری بر چرخه توربینهای گازی و عوامل موثر بر عملکرد آن، معرفی اجزای اصلی یک توربین گازی جدید |
| **پنجم** | معرفی سیکل ترکیبی و اجزای آن |
| **ششم، هفتم و نهم** | بویلرهای بازیاب و اجزای آن، نکات طراحی |
| **دهم و یازدهم** | توربینهای بخار و اجزای آن، انواع پره های توربین بخار |
| **دوازدهم و سیزدهم** | کندانسور و سیستم‌های خنک کن نیروگاههای حرارتی شامل سیستم‌های خنک کن یکبار گذر، برج خنک کن تر، سیستم‌های خنک کن خشک مستقیم (کندانسور هوایی) و سیستم‌های خنک کن |

| | |
|---|---|
| | خشک<br>غیر مستقیم (هلر)، سیستم‌های هواگیری در کندانسور |
| **چهاردهم** | نیروگاههای هسته ای شکافت هسته (Fission)، طرز کار راکتور هسته ای، نیروگاههای جوش هسته (Fusion) |
| **پانزدهم** | سیستم‌های تولید همزمان گرما و برق (CHP) |
| **شانزدهم** | معرفی انواع نیروگاههای بادی، خورشیدی و زمین گرمایی و بازدید از یک نیروگاه سیکل ترکیبی یا نیروگاه بخار |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ندارد | ٪۴۰ | ٪۶۰ | ندارد | ندارد |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی:**


1. Moran, Michael J., et al. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons, 2010.
2. اطلاعات، کاتالوگها و نقشه های نیروگاههای بخار، سیکل ترکیبی، توربین گازی و نیروگاههای هسته ای



دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۲۰۰)

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: دینامیک سیالات محاسباتی ۱</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>دینامیک سیالات محاسباتی ۱</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Computational Fluid Dynamics I</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با روش‌های گسسته سازی مورد استفاده در حل معادلات جریان سیال و بررسی الگوریتم‌های مطرح مورد استفاده در حل معادلات گسستهسازی شده

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | تحلیل رفتار معادلات دیفرانسیل پاره ای:<br>بدست آوردن معادلات مشخصه و منحنی‌های مشخصه، دسته بندی معادلات دیفرانسیل به معادلات هذلولوی، سهموی و بیضوی، بررسی رفتار هر دسته از معادلات فوق، بررسی رفتار معادلات معروف در مکانیک سیالات و انتقال حرارت از جمله معادله موج، لایه مرزی، هدایت حرارت دائم و غیردائم، بیان |
| **دوم** | تفاوت روش های حل عددی در معادلات تعادل و انتشار، تشریح روش‌های دسته‌بندی دستگاه‌های معادلات دیفرانسیل، بررسی رفتار دسته معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان، ارایه تعریف ریاضی از مسایل خوش‌وضع و بدوضع. |
| **سوم** | تخمین عملگرهای دیفرانسیلی به صورت تفاضلات محدود: |

| | |
|---|---|
| **چهارم** | معرفی تخمین‌های تفاضلی پیش‌رو و پس‌رو و مرکزی از مشتقات مرتبه اول و بالاتر، تعیین خطای برشی بر اساس بسط تیلور، معرفی روش جدول تیلور و اوپراتورهای تفاضل محدود برای تخمین مشتقات، استفاده از عملگرهای تفاضل محدود برای تخمین ضمنی مشتقات مکانی، تعمیم تخمین‌های تفاضل محدود به مشتقات در فضای چندبعدی، تقریب تفاضل محدود مشتقات در شبکه غیریکنواخت |
| **پنجم**<br>**ششم** | روش‌های تفاضل محدود برای معادلات سهموی:<br>معرفی روش‌های مختلف حل معادله سهموی بر پایه گسسته‌سازی‌های مختلف زمانی به صورت صریح و ضمنی (روش‌های Forward Time Central Space، Backward Time Central Space ، Crank-Nicolson ) ، تعمیم روش‌های فوق به فرم‌های چندبعدی مکانی با استفاده از روش‌های ADI و Approximate Factorization، مقایسه خطای برشی روش‌های مورد بررسی |
| **هفتم**<br>**هشتم**<br>**نهم** | اصول بررسی پایداری و همگرایی روش‌های عددی:<br>ارایه تعریف از سازگاری، پایداری و همگرایی، گسسته‌سازی معادله معادله هدایت یک‌بعدی و غیردائم به روش دوفورت-فرانکل و بررسی سازگاری و همگرایی، بررسی اثرات خطاهای عددی شامل خطای گردکردن و بریدن (truncation) در پایداری روش‌های عددی، تحلیل پایداری معادلات سهموی خطی به روش اغتشاشات گسسته، قضیه هم‌ارزی لکس، تحلیل پایداری معادلات گسسته به روش فون-نیومن، تعمیم به روش فون‌نیومن به حالت چندبعدی و تحلیل پایداری معادلات گذرای دوبعدی و سه-بعدی، تحلیل پایداری معادلات سهموی همراه با ترم‌های جابجایی خطی، معرفی عدد کورانت و شرط کورانت برای پایداری، تحلیل پایداری دستگاه‌های معادلات دیفرانسیل خطی، معرفی معادله پیراسته جهت تحلیل خطای برشی، بررسی تاثیر خطای برشی ناشی از تخمین‌های عددی مرتبه پایین و مرتبه بالا در حل عددی، معرفی مفاهیم dissipation و dispersion |
| **دهم** | روش‌های تفاضل محدود برای معادلات بیضوی:<br>گسسته سازی معادلات بیضوی به روش تفاضل مرکزی، بررسی روش اعمال شرایط مرزی (دیریشله، نیومن و مختلط) در فرم گسسته، معرفی روش‌های تکرار در حل دستگاه‌های معادلات گسسته (روش‌های ژاکوبی و گوس-سایدل، ) و استفاده ازrelaxation جهت کنترل روند همگرایی، معرفی اجمالی روش‌های چندشبکه‌ای |
| **یازدهم**<br>**دوازدهم**<br>**سیزدهم** | رهیافت حجم محدود:<br>اعمال گسسته‌سازی حجم محدود بر روی معادلات ساده مانند معادلات پخش یک بعدی، جابجایی یک بعدی و معادله جابجایی-پخش یک‌بعدی و بررسی روش‌های تخمین فلاکس جابجایی در مرزها (روش upwind و second-order upwind و Hybrid و QUICK) ، معرفی Flux-Limiter ها و تشریح کاربرد آنها در تضمین خاصیت TVD در جواب معادلات گسسته، گسسته سازی معادله جابجایی-پخش گذرا در فرم چندبعدی، حل معادلات حاکم بر جریان تراکم‌ناپذیر به روش حجم |

| | |
|---|---|
| **چهاردهم** | محدود در شبکه جابجاشده و معرفی الگوریتم‌های SIMPLE و SIMPLER و SIMPLEC و PISO، بررسی معضلات اعمال روش حجم محدود جهت گسسته‌سازی معادلات جریان در شبکه هم-مکان (collocated) و معرفی میانیابی Rhie & Chow ، معرفی شرایط مرزی مختلف برای معادلات جریان و روش اعمال آنها در رهیافت حجم محدود، استفاده از الگوریتم حجم محدود برای حل عددی جریان‌های گذرا و بررسی روش‌های مختلف گسسته‌سازی مشتقات زمانی بر حل عددی، اعمال relaxation روی حل عددی در الگوریتم حجم محدود |
| **پانزدهم** | مرور اجمالی بر تولید شبکه محاسباتی<br>مرور و معرفی اجمالی شبکه‌های سازمان یافته و بی‌سازمان، معرفی روش‌های جبری و دیفرانسیلی برای تولید شبکه سازمان‌یافته |
| **شانزدهم** | تعمیم روش گسسته‌سازی حجم محدود به فرم قابل استفاده در شبکه‌های بی‌سازمان و حل معادلات مدل ساده در این نوع از شبکه‌ها |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۲۰ | ٪۳۰ | اختیاری | ٪۳۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Darwish, Marwan, and Fadl Moukalled. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM and Matlab. Springer (2021).
2. Pletcher, Richard H., John C. Tannehill, and Dale Anderson. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. CRC press (2012).
3. Lomax, Harvard, et al. Fundamentals of Computational Fluid Dynamics. Vol. 246. Springer (2001).
4. Myint-U, Tyn, and Lokenath Debnath. Linear Partial Differential Equations For Scientists and Engineers. Springer Science & Business Media (2007).
5. Hoffmann, Klaus A., and Steve T. Chiang. Computational Fluid Dynamics volume I. Engineering Education System (2000).
6. Anderson, John David, and J. Wendt. Computational Fluid Dynamics. Vol. 206. McGraw-Hill (1995).



دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۰۰۰)

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: دینامیک سیالات محاسباتی ۲</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>دینامیک سیالات محاسباتی ۲</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>دینامیک سیالات محاسباتی ۱</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Computational Fluid Dynamics II</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با روش‌های عددی پیشرفته در حل معادلات جریان و بررسی مباحث تکمیلی دینامیک سیالات محاسباتی

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مرور روش حجم محدود و مباحث تکمیلی این روش، شامل:<br>بیان فرم کلی قوانین بقا و تعریف شار، پایداری روش‌های عددی و شرط CFL، روش بادسو برای معادله |
| **دوم** | فرارفت، روش گودونوف، بیان تابع شار روش گودونوف، بیان فرم حل عددی مبتنی بر انتشار موج، روش‌های تفاضل شار و تجزیه شار، روش رو در حل معادله برگرز، روش‌های بادسوی مرتبه بالا |
| **سوم** | حل عددی معادلات جریان تراکم‌پذیر به روش حجم محدود:<br>بیان فرم انتگرالی معادلات اویلر و ناویر-استوکس، اعمال قضیه دیورژانس و تعیین انتگرال سطح و |
| **چهارم** | محاسبه شار، انتگرال‌گیری حجمی، انتگرال‌های زمانی، بیان مشخصه‌های معادلات به صورت تابعی از متغیرهای اولیه و بقایی، اعمال شرایط مرزی جریان تراکم‌پذیر بر اساس رفتار مشخصه‌های جریان در |
| **پنجم** | مرزها (ورودی و خروجی زیرصوت و فراصوت)، روش‌های حجم محدود صریح و ضمنی در گسسته- |
| **ششم** | سازی معادلات جریان، تشریح روش‌های پیشرفته حل دستگاه معادلات خطی مانند روش BiCGSTAB و GMRES و کاربرد آنها در حل عددی جریان به روش حجم محدود |
| **هفتم** | روش‌های تولید شبکه<br>بیان فرم کلی معادلات بقایی در دستگاه مختصات منحنی‌الخط، نگاشت فضای فیزیکی به فضای |
| **هشتم** | محاسباتی و بالعکس، روش‌های تولید شبکه باسازمان به صورت جبری و با استفاده از معادلات لاپلاس و |

| | |
|---|---|
| **نهم** | پواسون، مقدمه‌ای بر تولید شبکه‌های بی‌سازمان، روش جبهه پیش‌رونده (Advancing Front) و روش دلانی (Delaunay)، بیان روش حل و گسسته‌سازی فرم انتگرالی معادلات جریان در شبکه‌های بی‌سازمان |
| **دهم** | روش‌های تفاضل محدود فشرده |
| **یازدهم** | تقریب ضمنی مشتقات در مقایسه با تقریب صریح مشتقات، مقایسه عملکرد فرکانسی مشتقات در روش تفاضل محدود در حالت ضمنی و صریح با استفاده از مفهوم عدد موج تغییریافته، بیان خطای الیازینگ (aliasing error)و لزوم استفاده از فیلتر عددی در روش‌های تقاضل محدود فشرده و مرتبه بالا، بیان قوانین کلی در تعیین فرم گسسته‌سازی ضمنی و توابع فیلتراسیون عددی، کاربرد روش‌های تفاضل محدود فشرده و مرتبه بالا در حل عددی مستقیم (DNS) و حل عددی گردابه‌های بزرگ (LES) معادلات جریان، نحوه اعمال شرایط مرزی در روش‌های فشرده |
| **دوازدهم** | |
| **سیزدهم** | روش‌های طیفی<br>بیان مبانی روش طیفی در حل معادلات با مشتقات جزیی، استفاده از چندجمله‌ای‌های چبیشف در توسعه |
| **چهاردهم** | روش‌های طیفی، حل معادله برگرز با روش طیفی، حل دستگاه معادلات با روش طیفی، تشریح چگونگی اعمال شرایط مرزی ورودی و خروجی و دیواره |
| **پانزدهم** | روش شبکه بولتزمن: مروری بر تئوری جنبشی، توزیع مولکول‌ها در فضای فازی، معادله انتقال بولتزمن، تقریب BGK، آرایش شبکه یک‌بعدی و دوبعدی و سه‌بعدی، ضرایب وزنی، توابع توزیع تعادلی، شرایط مرزی، حل معادله پخش و معادله جابجایی پخش به روش شبکه بولتزمن |
| **شانزدهم** | |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۲۰ | ٪۳۰ | اختیاری | ٪۳۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Darwish, Marwan, and Fadl Moukalled. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM and Matlab. Springer (2021).
2. Pletcher, Richard H., John C. Tannehill, and Dale Anderson. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. CRC press (2012).
3. Lomax, Harvard, et al. Fundamentals of Computational Fluid Dynamics. Vol. 246. Springer (2001).
4. Myint-U, Tyn, and Lokenath Debnath. Linear Partial Differential Equations For Scientists and Engineers. Springer Science & Business Media (2007).
5. Hoffmann, Klaus A., and Steve T. Chiang. Computational Fluid Dynamics volume I. Engineering Education System (2000).
6. Anderson, John David, and J. Wendt. Computational Fluid Dynamics. Vol. 206. McGraw-Hill (1995).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: تهویه مطبوع پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>تهویه مطبوع پیشرفته</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Air Conditioning</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با انواع سیستم‌های تهویه مطبوع، و نوآوری‌ها در این حوزه، کسب دانش عمیق نحوه کار سیستم‌های مختلف تاسیساتی، کسب توانایی در انتخاب نوع و اندازه تجهیزات مناسب

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | شرایط آسایش و شاخص‌های آن، فاکتورهای تأثیرگذار بر آسایش دمایی، مدل‌سازی آسایش دمایی، |
| **دوم** | حساسیت افراد، تفاوت‌های جنسی، متاورس و آسایش حرارتی مجازی، |
| **سوم** | اصول کنترل تاسیسات تهویه ساختمان، اجزای تجهیزات کنترل شامل سنسورها، ترنسدیوسرها، |
| **چهارم** | ترانسمیترها، کنترلرها، اکچویتورها |
| **پنجم** | آشنایی با انواع هواسازها و بررسی مزایا و معایب و کاربرد آنها |
| **ششم** | |
| **هفتم** | طراحی و کنترل مشخصه‌های تهویه فضاهای خاص مانند اتاقهای تمیز و بیمارستانی |
| **هشتم** | |
| **نهم** | آشنایی با تجهیزات ذخیره‌سازی سرمایش و گرمایش در ساختمان، انواع فناوری ذخیره‌سازی حرارتی و |
| **دهم** | برودتی، انواع راهبردهای ذخیره‌سازی، مراحل طراحی پمپ حرارتی، تحلیل ترمودینامیکی ذخیره‌سازها |
| **یازدهم** | آشنایی با سیستم‌های جریان مبرد متغیر (VRF) و طراحی آنها، مقایسه سیستم‌های VRF با سیستم‌های برودتی دیگر در ساختمان از جمبه چیلرهای تراکمی |
| **دوازدهم** | سیستم‌های پکیج چگالشی، مقایسه استفاده از آنها در سیستم‌های شوفاژی و کف‌گرمایشی |
| **سیزدهم** | کمپرسورهای توربوکر و بررسی کاربرد آنها از نظر اقتصادی، بررسی کندانسورهای میکروکانالی، بررسی فن‌های EC، خنک‌کن‌های جذبی سطحی، سیستم‌های سرمایش رایگان |

| | |
|---|---|
| **چهاردهم** | طراحی سیستم‌های ترکیبی با رویکرد صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی، ترکیب سیستم‌های تبخیری با چرخ دسیکانت و انرژی خورشیدی، سیستم‌های Micro-CHP، ساختمان‌های سبز، کاربرد فناوری‌های تجدیدپذیر در تهویه، گرمایش و سرمایش ساختمان |
| **پانزدهم** | |
| **شانزدهم** | آشنایی با نرم‌افزارهای مورد استفاده در HVAC |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. McQuiston, Faye C., Jerald D. Parker, and Jeffrey D. Spitler. Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design. John Wiley & Sons (2004).
2. Carrier Corporation. Carrier Air Conditioning Company. Handbook of air conditioning system design. Vol. 1. McGraw-Hill Companies (1965).
3. Ronald H.. Howell, William J.. Coad, and Harry J.. Sauer. Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning: A Textbook with Design Data Based on the 2021 ASHRAE Handbook Fundamentals. Ashrae (2021).
4. Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-conditioning Applications. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2019).
5. R. American Society of Heating and I. Air Conditioning Engineers, 2018 ASHRAE Handbooks-- Refrigeration (I-P). ASHRAE, 2018.

۶. مشخصات فنی عمومی تاسیسات مکانیکی ساختمان: تاسیسات گرمایی تعویض هوا و تهویه مطبوع ۱-۱۲۸. ۱۳۸۸.

۷. مشخصات فنی عمومی تاسیسات مکانیکی ساختمان: تاسیسات بهداشتی ۲-۱۲۸. ۱۳۸۸.

۸. مشخصات فنی عمومی تاسیسات مکانیکی ساختمان: کانال‌کشی ۳-۱۲۸. ۱۳۸۲.



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۲۰۰)

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: سیستم‌های تبرید پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>سیستم‌های تبرید پیشرفته</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="6">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="6">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced refrigeration system</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ▩ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با انواع مبادله‌کن‌های حرارتی و نحوه عملکرد هر یک، کسب مهارت در انتخاب و بکارگیری روابط مورد نیاز و مراحل طراحی انواع آنها، آشنایی با معیارهای مختلف انتخاب مبادله‌کن‌های حرارتی، آشنایی با معیارهای برآورد بهبود کارایی مبدل و تسلط در انتخاب رابطه مناسب

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | سیستم تبرید تراکمی چند مرحله‌ای، چرخه‌های آبشاری دو و سه مرحله‌ای، سیستم‌های تبرید جذبی چند |
| **دوم** | اثره |
| **سوم** | سیستم‌های تبرید جت بخار، سیستم‌های تبرید جذبی سطحی، سیکل تبرید استرلینگ، سامانه تبرید |
| **چهارم** | ترموالکتریک، سامانه تبرید ترمواکوستیک |
| **پنجم** | سامانه تبرید متال هیدراید، تبرید مغناطیسی کارنو، برایتون و اریکسون، سامانه‌های تبرید سوپرمارکتی |
| **ششم** | بررسی جامع مبردها، نحوه نامگذاری و ویژگی‌های نسلهای مختلف |
| **هفتم** | سرمایش در دمای پایین و مایع‌سازی گازها: تعریف کرایوژنیک (Cryogenic)، تاریخچه، فرآیند مایع‌سازی گازها، معرفی اجمالی چرخه‌های لینده- همپسون (ساده، با پیش سرمایش و اصلاح شده) (Linde-Hampson)، چرخه آبشاری (Cascade)، چرخه کلاد (Claude)، چرخه کاپیتزا (Kapitza) |
| **هشتم** | تبرید صنعتی، نگهداری مواد غذایی بالا و پایین دمای انجماد، خشک کردن انجمادی، سرمایش هوای صنعتی، تبرید در واحدهای صنعتی، تبرید در پیست اسکی، تبرید در صنایع شیمیایی |

| | |
|---|---|
| **نهم** | کمپرسورهای صنعتی |
| **دهم** | کندانسورها و اواپراتورهای صنعتی |
| **یازدهم** | انواع شیرها، شیرهای کنترل، شیرهای انبساط، شیرهای تنظیم فشار، شیرهای کنترل سطح مایع، انواع دیگر شیرها، انتخاب شیر و سیستم کنترل، کنترل الکتریکی و ابزار دقیق در تبرید صنعتی، علائم در نقشه‌ها، |
| **دوازدهم** | دیاگرام‌های نردبانی، تجهیزات مونیتورینگ، ترانسدیوسرهای فشار و دما |
| **سیزدهم** | لوله‌کشی در تبرید صنعتی، افت فشار، اندازه بهینه لوله، تمهیدات در جداسازی روغن و مبرد، ملاحظات عبور مایع و بخار در مسیر لوله‌کشی، رسیور، جداکن روغن و مبرد، آکومولاتور، فلش تانک، محفظه موج‌گیر در اواپراتورهای فلودید، تعیین اندازه محفظه‌ها در تبرید صنعتی |
| **چهاردهم** | ایمنی در تبرید صنعتی، مقایسه ایمنی در واحدهای تبرید آمونیاکی و دیگر واحدها، لوله کشی و شیرهای کنترل، تهویه هوای موتورخانه، ملاحظات تخلیه آمونیاک |
| **پانزدهم** | طراحی سیستم‌های تبرید جذبی آمونیاکی صنعتی |
| **شانزدهم** | |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Althouse, Andrew D. Modern Refrigeration and Air Conditioning, Goodheart-Willcox (2004).
2. Dinçer, I., and M. Kanoglu. Advanced refrigeration cycles and systems. Refrigeration Systems and Applications (2010).
3. Stoecker, Wilbert F. Industrial Refrigeration Handbook. McGraw-Hill Education (1998).
4. Bogart, Marcel. Ammonia Absorption Refrigeration in Industrial Processes. Butterworth-Heinemann (1981).



دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۷۰۰)

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: آکوستیک مهندسی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>آکوستیک مهندسی</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Engineering Acoustics</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">نوع واحد</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی: ۰</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی و توانایی محاسبه تولید و انتشار امواج صوتی در محیط‌های جامد و سیال و همچنین آشنایی مقدماتی با روش‌های اندازه‌گیری صوت به منظور استفاده در آکوستیک تجربی.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| اول | **مرور سیستم‌های ساده ارتعاشی** |
| دوم | یادآوری اصول ارتعاشات؛ موج‌های عرضی در ریسمان؛ معادله موج یک بعدی و حل آن؛ بازتاب در مرز؛ ارتعاش اجباری یک ریسمان با طول نامحدود و با طول محدود؛ مودهای نرمال؛ معادله دوبعدی موج؛ ارتعاشات پوسته و ورق |
| سوم | **معادله موج آکوستیک و حل‌های ساده آن** |
| چهارم | |
| پنجم | معادله حالت؛ معادله پیوستگی؛ معادله نیرو؛ معادله خطی موج؛ حل معادله موج با تابع گرین؛ موج تخت هارمونیک؛ دانسیته انرژی؛ شدت آکوستیکی؛ امپدانس آکوستیکی مخصوص؛ موج‌های کروی |
| ششم | **بازتاب و انتقال**<br>تابش عمودی؛ تابش مایل؛ انتقال از لایه یک سیال |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

| | |
|---|---|
| **هفتم** | **تشعشع صوت**<br>تشعشع از کره مرتعش؛ منبع‌های صوت تک قطبی، دو قطبی، چهار قطبی؛ منبع خط پیوسته؛ تشعشع از یک پیستون مسطح دوار |
| **هشتم** | **روش‌های اندازه‌گیری صوت**<br>انواع میکروفن؛ تنظیم (کالیبراسیون) میکروفن؛ اندازه‌گیری شدت صوت؛ لوله امپدانس؛ فیلترهای صدا |
| **نهم**<br>**دهم**<br>**یازدهم** | **آیرواکوستیک**<br>معادلات حاکم (پیوستگی، اندازه حرکت، انرژی، حالت)؛ سرعت صوت در سیالات؛ انتشار خطی صوت در سیال؛ آنالوژی لایتهیل؛ معادلات فووکس ویلیامز-هاوکینگ؛ معادلات اویلر خطی؛ صدای گردابه |
| **دوازدهم**<br>**سیزدهم** | **انتشار صوت از اجسام آیرودینامیک**<br>تئوری پراکندگی صوت از گوشه (Edge)؛ صدای تولیدی از مقطع بال؛ صدای تولیدی از روتور |
| **چهاردهم** | **انتشار صوت در کانال و اتاق** |
| **پانزدهم**<br>**شانزدهم** | **آکوستیک زیر آبی**<br>سرعت صوت در دریا؛ اتلاف انتقال صوت؛ پدیده‌های شکست؛ کانال‌های صوتی |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۵ | ٪۳۰ | ٪۶۵ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

-

**منابع اصلی**


1. Kinsler, Lawrence E., et al. Fundamentals of Acoustics. John wiley & Sons (2000).
2. Fahy, Frank J. Foundations of Engineering Acoustics. Elsevier (2000).
3. Vér, István L., and Leo L. Beranek, eds. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications. John Wiley & Sons (2005).
4. Pierce, Allan D. Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications. Springer (2019).
5. Glegg, Stewart, and William Devenport. Aeroacoustics of Low Mach number Flows: Fundamentals, Analysis, and Measurement. Academic Press (2017).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: سوخت و احتراق پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>سوخت و احتراق پیشرفته</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td colspan="2">پایه</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ترمودینامیک پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="5">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Fuel and Combustion</td><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد نظری: ۳</td><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

ارائه اصول و مبانی فرآیند احتراق سوختهای با ساختار شیمیایی مختلف و آشنایی با تعادل شیمیایی و مکانیزم سینتیک شیمیایی است. در این راستا دانشجویان با تئوری شعله، تبخیر و احتراق قطره و رآکتورهای مختلف نیز آشنا می‌شوند.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| اول | |
| دوم | مروری بر ترمودینامیک احتراق و تعادل شیمیایی |
| سوم | |
| چهارم | سینتیک شیمیایی و مکانیزم های مهم |
| پنجم | |
| ششم | مدل رآکتور و قوانین بقا |
| هفتم | شعله پیش مخلوط آرام |
| هشتم | |
| نهم | |
| دهم | |
| یازدهم | تبخیر و احتراق قطره |
| دوازدهم | |
| سیزدهم | شعله نفوذی آرام |
| چهاردهم | |
| پانزدهم | مقدمه ای بر احتراق مغشوش |
| شانزدهم | |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۳۰ | ٪۳۰ | ٪۴۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Turns, Stephen R. Introduction to Combustion. McGraw-Hill Companies (2011).
2. Kuo, Kenneth K. Principles of Combustion, John Wiley & Sons (2005).
3. Law, Chung K. Combustion Physics. Cambridge University Press (2010).
4. Poinsot, Thierry, and Denis Veynante. Theoretical and Numerical Combustion. RT Edwards, Inc. (2005).
5. Peters, Norbert, Turbulent Combustion, Cambridge University Press (2000).

| سرفصل درس: ذخیره‌سازی انرژی | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **عنوان درس به فارسی:** ذخیره‌سازی انرژی | **تعداد واحد:** ۳ | **نوع واحد** | پایه | | تعداد واحد نظری: | **دروس پیش‌نیاز: ندارد** |
| | | | | | تعداد واحد عملی: | |
| **عنوان درس به انگلیسی:** Energy storage | **تعداد ساعت:** ۴۸ | | **الزامی** | **تخصصی** | تعداد واحد نظری: | |
| | | | | | تعداد واحد عملی: | |
| | | | **اختیاری** | | تعداد واحد نظری: ۳ | |
| | | | | | تعدا واحد عملی: | |
| **آموزش تکمیلی عملی:** ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ | | | | | | |
| **سال ارائه درس: سال اول به بعد** | | | | | | |

**اهداف درس:**

آشنایی اهمیت و انواع فناوری‌های تبدیل و ذخیره‌سازی انرژی، حوزه کاربرد هر فناوری، معیارهای ارزیابی و سنجش کیفیت عملکرد سامانه ذخیره‌ساز، تسلط بر مدلسازی و طراحی ذخیره‌سازهای مختلف

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | اهمیت ذخیره‌سازی انرژی و کاربرد آن در سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر، مفاهیم تبدیل و ذخیره‌سازی انرژی، پیک‌سایی شبکه، ساختمان‌های سبز، وسایل حمل و نقل و ...، انواع روش‌های ذخیره‌سازی انرژی، سامانه‌های ذخیره انرژی تلمبه ذخیره‌ای، اساس کار و ملاحظات |
| **دوم** | ذخیره‌سازی الکتروشیمیایی، اساس کار و خصوصیات باتری، انواع واکنش‌ها در باتری‌های مختلف، باتری‌های اولیه و ثانویه، کمیت‌های کاربردی مهم، انواع باتری از لحاظ هندسی، معرفی و مقایسه باتری‌های سرب اسیدی، پایه لیتیمی، نیکل کادمیم، نیکل متال هیدراد، وضعیت استفاده از باتری‌های جدید در صنعت و روند تغییرات بازار، بازار خودروهای هیبریدی و برقی، چالشهای پیش رو، روشهای برآورد ایمنی باتری، خلاصه‌ای از مدلسازی رفتار باتری، انتخاب اندازه پکیج باتری برای کاربردهای مختلف از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر |
| **سوم** | |
| **چهارم** | باتری‌های لیتیم یون و نسل‌های مختلف آن، سازوکارهای کاهش عمر چرخه‌ای و تقویمی، بازده، نحوه شارژ و تخلیه، خوددشارژی، اثر حافظه و حافظه دیجیتال، بازیافت، ایمنی، شیمی‌های مختلف باتری لیتیم یون و مقایسه آنها، کاربردهای ایستگاهی و پورتابل، تفاوت باتری لیتیم یون و لیتیم پلیمر، سامانه کنترل حرارت و دیگر مشخصه‌های باتری در ابعاد سلول، ماژول و پک |
| **پنجم** | |
| **ششم** | باتری‌های سرب–اسید، اساس کار، واکنش‌ها و انواع آنها از نظر حالت الکترولیت، چینه‌بندی، |

| | |
|---|---|
| **هفتم** | واکنش‌های جانبی، باتری‌های سرب-اسید تنظیم‌شونده با سوپاپ، باتری‌های جذبی پشم و شیشه‌ای و ژله‌ای، باتری‌های سولفور-سدیم، باتری زبرا، باتری‌های جریانی، باتری‌های فلز-هوا، انواع و مقایسه آنها با باتری و پیل سوختی، چالش‌های توسعه فناوری، الکترولیتهای آبی، آلی، ترکیبی و جامد |
| **هشتم** | ذخیره انرژی حرارتی، انواع مواد تغییر فاز دهنده، ذخیره‌سازی حرارتی در نیروگاههای حرارتی خورشیدی، سامانه‌های تک‌تانک و دوتانک، سامانه با ماده ذخیره‌ساز جامد، دیوارهای ذخیره‌ساز در ساختمانها، ذخیره‌سازهای حرارتی جذبی سطحی و حجمی، ذخیره‌سازهای حرارتی فشرده، ذخیره‌سازهای ترموشیمیایی، سامانه‌های ذخیره‌ساز نهان، |
| **نهم** | |
| **دهم** | ذخیره انرژی برودتی، انواع راهبردهای ذخیره‌سازی سرمایش، انواع فناوری‌های ذخیره‌سازی سرمایش، |
| **یازدهم** | مراحل تعیین اندازه مخزن ذخیره‌ساز، روابط ترمودینامیکی حاکم بر ذخیره‌سازهای برودتی، روابط یک بعدی در تانکهای ذخیره آب سرد طبقاتی |
| **دوازدهم** | سامانه‌های ذخیره‌ساز حرارت زیر سطح زمین، انواع و محاسن آنها، نحوه عملکرد در گرمایش و سرمایش، سیستم‌های ذخیره‌ساز زیر سطح زمین باز و بسته، تغییرات دما در عمق زمین، اثر خواص هیدرولوژی خاک از جمله تخلخل، رطوبت، ضریب انتقال حرارت هدایتی، عبورپذیری، همگن بودن یا جهتی بودن خواص بر عملکرد سامانه |
| **سیزدهم** | ذخیره‌سازی هیدروژن و اهمیت آن، روش‌های مختلف تولید هیدروژن، هیدروژن و پیلهای سوختی، انواع فناوری‌های تولید هیدروژن، هیدروژن سبز، تحلیل فنی اقتصادی، استفاده ترکیبی از باتری و پیل سوختی |
| **چهاردهم** | ذخیره‌سازهای انرژی توان بالا (ابرخازن‌ها) و انواع آنها، اساس عملکرد و اجزای سامانه، کاربردها، روابط حاکم، ملاحظات مکانیکی، ابرخازن‌های هیبریدی، ابرخازن‌های دولایه الکتروشیمیایی، شبه‌ابرخازن‌ها، مقایسه ابرخازن و باتری، |
| **پانزدهم** | ذخیره‌سازی انرژی جنبشی، ذخیره‌سازی خطی و چرخشی، چرخ طیار، روابط حاکم و محدودیت‌ها و ملاحظات ایمنی، پروفیل بهینه سطح مقطع چرخ طیار، مزایا و موارد کاربرد، پیشرفت‌ها در نسل‌های جدید، مراحل طراحی، مقایسه چرخ طیار و ابرخازن و باتری |
| **شانزدهم** | ذخیره‌سازی هوای فشرده و کاربردهای آن، نحوه عملکرد و اجزای اصلی، ترکیب ذخیره‌سازی هوای فشرده و نیروگاه گازی، به‌کارگیری حفره‌های طبیعی زیر سطح زمین و محفظه‌های ساخت بشر جهت ذخیره هوای فشرده، جایگاه این روش ذخیره‌سازی در بین انواع روش‌های ذخیره انرژی، ذخیره‌سازهای هوای فشرده آدیاباتیک و دما ثابت، مسائل ایمنی |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Dincer, Ibrahim, and Marc A. Rosen. Thermal Energy Storage Systems and Applications. John Wiley & Sons (2021).
2. Santhanagopalan, Shriram, et al. Design and Analysis of Large Lithium-ion Battery Systems. Artech House (2014).
3. Hamut, Halil S., Nader Javani, and Ibrahim Dinçer. Thermal Management of Electric Vehicle Battery Systems. John Wiley & Sons (2017).
4. Klebanoff, Lennie, ed. Hydrogen Storage Technology: Materials and Applications. CRC Press (2012).
5. Kularatna, N. ,Energy Storage Devices for Electronic Systems: Rechargeable Batteries and Supercapacitors, Elsevier Science (2014).
6. Yu, Aiping, Victor Chabot, and Jiujun Zhang. Electrochemical Supercapacitors For Energy Storage and Delivery: Fundamentals and Applications. Taylor & Francis (2013).
7. Crawley, Gerard M., Energy Storage, World Scientific (2017).
8. Huggins, Robert Alan. Energy Storage. Vol. 406. Springer (2010).
9. Rufer, Alfred. Energy Storage: Systems and Components. CRC Press (2017).
10. Sahoo, Umakanta, Energy Storage. John Wiley & Sons (2021).
11. Rosen, Marc A. Energy Storage. Nova Science Publishers (2012).
12. Baxter, Richard. Energy Storage: A Nontechnical Guide. PennWell Books (2006).

۱۳. ر. حقیقی خوشخو, روش های تبدیل و ذخیره سازی انرژی. دانشگاه شهیدبهشتی ، تهران (۱۳۹۷).

۱۴. م. زندی, ابرخازن منبع ذخیره انرژی الکتریکی آینده. دانشگاه شهیدبهشتی تهران (۱۳۹۷).

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: اندازه‌گیری پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>اندازه‌گیری پیشرفته</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Measurements</td><td rowspan="2">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی کاربردی با روش‌های اندازه‌گیری متداول و پیشرفته در تبدیل انرژی، روش‌های پردازش سیگنال و سخت‌افزارهای داده‌برداری و انتقال داده. آشنایی کاربردی با روش‌های تحلیل خطا و طراحی آزمایش.

| سرفصل درس: هفته | سرفصل |
|---|---|
| اول | مقدمه و تعاریف، تشریح فرایند اندازه‌گیری، اندازه‌گیری صنعتی، اندازه‌گیری تحقیقاتی، مترولوژی، دسته‌بندی ابزارها و روش‌های اندازه‌گیری و کاربردها<br>ویژگی‌های استاتیکی حسگرها: بازه، خطی بودن، حساسیت، دقت، تکرارپذیری، امپدانس، انواع خطا و منابع آن<br>ویژگی‌های دینامیکی حسگرها: پاسخ سیستم‌های خطی مرتبه صفر، یک و دو، ثابت زمانی و ویژگی‌های زمانی |
| دوم | روش‌های اندازه‌گیری کمیت‌های مکانیکی: فاصله و جابجایی، دما، فشار، صوت، رطوبت، شار حرارتی |
| سوم | |
| چهارم | روش‌های اندازه‌گیری ابعاد هندسی: اندازه‌گیری مختصات CMM؛ اسکنر نقطه‌ای و خطی لیزری؛ اسکنر نور سفید؛ |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

| | |
|---|---|
| **پنجم** | روش‌های اندازه‌گیری فشار: مانومتر؛ حسگر پیزورزیستیو؛ حسگر فشار مطلق؛ حسگر فشار لحظه‌ای؛ روش اندازه‌گیری فشار استاتیک بر سطح؛ پروب‌های آیرودینامیک فشار؛ رنگ حساس به فشار (به همراه روش‌های تنظیم یا کالیبراسیون) |
| **ششم** | روش‌های اندازه‌گیری دما: حسگر مقاومتی الکتریکی (RTD)؛ ترموکوپل؛ پروبهای آیرودینامیک دما؛ رنگ حساس به دما؛ توموگرافی نور زیرقرمز (به همراه روش‌های تنظیم یا کالیبراسیون) |
| **هفتم** | روش‌های پردازش تصویر: تصاویر دیجیتال، سیستم‌های تصویربرداری، روش‌های پردازش تصویر (شامل |
| **هشتم** | کاهش نویز، رفع اعوجاج)، آشنایی با روش‌های تحلیل تصویرهای جابجایی ذرات |
| **نهم** | روش‌های اندازه‌گیری سرعت: روش حسگر سیم داغ (Hot Wire)؛ روش حسگر صفحه داغ ( Hot |
| **دهم** | Film)؛ روش داپلر لیزری (Laser Doppler)؛ روش دو کانونی لیزری ( Laser Transit یا Laser Two-Focus)؛ سرعت سنجی تصویری ذرات (PIV)؛ روش‌های اندازه‌گیری سه مولفه سرعت (به همراه روش‌های تنظیم یا کالیبراسیون) |
| **یازدهم** | روش‌های آشکارسازی جریان |
| **دوازدهم** | روش‌های اندازه‌گیری چگالی: روش سایه‌نگاری (Shadowgraphy)؛ روش شِلیرن (Schlieren)؛ روش تداخل‌سنجی (Interferometry)؛ روش شِلیرن زمینه‌ای ( Background-Oriented Schlieren) (به همراه روش‌های تنظیم یا کالیبراسیون) |
| **سیزدهم** | عدم‌قطعیت و خطا در اندازه‌گیری: تعریف عدم قطعیت، توزیع احتمال، دسته‌بندی منابع عدم قطعیت، محاسبه و گزارش عدم قطعیت، روش‌های کاهش عدم قطعیت |
| **چهاردهم** | آشنایی با سامانه‌های داده‌برداری سریع: مبدل‌های A/D و D/A، فرکانس داده‌برداری، قابلیت تفکیک (Resolution)، تقویت سیگنال، نمونه‌برداری، پروتوکل‌های انتقال سیگنال، روش بیسیم انتقال داده، تِلِمتری |
| **پانزدهم** | اصول طراحی آزمون؛ داده‌برداری همزمان؛ روش‌های کاهش حجم داده |
| **شانزدهم** | کاربرد اینترنت اشیاء و پیاده‌سازی آن، حسگرهای هوشمند، بررسی موردی روش‌های اندازه‌گیری خاص یا کاربردهای سیستم‌های اندازه‌گیری |

**ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۵ | ٪۳۰ | ٪۶۵ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**

1. Doebelin, E. O., and D. N. Manik. Doebelin's Measurement Systems, 6e, Mc Graw Hill (2011).

2. Morris, Alan S., and Reza Langari. Measurement and Instrumentation: Theory and Application. Academic Press (2012).
3. Dunn, Patrick F., and Michael P. Davis. Measurement and Data Analysis for Engineering and Science. CRC press (2017).
4. Dunn, Patrick F. Fundamentals of Sensors for Engineering and Science. CRC Press (2011).
5. Raffel, Markus, Christian E. Willert, and Jürgen Kompenhans. Particle Image Velocimetry: A Practical Guide. Vol. 2. Springer (2018).
6. Tropea, Cameron, Alexander L. Yarin, and John F. Foss, eds. Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. Vol. 1. Springer (2007).
7. Russo, Giuseppe P. Aerodynamic Measurements: From Physical Principles to Turnkey Instrumentation, Woodhead Publishing Limited (2011).
8. Settles, Gary S. Schlieren and Shadowgraph Techniques: Visualizing Phenomena in Transparent Media. Springer Science & Business Media (2001).
9. Michalski, Ludwig, et al. Temperature Measurement, Wiley (2002).
10. Albrecht, H-E., et al. Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques. Springer Science & Business Media (2013).

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: توربوماشین‌ها</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>توربوماشین‌ها</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2" colspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>مکانیک سیالات<br>پیشرفته (هم-نیاز)</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Turbomachinery</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با طراحی و پیش‌بینی عملکرد توربوماشین‌ها شامل کمپرسور جریان محوری، کمپرسور گریز از مرکز، توربین جریان محوری، توربین جریان شعاعی، دیفیوزر؛ محاسبات محفظه احتراق و همچنین روش‌های تجربی تعیین عملکرد توربوماشین‌ها.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مروری بر فناوری توربوماشین‌ها |
| **دوم** | معادلات حاکم بر جریان سیال و ترمودینامیک در دستگاه‌های مختصات ثابت و چرخان |
| **سوم** | تئوری طبقه (Stage) در توربوماشین‌ها |
| **چهارم** | تعادل شعاعی |
| **پنجم** | انواع افت انرژی |
| **ششم** | طراحی پره |
| **هفتم** | دیفیوزر |
| **هشتم** | طراحی و پیش‌بینی عملکرد کمپرسور جریان محوری |
| **نهم** | |
| **دهم** | طراحی و پیش‌بینی عملکرد کمپرسور گریز از مرکز |
| **یازدهم** | طراحی و پیش‌بینی عملکرد توربین جریان محوری |
| **دوازدهم** | طراحی و پیش‌بینی عملکرد توربین جریان شعاعی |
| **سیزدهم** | |
| **چهاردهم** | محاسبات محفظه احتراق |
| **پانزدهم** | روش‌های تجربی تعیین عملکرد توربوماشین‌ها |
| **شانزدهم** | |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۵ | ٪۳۰ | ٪۶۵ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Whitfield, Arnold, and Nicholas C. Baines. Design of Radial Turbomachines, Springer Verlag (1990).
2. Saravanamuttoo, Herbert IH, Gordon Frederick Crichton Rogers, and Henry Cohen. Gas Turbine Theory. Pearson Education (2001).
3. Aungier, Ronald H. Centrifugal Compressors, The American Society of Mechanical Engineers, (2000).
4. Aungier, Ronald H. Axial-flow Compressors: A Strategy for Aerodynamic Design and Analysis. The American Society of Mechanical Engineers, (2003).
5. Ronald H. Aungier, Turbine Aerodynamics, The American Society of Mechanical Engineers (2005).
6. Schobeiri, Meinhard. Turbomachinery Flow Physics and Dynamic Performance. Springer (2012).
7. Cumpsty, Nicholas A. Compressor Aerodynamics, Longman Scientific & Technical (1989).
8. Wilson, David Gordon, and Theodosios Korakianitis. The Design of High-efficiency Turbomachinery and Gas Turbines, With A New Preface. MIT Press (2014).
9. Dixon, Sydney Lawrence, and Cesare Hall. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery. Butterworth-Heinemann (2013).

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: مکانیک محیط‌های پیوسته ۱</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>مکانیک محیط‌های پیوسته ۱</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Continuum Mechanics I</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

مکانیک محیط پیوسته سرشاخه درس‌های اصلی دوره کارشناسی‌ارشد و دکتری است. اهداف این درس عبارتند از فراگیری حساب تانسوری به عنوان ابزار کار با معادلات حاکم، فراگیری مدل ریاضی محیط پیوسته سیالات و معادلات حاکم بر جریان سیال.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| اول | **بخش نخست: حساب تانسوری** |
| دوم | تعریف گروه و فضای برداری؛ علائم ایندکسی و قرارداد جمع؛ تعریف دستگاه مختصات منحنی (Curvilinear) |
| سوم | |
| چهارم | تعریف تانسور؛ مولفه‌های هموردا (Covariant) و پادوردا (Contravariant)؛ تعریف ضرب داخلی؛ بردارهای مختصات؛ تانسور متریک؛ تبدیل مختصات<br>تعریف ضرب خارجی؛<br>تعریف تانسورهای کارتزین و خصوصیات آنها به عنوان حالت خاص دستگاه مختصات منحنی |
| پنجم | محاسبه مشتق و انتگرال در دستگاه مختصات منحنی؛ نمادهای کریستوفل؛ مشتق هموردا؛ عملگرهای |
| ششم | دیورژانس و کرل؛ قضیه‌های انتگرال استوکس و گاوس |
| هفتم | **بخش دوم: مکانیک محیط پیوسته** |
| هشتم | |

| | |
|---|---|
| **نهم** | حرکت؛ مختصات لاگرانژی؛ مختصات اویلری؛ نرخ زمانی تغییرات بردار؛ تعریف سرعت؛ تعریف شتاب؛<br>خط جریان و خط مسیر؛<br>مشتق مادی؛ مشتق مادی المانهای منحنی، سطح، و حجم؛<br>سینماتیک انتگرال‌های خط، سطح و حجم |
| **دهم** | تعریف جرم؛ نقطه مادی؛ اندازه‌حرکت خطی؛ اندازه‌حرکت زاویه‌ای؛ انرژی؛ |
| **یازدهم** | کرنش؛ نرخ کرنش؛ تانسور تغییر شکل؛ نامتغیرهای کرنش؛ کرنش‌های اصلی؛ دوران؛ توصیف هندسی کرنش و دوران |
| **دوازدهم** | |
| **سیزدهم** | تنش، تانسور تنش؛ نیروهای داخلی و خارجی؛ اصول تعادل اندازه‌حرکت محلی؛ شرایط تغییر یکباره (Jump Conditions) در یک ناپیوستگی سطحی متحرک؛ کوادریک تنش کوشی؛ جهت‌های اصلی؛ تنش‌های اصلی |
| **چهاردهم** | |
| **پانزدهم** | اصول بنیادی مکانیک؛ معادلات حاکم بر سیالات نیوتونی و غیرنیوتنی؛ معادلات حالت؛ |
| **شانزدهم** | ترمودینامیک محیط پیوسته |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۵ | ٪۳۰ | ٪۶۵ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Flügge, Wilhelm. Tensor Analysis and Continuum Mechanics. Springer-Verlag (1972).
2. Eringen, A. Cemal, Mechanics of Continua, Huntington (1980).
3. Eringen, A. Cemal, Continuum Physics—Mathematics, Academic Press (1971).
4. Eringen, A. Cemal, Continuum Physics—Volume 2-Continuum Mechanics of Single-Substance Bodies, Academic Press (1975).
5. Aris, Rutherford. Vectors, Tensors and The Basic Equations of Fluid Mechanics. Courier Corporation (2012).
6. Lai, W. Michael, et al. Introduction to Continuum Mechanics. Butterworth-Heinemann (2009).
7. Ruderman, Michael S. Fluid Dynamics and Linear Elasticity. Springer International Publishing (2019).
8. Rossmann, Jenn Stroud, Clive L. Dym, and Lori Bassman. Introduction to Engineering Mechanics: A Continuum Approach. CRC Press (2015).

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: مکانیک محیط‌های پیوسته ۲</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>مکانیک محیط‌های پیوسته ۲</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:<br>تعداد واحد عملی:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>مکانیک محیط پیوسته<br>۱</td></tr>
<tr><td rowspan="3">تعداد ساعت:<br>۴۸</td></tr>
<tr><td rowspan="3">عنوان درس به انگلیسی:<br>Continuum Mechanics 2</td><td rowspan="2">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:<br>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳<br>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

مکانیک محیط پیوسته سرشاخه درس‌های اصلی دوره کارشناسی‌ارشد و دکتری است. اهداف این درس عبارتند از فراگیری حساب تانسوری به عنوان ابزار کار با معادلات حاکم، فراگیری مدل ریاضی محیط پیوسته سیالات و معادلات حاکم بر جریان سیال. در مکانیک محیط پیوسته ۲ مدل‌های ماده به سیالات غیرنیوتنی و مواد ویسکوالاستیک توسعه می‌یابد. این درس شامل ترمودینامیک محیط پیوسته و الکترودینامیک محیط پیوسته می‌باشد و همچنین تئوری الاستیسیته به عنوان یک ابزار محاسبه مواد جامد ارائه می‌شود.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | هندسه سطح‌های منحنی |
| **دوم** | معادلات حالت محیط پیوسته |
| **سوم** | |
| **چهارم** | |
| **پنجم** | ترمودینامیک محیط پیوسته |
| **ششم** | |
| **هفتم** | ویسکوالاستیسیته |
| **هشتم** | |
| **نهم** | |
| **دهم** | تئوری الاستیسیته |
| **یازدهم** | |
| **دوازدهم** | ترموالاستیسیته |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸
معاونت آموزشی

| | |
|---|---|
| **سیزدهم** | آیروترموالاستیسیته |
| **چهاردهم** | |
| **پانزدهم** | الکترودینامیک محیط پیوسته |
| **شانزدهم** | |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۵ | ٪۳۰ | ٪۶۵ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Flügge, Wilhelm. Tensor Analysis and Continuum Mechanics. Springer-Verlag (1972).
2. Eringen, A. Cemal, Mechanics of Continua, Huntington (1980).
3. Eringen, A. Cemal, Continuum Physics—Mathematics, Academic Press (1971).
4. Eringen, A. Cemal, Continuum Physics—Volume 2-Continuum Mechanics of Single-Substance Bodies, Academic Press (1975).
5. Aris, Rutherford. Vectors, Tensors and The Basic Equations of Fluid Mechanics. Courier Corporation (2012).
6. Lai, W. Michael, et al. Introduction to Continuum Mechanics. Butterworth-Heinemann (2009).
7. Ruderman, Michael S. Fluid Dynamics and Linear Elasticity. Springer International Publishing (2019).
8. Rossmann, Jenn Stroud, Clive L. Dym, and Lori Bassman. Introduction to Engineering Mechanics: A Continuum Approach. CRC Press (2015).



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۰۰۰)

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: آیروآکوستیک</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>آیروآکوستیک</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ریاضیات پیشرفته ۱، مکانیک سیالات پیشرفته</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Aeroacoustics</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی و توانایی محاسبه تولید و انتشار امواج صوتی در محیط‌های سیال و همچنین آشنایی مقدماتی با روش‌های اندازه‌گیری صوت به منظور استفاده در آکوستیک تجربی.

تشخیص منشا صوت آیرودینامیک و روش انتشار آن؛ توانایی اندازه‌گیری، تحلیل نتایج و تشخیص منبع یا منبع‌های اصلی ایجاد نویز؛ آشنایی با تئوری مکانیزم‌های تولید نویز صوتی.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| اول | **مقدمه‌ای بر آیرواکوستیک** |
| دوم | صدا و روش انتشار آن؛ اصول اولیه آکوستیک؛ امواج صوتی و سرعت صوت در گازها؛ معیار دسیبل، فشار، شدت و توان صوت؛ طیف صوت، جذب و میرایی صدا، تاثیر شرایط محیطی بر انتشار صدا؛ گوش انسان و روش عملکرد آن؛ قوانین و استانداردهای کنترل نویز؛ انتشار صوت در محیط‌های مختلف |
| سوم | **معادله موج آکوستیک و حل‌های ساده آن** |
| چهارم | مرور مختصر مکانیک سیالات؛ معادله غیرخطی موج؛ معادله خطی موج؛ حل معادله موج با تابع گرین؛ میدان‌های موج سه بُعدی ساده (موج تخت، موج‌های سطحی و موج‌های کروی) |

| | |
|---|---|
| پنجم | **بازتاب و انتقال:**<br>تابش عمودی؛ تابش مایل؛ انتقال از لایه یک سیال<br>**تشعشع صوت:**<br>تشعشع از کره مرتعش؛ منبع‌های صوت تک قطبی، دو قطبی، چهار قطبی؛ منبع خط پیوسته؛ تشعشع از یک پیستون مسطح دوار |
| ششم | **روش‌های اندازه‌گیری صوت** |
| هفتم | انواع میکروفن؛ تنظیم (کالیبراسیون) میکروفن؛ اندازه‌گیری شدت صوت؛ لوله امپدانس؛ فیلترهای صدا؛ تونل‌های باد آیرواکوستیکی |
| هشتم | **تشعشع صوت از جریان برشی آزاد و سطوح جامد:** |
| نهم | آنالوژی لایتهیل؛ معادلات فووکس ویلیامز-هاوکینگ؛ |
| دهم | **انتشار امواج خطی در محیط متحرک:** |
| یازدهم | معادلات اویلر خطی؛ خواص اصلی انتشار امواج در محیط متحرک؛ امواج صوتی، گردابه‌ای و آنتروپی؛ شکست صوت در جریان غیریکنواخت |
| دوازدهم | **آرایه‌های فازی (Phased Arrays) و تعیین موقعیت (Localization) منبع صدا** |
| سیزدهم | **صوت/نویز آیرودینامیکی:** |
| چهاردهم | |
| پانزدهم | نویز لایه مرزی؛ نویز جت زیرصوت؛ نویز ایرفویل؛ شوک در جریان مافوق صوت؛ صدای گردابه و ناشی از جریان مغشوش؛ صدای حاصل از برخورد سیال و اجسام جامد<br>**کابردها:**<br>صدای فن (دمنده)؛ انتشار صدا در کانال‌ها؛ نویز حاصل از توربوماشین‌ها؛ کاربردهای دیگر |
| شانزدهم | **مقدمه‌ای بر ناپایداری ترمواکوستیک** |

معاونت آموزشی

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۵ | ٪۳۰ | ٪۶۵ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

-

**منابع اصلی**


1. Glegg, Stewart, and William Devenport. Aeroacoustics of Low Mach Number Flows: Fundamentals, Analysis, and Measurement. Academic Press (2017).
2. Pierce, Allan D. Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications. Springer (2019).
3. Crighton, D. G. Modern Methods in Analytical Acoustics. SpringerVerlag (2004).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: کرایوژنیک</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>کرایوژنیک</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ترمودینامیک پیشرفته (هم-نیاز)</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">عنوان درس به انگلیسی:<br>Cryogenics</td><td rowspan="3">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="3">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳<br>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="7">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="7">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با انواع سیالات کرایوژنیک، رفتار مواد و خصوصیات آنها در دماهای بسیار پایین، تبرید کرایوژنیک، شناخت فرایند جداسازی گازها و خالص‌سازی آنها

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول و دوم** | مقدمه:<br>تعریف کرایوژنیک، بررسی خصوصیات سیالات کرایوژنیک نظیر اکسیژن، نیتروژن، آرگون، نئون، فلورین، هلیوم، هیدروژن، خصوصیات مواد در دماهای بسیار پایین، فوق هدایت (superconductivity) الکتریکی و گرمایی. |
| **سوم** | تبرید کرایوژنیک:<br>اصول و روش‌های دستیابی به دماهای بسیار پایین و تحلیل آنها: انبساط ژول-تامپسون، سیستم‌های تبرید |
| **چهارم** | گاز سرد، فرایندهای cascade، چرخه لیند-هامپسن، سیستم های کلاود، کرایوکولرهای استرلینگ، |
| **پنجم** | تبرید معناطیسی، سیستم‌های تبرید گیفورد، |
| **ششم** | اجزاء سیستم‌های کرایوژنیک: |
| **هفتم** | مبدل‌های حرارتی کرایوژنیک، کمپرسورها، توربواکسپندرها، روش‌های عایق‌سازی، تجهیزات ذخیره |
| **هشتم** | مایعات کرایوژنیک، تجهیزات انتقال مایعات کرایوژنیک |
| **نهم** | جداسازی و خالص‌سازی گازها: |
| **دهم** | گاز ایده‌آل، خصوصیات مخلوط گازها، اصول جداسازی گازها، شناخت فرایند تولید گازمایع و |
| **یازدهم** | جداسازی و خالص سازی متان، جداسازی و خالص‌سازی سایر هیدروکربن‌های سنگین از متان در فرایند |

| | |
|---|---|
| | مایع‌سازی گاز طبیعی، استخراج هلیوم در حین مایع‌سازی گاز طبیعی، خالص‌سازی و مایع‌سازی هلیوم |
| **دوازدهم** | ابزار اندازه‌گیری و ایمنی در کرایوژنیک: |
| **سیزدهم** | خصوصیات ابزار اندازه‌گیری، اندازه‌گیری فشار، جریان، سطح مایع، چگالی، دما، دبی در گستره کرایوژنیک، ایمنی در حین استفاده، ذخیره‌سازی و انتقال سیالات کرایوژنیک، شناخت مخاطرات و صدمات احتمالی در حین کار با سیالات کرایوژنیک مانند خفگی، سرمازدگی و هیپوترمی |
| **چهاردهم** | کاربرد: |
| **پانزدهم** | استفاده از مایعات کرایوژنیک در ابزارهای فوق‌هادی مانند دیودها، موتورها، تراسفورماتورها، استفاده در تکنولوژی فضایی، نگهداری مواد غذایی، نگهداری ارگان‌ها و بافت‌ها، پیش‌رانش هسته‌ای، پیش‌رانش شیمیایی، سرمایش آنی |
| **شانزدهم** | |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Flynn, Thomas. Cryogenic Engineering, Revised and Expanded. CRC Press (2004).
2. Atrey, Milind. Cryocoolers, Therory and Applications. Springer (2020).
3. Mukhopadhyay, Mamata. Fundamentals of Cryogenic Engineering. PHI Learning Pvt. Ltd. (2010).
4. Timmerhaus, Klaus D., and Thomas M. Flynn. Cryogenic Process Engineering. Springer Science & Business Media (2013).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: پردازش موازی و کاربردهای آن در CFD</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>پردازش موازی و کاربردهای آن در CFD</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>دینامیک سیالات<br>محاسباتی ۱</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Parallel Processing and Its Applications in CFD</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با روش‌های پردازش موازی و چگونگی استفاده از آن در CFD با هدف تسریع و بهینه‌سازی محاسبات رایانه‌ای

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه:<br>تشریح اهمیت روش‌های موازی‌سازی در حل مسایل حجیم و زمان‌بر مهندسی. |
| **دوم** | اصول پردازش موازی |
| **سوم** | معرفی اصطلاحات و تعاریف اولیه، رهیافت‌های مطرح در پردازش موازی، مزایا و معایب آنها |
| **چهارم** | اساس کار و ساختار ابررایانه‌ها و کلاسترها<br>معرفی سخت‌افزارها-نحوه ارتباط سخت‌افزارها و دسترسی به منابع سیستم پردازش‌موازی، آشنایی با ابرکامپیوترهای مطرح جهان و توان محاسباتی آنها، آشنایی با نحوه کار و برقراری ارتباط و نحوه استفاده از سیستم‌های پردازش موازی مطرح کشور |
| **پنجم** | |
| **ششم** | |
| **هفتم** | آشنایی با سیستم عامل لینوکس:<br>مروری بر توزیع‌های مطرح لینوکس و شناخت اجمالی لینوکس‌های پرکاربرد به عنوان سیستم عامل در پردازشگرهای موازی، آشنایی با دستورها و ابزارهای مهم لینوکس |
| **هشتم** | |
| **نهم** | |
| **دهم** | آشنایی با MPI و OpenMP: |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۷۰۰)

| | |
|---|---|
| **یازدهم** | معرفی کتابخانه‌ها و اساس کار آنها به همراه معرفی دستورات مهم و چگونگی استفاده از آنها در زبان-های برنامه‌نویسی |
| **دوازدهم** | اصول تهیه کد CFD موازی و مروری بر قابلیت پردازش موازی در نرم‌افزارهای مطرح: |
| **سیزدهم** | ملاحظات مربوط به الگوریتم حل، تجزیه دامنه محاسباتی، تبادل داده‌ها و جمع‌آوری داده‌ها، مرور |
| **چهاردهم** | روش‌های موازی‌سازی در نرم‌افزارهایی مانند OpenFOAM، Fluent و سایرنرم‌افزاهای مطرح، معیارهای بررسی کارایی و مقایسه عملکرد کدهای موازی |
| **پانزدهم** | پردازش گرافیکی: |
| **شانزدهم** | مبانی پردازش گرافیکی، چگونگی استفاده از پردازش گرافیکی در محاسبات علمی، معرفی اجمالی زبان‌های برنامه‌نویسی مبتنی بر پردازش گرافیکی |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۲۰ | ٪۳۰ | اختیاری | ٪۳۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1- Rajasekaran, Sanguthevar, and John Reif, eds. Handbook of Parallel Computing: Models, Algorithms and Applications. CRC press (2007).

2- Trobec, Roman, et al. Introduction to Parallel Computing: From Algorithms to Programming on State-of-Art Platforms. Springer (2018).

3- Cheng, John, Max Grossman, and Ty McKercher. Professional CUDA C Programming. John Wiley & Sons (2014).

4- Pacheco, Peter, and Matthew Malensek. An Introduction to Parallel Programming. Morgan Kaufmann (2021).



معاونت آموزشی

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: جریان‌های میکرو-نانو</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>جریان‌های میکرو-نانو</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Microflows and Nanoflows</td><td rowspan="5">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">الزامی</td><td rowspan="2">تخصصی</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد نظری:۳</td><td rowspan="2">اختیاری</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با جریان و انتقال حرارت در مقیاس میکرو و نانو-شناخت پارامترهای تأثیرگذار و نحوه ایجاد جریان- شناخت روش‌های تحلیل مربوط به این جریانات

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه و معادلات حاکم:<br>*مقدمه‌ای بر جریان‌های میکرو و نانو |
| **دوم** | *رژیم‌های جریانی در مقیاس میکرو<br>* مشخصه‌های جریان میکرونانو<br>* فرض پیوستگی، عدد نادسن |
| **سوم** | مدلسازی چندمقیاسی در جریان میکرو-نانو<br>• روش دینامیک مولکولی |
| **چهارم** | • روش شبیه‌سازی مونت کارلو<br>• روش شبکه بولتزمن<br>• روش SPH |
| **پنجم** | معادلات حاکم و مدل‌های لغزشی |
| **ششم** | *معادلات پایه در دینامیک سیال<br>*تراکم-پذیری<br>*روش مرتبه‌بالا |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۱۰۰)

| | |
|---|---|
| **هفتم** | جریان‌های برشی:<br>*جریان کوئت: رژیم جریان لغزشی |
| **هشتم** | *جریان کوئت: رژیم گذرا و مولکول آزاد<br>* جریان حفره |
| **نهم** | جریان‌های ایجاد شده در اثر گرادیان فشار<br>*رژیم جریان لغزشی |
| **دهم** | * رژیم گذرا و مولکول آزاد |
| **یازدهم** | انتقال حرارت در جریان‌های میکرو و نانو:<br>* انتقال حرارت در جریان پوازی میکرو |
| **دوازدهم** | * انتقال حرارت در جریان کوئت میکرو<br>* انتقال حرارت نانوسیال |
| **سیزدهم** | جریان‌های الکتروسینتیک<br>* مقدمه‌ای بر الکترودینامیک<br>*معادلات حاکم در جریان‌های الکتروسینتیک |
| **چهاردهم** | *جریان‌های الاکترواسمز<br>*الکتروفوریسس |
| **پانزدهم** | جریان‌های متاثر از کشش سطحی<br>*مفاهیم پایه و معادلات حاکم<br>*پمپاژ مویینگی حرارتی |
| **شانزدهم** | *مویینگی الکتریکی<br>*انتقال حباب در لوله‌های مویینه |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Karniadakis, George, Ali Beskok, and Narayan Aluru. Microflows and Nanoflows: Fundamentals and Simulation. Vol. 29. Springer Science & Business Media (2006).
2. Rudyak, Valery Ya, et al. Micro-and Nanoflows: Modeling and Experiments. Vol. 118. Springer (2018).
3. Tabeling, Patrick. Introduction to Microfluidics. Oxford University Press (2005).

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: موتورهای احتراق داخلی پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>موتورهای احتراق داخلی پیشرفته</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ترمودینامیک پیشرفته (هم-نیاز)</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Internal Combustion Engines</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با نحوه عملکرد موتورهای احتراق داخلی، سیکل‌های تولید توان در مورتور احتراق داخلی، ساختمان و اجزاء موتور، آلایندگی.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه‌ای بر موتورهای احتراق داخلی، انواع و فناوری‌ها |
| **دوم** | پیدایش موتور، موتور اتو و دیزل, موتور وانکل، طرز کار موتورها، معرفی قطعات موتور، معرفی صنعت طراحی و ساخت موتور (خودرویی، دریایی، کشاورزی، مولد برق و ...)، راهبرد صنعت موتورسازی در کشورهای صنعتی |
| **سوم** | طراحی موتور و متغیرهای مؤثر |
| **چهارم** | مشخصات هندسی موتور، اجزاء موتور، تخمین اولیه حجم موتور، موارد مورد استفاده برای قطعات مختلف، مقدمه‌ای بر روش‌های ساخت قطعات موتور |
| **پنجم** | مروری بر ترمودینامیک |
| **ششم** | فوانین اول و دوم ترمودینامیک، مشخصات سیال، توان و بازده، بازدهی اندیکاتوری و ترمزی |
| **هفتم** | سیکل‌های ایده‌آل تولید توان در مورتو احتراق داخلی: |
| **هشتم** | معرفی سیکل اتو و دیزل، سیکل میلر، سیکل ایده‌آل در موتورهای احتراق تراکمی همگن، درنظر گرفتن اتلافات و مقایسه با چرخه واقعی |

| | |
|---|---|
| **نهم** | احتراق در موتورهای اشتعال جرقه‌ای |
| **دهم** | چرخه واقعی در موتور، زمان لازم برای احتراق، اثر متغیرهای مختلف روی سرعت شعله، معرفی کوبش و اقرات آن، درجه‌بندی سوخت و کوبندگی، تفاوت موتورهای پایه گازسوز و موتورهای بنزینی، معرفی انواع موتورهای تزریق مستقیم |
| **یازدهم** | احتراق در موتورهای اشتعال تراکمی: |
| **دوازدهم** | فناوری-های پاشش سوخت، اثر متغیرهای مختلف موتوری، درجه‌بندی سوخت دیزل، اتاق احتراق، محاسبه کارایی موتور، احتراق غیرهمگن، مقایسه موتورهای دیزل طراحی شده برای خودروهای سنگین و سواری |
| **سیزدهم** | شکل‌گیری آلاینده و کنترل آلایندگی: |
| **چهاردهم** | معرفی انواع محدودیت‌ها و استانداردهای آلایندگی، نحوه تشکیل اکسیدهای نیتروژن، مونوکسیدکربن، هیدروکربن‌ها، ذرات معلق، صافی دود، اثرات محتویات و نوع سوخت بر تخریب تجهیزات آلایندگی، کنترل رایانه‌ای مورتو برای کاهش آلایندگی |
| **پانزدهم** | مدلسازی عملکرد موتور: |
| **شانزدهم** | آشنایی با کدهای احتراقی یک بعدی و سه‌بعدی، آشنایی با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی عملکرد موتورهای احتراق داخلی |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Heywood, John B. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Education (2018).
2. Pulkrabek, Willard W. Engineering Fundamentals of The Internal Combustion engine. Pearson Education (2004).


دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: جریان چندفاز در محیط متخلخل</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>جریان چندفاز در محیط متخلخل</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Multiphase Flow in Porous Media</td><td rowspan="5">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="5">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با خصوصیات جریان در محیط متخلخل، روابط حاکم و کاربرد جریان چندفازی در محیط متخلخل

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| اول | مقدمه: |
| دوم | مفاهیم اولیه، فرضیات حاکم و تشریح کاربردها با تیکه بر مخازن هیدروکربنی |
| سوم | خواص فیزیکی ماده متخلخل: |
| چهارم | تخلخل، تراوایی مطلق و نسبی، ترشوندگی، حجم نمونه پایه، مفهوم متوسط‌گیری، تراکم‌پذیری سنگ، ناهمگنی سنگ |
| پنجم | خواص فیزیکی سیالات چندفازی: |
| ششم | مفاهیم فاز و جزء، فشار مویینگی، لزجت، ترمودینامیک سیالات چندفاز-چندجزیی، تراکم‌پذیری، حل شوندگی اجزاءدر فازها، معادلات حالت برای سیالات هیدروکربنی، محاسبات فلاش، محاسبات پایداری فازها |
| هفتم | معادلات حاکم: |
| هشتم | مدل دارسی، مدل‌های غیردارسی، معادله بقای جرم برای اجزاء، مدل دو فاز، مدل سه فاز، فرمول‌بندی-های مختلف برای مدل نفت سیاه و مدل ترکیبی |
| نهم | نمونه‌هایی از حل تحلیلی یک بعدی معادلات |
| دهم | مفهوم کسر جریان، حل باکلی-لورت، حل جریان دوفاز گاز-نفت (بدون و با حل شدگی)، حل جریان دوفاز سیلابزنی پلیمری-نفت |

| | |
|---|---|
| **یازدهم** | روش‌های حل عددی: |
| **دوازدهم** | الگوریتم‌های مختلف حل عددی معادلات، کاربرد روش‌های اختلاف محدود و حجم محدود در مسایل مخزن |
| **سیزدهم** | نمونه‌هایی از حل مسایل مخزن: |
| **چهاردهم** | مسئله دوبعدی پنج‌چاهی (بدون و با گرانش)، جریان نفت سیاه یک‌بعدی، جریان ترکیبی یک‌بعدی |
| **پانزدهم** | مدلسازی مخازن ترکدار: |
| **شانزدهم** | انواع ترک، مدل تخلخل دوگانه، مدل تراوایی دوگانه، مدل‌های ترکیبی، مدلسازی ترک‌های مجزا |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Bear, Jacob. Dynamics of Fluids in Porous Media. Courier Corporation (2013).
2. Islam, M. Rafuqul, et al. Advanced Petroleum Reservoir Simulation: Towards Developing Reservoir Emulators. John Wiley & Sons (2016).
3. Islam, M. Rafiqul, Jamal Hussein Abou-Kassem, and S. M. Farouq-Ali. Petroleum Reservoir Simulation. Gulf Professional Publishing (2020).



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۷۰۰)

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: روش اجزاء محدود</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به فارسی:<br>روش اجزاء محدود</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ریاضیات پیشرفته ۱</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="3">عنوان درس به انگلیسی:<br>Finite Element Method</td><td rowspan="3">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="3">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳<br>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با روش المان محدود و کاربرد آن در حل معادلات جریان سیال.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مرور معادلات دینامیک سیالات و مقدمه ای بر روش المان محدود: |
| **دوم** | مرور معادلات حاکم بر دینامیک سیالات، میدان سرعت، نرخ کرنش و میدان تنش در مکانیک سیالات، معادلات اساسی سیالات، بقای جرم، بقای مومنتوم و تعادل دینامیکی، بقای انرژی و معادله حالت، |
| **سوم** | معادلات جریان لزج نیوتنی (ناویر-استوکس)، جریان تراکم‌ناپذیر و غیرلزج، تابع پتانسیل سرعت، معرفی تقریب المان محدود، حل‌های قوی و ضعیف، تقریب مانده‌های وزن‌شده، روش المان محدود گالرکین |
| **چهارم** | تقریب تفاضل محدود برای معادلات جابجایی-پخش: |
| **پنجم** | مساله جریان دائمی در یک بعد، روش پتروف-گالرکین برای اعمال upwinding در یک بعد، روش تغییری در یک بعد، تقریب کمینه مربعات گالرکین، جابجایی-پخش یک بعدی، تقریبات مرتبه بالا، |
| **ششم** | جریان دائمی چندبعدی، پایدارسازی به روش SUPG و GLS، مسایل گذرا و متدهای قابل استفاده در تقریب المان محدود، |
| **هفتم** | روش حل کلی معادلات جریان به روش المان محدود: |
| **هشتم** | الگوریتم Characterstic Based Split (گسسته‌سازی زمانی و مکانی، تمرکز جرم)، فرم‌های |
| **نهم** | صریح، نمیه ضمنی، و تقریبا ضمنی، تراکم پذیری مصنوعی در جریان دائمی و گذرا، خطاهای تقریب اجزاء محدود، شرایط مرزی (مرزهای حقیقی و مجازی)، الگوریتم‌های حل جریان‌های لزج و غیرلزج |
| **دهم** | حل جریان‌های تراکم‌ناپذیر نیوتنی به روش المان محدود: |

| | |
|---|---|
| **یازدهم** | فرمول‌بندی مختلط و پنالتی، آنالوژی با الاستیسیته تراکم‌ناپذیر، روش لاگرانژ، دقت و پایداری، اعمال ریزسازی تطبیقی شبکه در المان محدود |
| **دوازدهم** | حل جریان‌های همراه با سطح آزاد در روش المان محدود: |
| **سیزدهم** | فرمول‌بندی جریان‌های سطح آزاد، روش لاگرانژی، روش‌های اویلری، روش اویلری-لاگرانژی اختیاری برای تصویرسازی سطح آزاد، |
| **چهاردهم** | حل جریان‌های تراکم‌پذیر به روش المان محدود: |
| **پانزدهم** | فرم‌های مختلف بیان معادلات حاکم، شرایط مرزی، اعمال الگوریتم Characterstic Based Split در جریان تراکم‌پذیر، تسخیر شوک، هموارسازی متغیرها و روش‌های پایدارسازی، |
| **شانزدهم** | |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Reddy, Junuthula Narasimha, and David K. Gartling. The Finite Element Method in Heat Transfer and Fluid Dynamics. CRC press (2010).
2. Löhner, Rainald. Applied Computational Fluid Dynamics Techniques: An Introduction Based on Finite Element Methods. John Wiley & Sons (2008).
3. Zienkiewicz, Olek C., Robert L. Taylor, and Jian Z. Zhu. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Elsevier (2005).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: تبدیل مستقیم انرژی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>تبدیل مستقیم انرژی</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td colspan="2">پایه</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td rowspan="5">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Direct Energy Conversion</td><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>تعداد واحد عملی:</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>تعداد واحد نظری:۳</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>تعدا واحد عملی:</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="7">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

شناخت اصول و روش‌های مختلف تبدیل مستقیم فرم‌های مختلف انرژی و همچنین شناخت مزایا و معایب هرکدام از این روش‌ها.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه‌ای بر تکنولوژی‌های تبدیل انرژی: |
| **دوم** | مرور روش‌های تولید توان الکتریکی در نیروگاه، محدودیت‌های سیستم‌های فعلی تولید توان الکتریکی مانند محدودیت‌های ترمودینامیکی، متالورژیکی، زیست‌محیطی و محدودیت‌های سیستم‌های انتقال توزیع، معرفی مقدماتی انواع سیستم‌های تبدیل مستقیم |
| **سوم** | سلول‌های خورشیدی: |
| **چهارم** | انرژی فوتون، اصول حالت جامد، تئوری باند، نیمه‌هادی‌ها، تئوری فوتوولتائیک و شناخت انواع مختلف |
| **پنجم** | و نحوه عملکرد، معیارهای محاسبه کارایی و بهبود عملکرد این سلول‌ها، مواد سازنده سلول‌های خورشیدی، نیروگاه‌های خورشیدی به همراه روش‌های طراحی و معرفی اجزاء آنها، محدودیت‌های سیستم‌های فوتوولتائیک |
| **ششم** | پیل سوختی: |
| **هفتم** | اصول عملکرد پیل سوختی، روش تحلیل عملکرد، معرفی فاکتورهای سنجش عملکرد، شناخت انواع پیل |
| **هشتم** | سوختی شامل PEMFC، SOFC، AFC، MCFC، DMFC، PAFC و RFC، کاربردهای پیل سوختی و شناخت مزایا و معایب پیل سوختی |
| **نهم** | تولید توان مبتنی بر مگنتوهیدرودینامیک: |

| | |
|---|---|
| **دهم** | اصول عملکرد، مسایل طراحی از قبیل سرعت گاز، چگالی شار مغناطیسی، رسانش الکتریکی گاز، تحلیل عملکرد ترمودینامیکی، تحلیل الکتریکی، شناخت روش محاسبه کارایی، سیستم‌های سیکل باز و سیکل بسته، مزایا و محدودیت‌های تولید توان مبتنی بر مگنتوهیدرودینامیک. |
| **یازدهم** | |
| **دوازدهم** | تولید توان به روش ترموالکتریک<br>شناخت اصول عمکلرد سیستم‌های ترموالکتریک معرفی اثر سیبک، اثر پلتیه، اثر تامسون، اثر ژول، روابط کلوین، روش تحلیل عملکرد سیستم‌های ترموالکتریک، شناخت مواد مورد استفاده و نیمه‌هادی‌ها، کاربردهای ژنراتورهای ترموالکتریک و مزایا و محدودیت‌های آنها |
| **سیزدهم** | |
| **چهاردهم** | |
| **پانزدهم** | تولید توان ترمویونی:<br>شناخت اصول عملکرد ژنراتورهای ترمویونی، روش محاسبه کارایی، گستره کاربرد ژنراتور ترمویونی، محدویت‌های عملکردی |
| **شانزدهم** | |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Mitofsky, Andrea M., Direct Energy Conversion, Creative Commons Attribution (2018).
2. Brownson, Jeffrey RS., Solar Energy Conversion Systems. Academic Press (2013).
3. O'hayre, Ryan, et al. Fuel Cell Fundamentals. John Wiley & Sons (2016).
4. Goldsmid, H. Julian. Introduction to Thermoelectricity. Vol. 121. Berlin: Springer (2010).
5. Sutton, George W., and Arthur Sherman. Engineering Magnetohydrodynamics. Courier Dover Publications (2006).



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۳۰۰)

| سرفصل درس: ترمودینامیک آماری | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **عنوان درس به فارسی:** ترمودینامیک آماری | **تعداد واحد:** ۳ | **نوع واحد** | **تخصصی** | پایه | تعداد واحد نظری: | **دروس پیش‌نیاز:** ترمودینامیک پیشرفته |
| | | | | | تعداد واحد عملی: | |
| **عنوان درس به انگلیسی:** Statistical Thermodynamics | **تعداد ساعت** ۴۸ | | **الزامی** | | تعداد واحد نظری: | |
| | | | | | تعداد واحد عملی: | |
| | | | **اختیاری** | | تعداد واحد نظری:۳ | |
| | | | | | تعدا واحد عملی: | |
| **آموزش تکمیلی عملی:** ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ | | | | | | |
| **سال ارائه درس: سال اول به بعد** | | | | | | |

**اهداف درس:**

بررسی قوانین ترمودینامیک و خواص ترمودینامیکی از دیدگاه آماری.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | ساختار مکانیک آماری: |
| **دوم** | سیستم، مرزها و متغیرها، انرژی داخلی، کار و گرما، انتروپی، برگشت ناپذیری و بی نظمی، پتانسیل ترمودینامیکی، انرژی آزاد و انرژی مستهلک، پتانسیل شیمیایی، روابط مکسول، توابع پاسخ، آنتروپی بولتزمن و ارتباط با ریزمقیاس ها، محدودیت های ترمودینامیک |
| **سوم** | |
| **چهارم** | |
| **پنجم** | از مکانیک کلاسیک به مکانیک آماری: |
| **ششم** | ریزحالت ها، متغیرهای حالت، آنتروپی به عنوان ارتباط دهنده ماکرو و میکرو، نوسانات و مقدمات احتمال، تئوری لیوویل، تئوری بیرکهوف، اهمیت احتمال در مکانیک آماری |
| **هفتم** | |
| **هشتم** | مروری بر تئوری احتمال: |
| **نهم** | رخدادها، فضای نمونه و احتمال، ترکیب احتمالات و احتمال شرطی، احتمال گسسته، متغیرهای تصادفی و توزیع احتمال، نظریه حد مرکزی، توالع مشخصه، تابع توزیع احتمال، حد ترمودینامیکی، تحدب، انسامبل‌های کوانتومی |
| **دهم** | |
| **یازدهم** | سیستم های ایده آل: |
| **دوازدهم** | توزیع سرعت ماکسول، پارامغناطیس، مدل هارمونیک برای انرژی نوسانی، گازهای دو اتمی، فرمیون و بوزون، آمارهای فرمی-دیراک و بوزی-اینشتاین |
| **سیزدهم** | |

| | |
|---|---|
| **چهاردهم** | سیستم‌های دارای برهمکنش: |
| **پانزدهم** | معادله حالت، معادله حالت ویریال، معادله حالت واندروالس، پتانسیل چاه مثلثی، پتانسیل چاه ذوزنقه ای، پتانسیل ساترلند، پتانسیل لنارد–جونز |
| **شانزدهم** | |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Hill, Terrell L. An introduction to Statistical Thermodynamics. Courier Corporation (1986).
2. Luscombe, James H. Statistical Mechanics: From Thermodynamics to the Renormalization Group. CRC Press (2021).
3. Daily, John W. Statistical Thermodynamics: An Engineering Approach. Cambridge University Press (2018).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: انتقال حرارت در مقیاس میکرو و نانو</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>انتقال حرارت در مقیاس میکرو-نانو</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Micro-Nanoscale Heat Transfer</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

با توجه به پیشرفت سریع در زمینه MEMS، NEMS، تولید ریزتراشه‌ها و قطعات میکروالکترونیکی که عملکرد آنها در بسیاری از موارد با تولید حرارت همراه است، نیاز به شناخت اصول و توسعه روش‌های انتقال حرارت در ابعاد میکرو و نانو گسترش روزافزونی یافته است. لذا در این طرح درس سعی شده است که شناخت مدونی از انتقال حرارت در مقیاس میکرو و نانو بدست آید.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مروری بر علوم حرارتی در مقیاس ماکروسکوپیک |
| **دوم** | مروری بر ترمودینامیک (قوانین اول-دوم و سوم)، روابط ترمودینامیکی، معادلات حالت، مرور مکانیزهای انتقال حرارت (هدایت، جابجایی و تشعشع) از دید ماکروسکوپیک |
| **سوم** | مقدمات ترمودینامیک آماری و کوانتوم |
| **چهارم** | مکانیک آماری ذرات مستقل (حالت‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی، فضای فازی، توابع توزیع |
| **پنجم** | تعادلی)، قاونین ترمودینامیکی کار و انرژی و انتروپی، ضرایب لاگرانژ، گازهای ایده‌آل تک اتمی و دو اتمی و چنداتمی، توزیع سرعت ماکسول، انسامبل‌های آماری و نوسانات، مکانیک کوانتوم پایه، گسیل و جذب فوتون توسط مولکول‌ها و اتم‌ها، انرژی جرم و مومنتوم از منظر نسبیتی، |
| **ششم** | تئوری جنبشی و جریانات در مقیاس میکرو و نانو |
| **هفتم** | توصیف کینتیک گازهای رقیق، معادلات انتقال و خصوصیات گازهای ایده‌آل (پخش گرما و جرم و |
| **هشتم** | نیروهای بین مولکولی)، معادله انتقال بولتزمن، جریان و انتقال حرارت در مقیاس میکرو و نانو (عدد |

| | |
|---|---|
| | نادسن و رژیم‌های جریان، لغزش سرعت و پرش دما، هدایت حرارتی گاز در رژیم مولکولی آزاد) |
| **نهم** | خصوصیات حرارتی جامدات |
| **دهم** | گرمای ویژه در جامدات، اثر اندازه کوانتومی بر گرمای ویژه، هدایت حرارتی و الکتریکی جامدات، ترموالکتریسیته |
| **یازدهم** | |
| **دوازدهم** | انتقال الکترون و فونون |
| **سیزدهم** | اثر هال، طبقه‌بندی کلاسیک جامدات، ساختارهای بلوری، ساختارهای باند الکترونیک، پراکندگی فونون، گسیل الکترون، انتقال الکتریکی در نیمه‌هادی‌ها |
| **چهاردهم** | |
| **پانزدهم** | انتقال غیرتعادلی انرژی در نانوساختارها |
| **شانزدهم** | نظریه‌های پدیده‌شناختی (هدایت حرارتی هذلولوی، مدل تاخیر فاز دوگانه، مدل دو دما)، هدایت حرارتی در عرض ساختارهای لایه‌ای، رژیم‌های هدایت حرارتی |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Zhang, Zhuomin M., Zhuomin M. Zhang, and Luby, Nano/Microscale Heat Transfer. Vol. 410, McGraw-Hill (2020).
2. Shen, Ching, Rarefied Gas Dynamics: Fundamentals, Simulations and Microflows. Springer Science & Business Media (2006).



دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: مکانیک سیالات زیستی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>مکانیک سیالات زیستی</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td rowspan="2" colspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Biofluid Mechanics</td><td rowspan="5">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="5">تخصصی</td><td rowspan="5">الزامی</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد نظری:۳</td><td rowspan="2">اختیاری</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

این درس کاربرد اصول مکانیک سیالات را در سیستم های کارکردی اعضای داخلی بدن بررسی می نماید. در این درس، پدیده‌های مربوط به جریان مایعات طبیعی بدن از دید مهندسی مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین در بخشی از این درس سیستم های جریان سیال در مقیاس میکرو (microfluidic systems) که دارای کاربردهای زیستی هستند، معرفی و بررسی می گردند.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مروری بر مکانیک سیالات |
| **دوم** | رئولوژی |
| **سوم** | معادلات اساسی، مدل های سیالات غیر نیوتنی |
| **چهارم** | سیستم گردش خون، رئولوژی خون |
| **پنجم** | فیزیولوژی و عملکرد سیستم گردش خون – گردش خون در قلب- عروق لنفاوی –خصوصیات |
| **ششم** | غیرنیوتنی خون |
| **هفتم** | مدل های گردش جریان خون: جریان پایدار در مجاری، جریان های ضربانی در مجاری صلب – جریان های ضربانی در مجاری انعطاف پذیر (الاستیک)- انتشار موج در مجاری الاستیک<br>کاربرد اصول مکانیک سیالات در سیستم گردش خون: دینامیک جریان خون در سرخرگ ها و سیاهرگ ها، دینامیک جریان خون در دریچه‌های قلب، جریان خون در حالت انقباض و اتساع عروق |
| **هشتم** | مایعات مفصلی: فیزیولوژی مفاصل، کارکرد مایعات مفصلی، رئولوژی مایعات مفصلی، استفاده از تئوری |
| **نهم** | روغن کاری برای بررسی حرکت مایعات مفصلی |
| **دهم** | مکانیک سیالات زیستی در دستگاه تنفسی: فیزیولوژی سیستم تنفسی، جریان هوا در ریه‌ها، بررسی |

| | |
|---|---|
| **یازدهم** | فرایند تنفس از دید مکانیک سیالات، تبادلات گازی در ریه‌ها، آشنایی با کارکرد دستگاه‌های تنفس مصنوعی، نشست ذرات در ریه‌ها |
| **دوازدهم سیزدهم** | جریان سیال در کلیه-کارکرد دستگاه همودیالیز-معرفی فرایند سنگ‌شکنی کلیه- برهم‌کنش شوک و حباب در فرایند سنگ‌شکنی |
| **چهاردهم** | کاربردهای دینامیک سیالات محاسباتی در شبیه سازی جریان سیالات زیستی – روش‌های شبیه‌سازی جریان‌های زیستی |
| **پانزدهم** | آشنایی با سیستم های سیالاتی در مقیاس میکرو و بررسی کاربردهای زیستی و بیولوژیک آنها، بررسی روش‌های ساخت ابزارهای مایکروفلوییدیک |
| **شانزدهم** | تکنیک های اندازه‌گیری سرعت و فشار در جریان مایعات زیستی |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | اختیاری | ٪۵۰ | اختیاری | ٪۳۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Ethier, C. Ross, and Craig A. Simmons, Introductory Biomechanics: From Cells to Organisms. Cambridge University Press (2007).
2. Kleinstreuer, Clement, Biofluid Dynamics: Principles and Selected Applications. CRC Press (2006).
3. Waite, Lee, and Jerry Fine. Applied Biofluid Mechanics. McGraw-Hill Education (2007).
4. Ostadfar, Ali. Biofluid Mechanics: Principles and Applications. Academic Press (2016).
5. Mazumdar, Jagannath. Biofluid Mechanics. World Scientific (2015).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: انتقال و پخش ذرات</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به فارسی:<br>انتقال و پخش ذرات</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="5">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="5">دروس پیش‌نیاز:<br>مکانیک سیالات<br>پیشرفته (هم-نیاز)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به انگلیسی:<br>Aerosol Transport</td><td colspan="5">تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

شناخت مبانی جریان‌های گاز همراه با ذرات، شناخت خصوصیات و رفتار ذرات معلق، آشنایی با روش‌های جداسازی ذرات معلق از جریان.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه:<br>تعاریف، اندازه ذرات، شکل و چگالی، غلظت ذرات |
| **دوم** | خصوصیات گازها:<br>انرژی جنبشی گاز، سرعت مولکولی، طول متوسط پویش آزاد مولکولی، عدد رینولدز، محاسبه سرعت و دبی و فشار |
| **سوم**<br>**چهارم** | حرکت یکنواخت ذرات<br>قانون نیوتن، قانون استوکس، سرعت ته‌نشینی ذرات، فاکتور لغزش، ذرات غیرکروی، قطر ایرودینامیکی، ته‌نشینی در اعداد رینولدز بالا، |
| **پنجم**<br>**ششم** | توزیع آماری اندازه ذرات:<br>توزیع اندازه ذرات، متوسط ممان، توزیع ممان، توزیع لگاریتمی-نرمال ( lognormal)، معادله هچ-کوئیت ( Hatch-Choate ) |
| **هفتم**<br>**هشتم** | حرکت و چسبندگی ذرات<br>زمان آسایش، فاصله توقف، حرکت منحنی‌الخط و ضریب استوکس، نیروهای چسبندگی، جداسازی ذرات |
| **نهم** | حرکت براونی و پخش |

| | |
|---|---|
| **دهم** | ضریب پخش، طول متوسط پویش ذره، جابجایی براونی، نیروهای وارد بر ذره، ردیابی ذرات، اتتقال و جذب اینرسیال |
| **یازدهم دوازدهم** | بررسی عملکرد سایکلون‌ها، فیلترهای غشایی، فیلترهای الکترواستاتیک، بررسی جریان گاز طبیعی همراه با ذرات معلق درون خطوط لوله، روش‌های جداسازی ذرات از جریان گاز |
| **سیزدهم چهاردهم** | تقطیر و تبخیر ذرات<br>اثر کلوین، هسته‌زایی همگن، چگالش هسته‌ای، تبخیر |
| **پانزدهم شانزدهم** | روش‌های مدلسازی و شبیه‌سازی جریان همراه با ذرات معلق و کاربرد آن در شبیه‌سازی آلودگی ناشی از ذرات معلق |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | اختیاری | ٪۵۰ | اختیاری | ٪۳۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Hinds, William C. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. John Wiley & Sons (1999).
2. Colbeck, I., and Mihalis Lazaridis. Aerosol Science. Wiley Online Library (2014).
3. Williams, Michael Maurice Rudolph, and Sudarshan K. Loyalka, Aerosol Science: Theory and Practice, Pergamon Press (1991).



دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۰۰۰)

| سرفصل درس: جریان‌های لزج | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **عنوان درس به فارسی:** جریان‌های لزج | **تعداد واحد:** ۳ | **نوع واحد** | پایه | | تعداد واحد نظری: | **دروس پیش‌نیاز:** ندارد |
| | | | | | تعداد واحد عملی: | |
| **عنوان درس به انگلیسی:** Viscous Flow | **تعداد ساعت** ۴۸ | | **الزامی** | **تخصصی** | تعداد واحد نظری: | |
| | | | | | تعداد واحد عملی: | |
| | | | **اختیاری** | | تعداد واحد نظری:۳ | |
| | | | | | تعدا واحد عملی: | |
| **آموزش تکمیلی عملی:** ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ | | | | | | |
| **سال ارائه درس: سال اول به بعد** | | | | | | |

**اهداف درس:**

معرفی حل‌های دقیق از جریان لزج، کاربردهای جریان لزج، پدیده‌های مربوط به جریان لزج مانند لایه مرزی و ناپایداری

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | معرفی مفاهیم اساسی جریان لزج و شناخت لزجت و اثرات آن با ذکر چند نمونه |
| **دوم** | سینماتیک جریان سیال<br>فرضیه محیط پیوسته و معیارها، رویکرد اویلری لاگرانژی، انواع حرکت در جابجایی ذره سیال |
| **سوم**<br>**چهارم** | معادلات اساسی<br>تئوری انتقال رینولدز، معادلات بقای جرم و مومنتوم و انرژی، معادله مشخصه سیال نیوتنی، معادلات ناویر-استوکس، معادله بقای مومنتوم از دید ناظر لخت و غیرلخت |
| **پنجم**<br>**ششم**<br>**هفتم** | حل‌های تحلیلی معادله ناویر-استوکس<br>دسته‌بندی حل-های تحلیلی معادلات ناویر-استوکس، جریان‌های موازی، جریان‌های ناپایا، جریان همراه با دمش و مکش، جریان ژئوفیزیکی، حل‌های تشابهی در جریان سیالات |
| **هشتم**<br>**نهم** | جریان خزشی<br>تشریح نحوه ساده‌سازی معادلات حاکم بر جریان در تقریب خزشی، ارایه حل های تحلیلی از معادلات حاکم بر جریان خزشی مانند حل مفات، جریان خزشی در گوشه (حل دین و مونتاگنون)، جریان فشاری (Squeezing Flow) بین دو دیسک نزدیک شونده و غیره، تشریح پارادوکس استوکس و معرفی تقریبات اصلاح شده برای جریان خزشی مانند تقریب اوسین (Oseen's approximation) |
| **دهم**<br>**یازدهم** | تقریب روغنکاری<br>تشریح نحوه ساده‌سازی معادلات حاکم بر جریان در تقریب روغنکاری و بررسی نحوه به کارگیری این |

| | |
|---|---|
| | تقریب در یاتاقان‌های ژورنال و یاتاقان‌های لغزشی |
| **دوازدهم**<br>**سیزدهم**<br>**چهاردهم** | لایه‌های مرزی<br>معرفی تقریب لایه مرزی، لایه مرزی روی صفحه تخت، لایه مرزی اجسام ضخیم، حل فالکنر-اسکن، حل پل‌هاوزن و پیش‌بینی محل جدایش، لایه‌های برشی، لایه‌های مرزی سه بعدی |
| **پانزدهم**<br>**شانزدهم** | ناپایداری<br>مفهوم ناپایداری در اعمال اغتشاشات کوچک، روش مدهای نرمال، ناپایداری کلوین-هلمهولتز، معادله Orr-Sommerfeld، پایداری جریان‌های غیرلزج و موازی، معرفی مقدماتی تئوری ناپایداری غیرخطی، گذرش |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | اختیاری | ٪۵۰ | اختیاری | ٪۳۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. White, Frank M., and Joseph Majdalani. Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill (2021).
2. Panton, Ronald L. Incompressible Flow. John Wiley & Sons (2013).
3. Currie, Iain G. Fundamental Mechanics of Fluids. CRC press (2016).
4. Graebel, William. Advanced Fluid Mechanics. Academic Press (2007).
5. Kundu, Pijush K, Ira M. Cohen, and David R. Dowling. Fluid Mechanics. Academic press (2015).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: ریاضیات پیشرفته ۱</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>ریاضیات پیشرفته ۱</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Engineering Mathematics I</td><td rowspan="4">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با مباحث پیشرفته ریاضی مهندسی

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| اول | • آنالیز اعداد مختلط |
| دوم | o بررسی توابع مختلط |
| سوم | o انتگرال گیری مختلط |
| چهارم | o سری های توانی<br>o انتگرال گیری به روش مانده ها |
| پنجم | • جبر خطی |
| ششم | o بررسی ماتریس دترمینان و بردار<br>o مسایل مقدار ویژه |
| هفتم | • معادلات دیفرانسیل ODE<br>o یادآوری |
| هشتم | o سیستم معادلات دیفرانسیل<br>o توابع بسل لژاندر گاما هرمیت گاوس |
| نهم | • معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزیی |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

| | |
|---|---|
| **دهم** | |
| **یازدهم** | |
| **دوازدهم** | |
| **سیزدهم** | • تبدیلات انتگرالی و کاربرد آن ها در حل PDE ها<br>o مسایل اشتورم لیوویل |
| **چهاردهم** | o توابع متعامد<br>o تبدیل لاپلاس فوریه و ملین |
| **پانزدهم** | • توابع انتگرالی<br>o انتگرال های گرین و کرنل |
| **شانزدهم** | • حساب تغییرات |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۳۵ | ٪۵ | ٪۵۵ | اختیاری | ٪۵ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Kreyszig, Erwin. Advanced Engineering Mathematics, 10th eddition, Wiley (2009).
2. Pinchover, Yehuda, and Jacob Rubinstein. An Introduction to Partial Differential Equations. Cambridge University Press (2005).

<table>
<tr><td colspan="7">سرفصل درس: ترمودینامیک پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>ترمودینامیک پیشرفته</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Thermodynamics</td><td rowspan="5">تعداد ساعت:<br>۴۸</td><td rowspan="5">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td><td rowspan="2">اختیاری</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد نظری: ۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با مباحث و مفاهیم پیشرفته ترمودینامیک و کسب توانایی در تحلیل اگزرژی سیکل‌ها و فرآیندهای ترمودینامیکی، بهینه سازی در ترمودینامیک و روابط ترمودینامیکی.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مروری بر ترمودینامیک کلاسیک، |
| **دوم** | یادآوری تعاریف پایه در محیط پیوسته، معرفی سیستم و محیط، سیستم‌های باز، بسته و ایزوله. توابع مستقل از مسیر و توابع وابسته به مسیر. |
| **سوم** | بیان قانون صفرم و سوم ترمودینامیک و اثبات آنها |
| **چهارم** | تشریح قانون اول و دوم ترمودینامیک و اثبات آنها برای انواع سیستم‌ها |
| **پنجم** | ارائه اثبات قانون دوم برای سیتمهای شامل چند منبع |
| **ششم** | - قانون دوم برای سیستم‌های باز و بسته<br>- تعادل ترمودینامیکی<br>- تئوری کراتئودوریک در بیشینه انتروپی و کمینه انرژی<br>اثبات قوانین و به‌کارگیری مفهوم فرایندهای امکان‌پذیر ترمودینامیکی |
| **هفتم** | تحلیل اگزرژی و محاسبه تولید انتروپی در سیکل‌ها و فرایندها |
| **هشتم** | معرفی اگزرژی غیرجریانی و فیزیکی و معرفی اگزرژی جریانی و چرخه اگزرژی سیکل‌ها |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۲۰۰)

| | |
|---|---|
| **نهم** | - تولید انتروپی و تخریب اگزرژی<br>- مفهوم بازگشت‌پذیری در فرایندهای ترمودینامیکی و سیستم‌های باز و بسته<br>- مکانیزم تولید انتروپی در انواع پدیده ها و فرایندها |
| **دهم** | مقدمه‌ای بر بهینه‌سازی به روش ریاضی |
| **یازدهم** | بهینه‌سازی سیکل‌های ترمودینامیکی<br>- سیکل‌های تولید توان:<br>- بازگشت ناپذیری و تخریب اگزرژی در سیکل‌های نیروگاهی، نیروگاه‌های بخار و گاز پیشرفته و سیکل‌های ترکیبی.<br>- سیکل‌های تبرید:<br>- اثر ژول تامسون و مفهوم تخریب اگزرژی در سیکل‌های سرمایش<br>- کمینه کردن تولید انتروپی<br>بهینه سازی فرایندها به روش کمینه کردن تولید انتروپی در انتقال حرارت و بازگشت‌ناپذیری ناشی از آن و در مبدل‌های حرارتی و سیستم‌های ذخیره سازی انرژی و... |
| **دوازدهم** | |
| **سیزدهم** | |
| **چهاردهم** | |
| **پانزدهم** | روابط ترمودینامیکی:<br>- روابط ماکسول، کلاسیوس- کلاپیرون، معادلات گیبس، تغییر فاز، انواع تعادل و ناپایداری، معادلات حالت و... |
| **شانزدهم** | |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Bejan, Adrian. Advanced Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons (2016).
2. Winterbone, Desmond, and Ali Turan. Advanced Thermodynamics For Engineers. Butterworth-Heinemann (2015).
3. Moran, Michael J., et al. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons (2010).
4. Callen, Herbert B. Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics. John Wiley & Sons (1988).
5. Hsieh, Jui Sheng. Principles of Thermodynamics. McGraw-Hill Kogakusha (1975).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: مکانیک سیالات پیشرفته</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>مکانیک سیالات پیشرفته</td><td>تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Advanced Fluid Mechanics</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی با مباحث تکمیلی مکانیک سیالات و کسب توانایی در تحلیل دیفرانسیلی جریان سیال، آشنایی با معادلات حاکم بر جریان در حالت کلی، کسب معلومات مورد نیاز در به‌کارگیری تقریبات مختلف از معادلات حاکم بر جریان.

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مرور مقدماتی جبر تانسوری، بیان معادلات در فرم اندیسی |
| **دوم** | استخراج معادلات حاکم بر حرکت سیال در حالت کلی با به کارگیری فرضیه محیط پیوسته، تحلیل سینماتیک جریان، مرور رهیافت اویلری و لاگرانژی و قضیه انتقال رینولدز، معرفی معادلات اساسی و |
| **سوم** | معادلات حالت پرکاربرد، استخراج معادلات ناویر-استوکس به عنوان معادلات حاکم بر جریان سیالات نیوتنی |
| **چهارم** | ارایه حل‌های دقیق پرکاربرد از معادلات ناویر-استوکس در مسایلی مانند جریان پوازی، جریان کوئت، |
| **پنجم** | جریان کوئت دورانی، مساله اول و دوم استوکس، جریان نقطه سکون، جریان پیچشی فون کارمن، جریان |
| **ششم** | ضربانی، جریان در کانالهای همگرا-واگرا، جریان اطراف حباب نوسانی و معادله رایلی-پلسه، جریان یکنواخت روی سطح متخلخل |
| **هفتم** | تشریح نحوه ساده‌سازی معادلات حاکم بر جریان در تقریب خزشی، دستیابی به معادله Biharmonic، |
| **هشتم** | ارایه حل‌های تحلیلی از معادلات حاکم بر جریان خزشی مانند حل مفات، جریان خزشی در گوشه (حل دین و مونتاگنون)، جریان فشاری ( Squeezing Flow) بین دو دیسک نزدیک شونده و غیره، تشریح |
| **نهم** | پارادوکس استوکس و معرفی تقریبات اصلاح شده برای جریان خزشی مانند تقریب اوسین ( Oseen's approximation) |

| | |
|---|---|
| **دهم** | تشریح نحوه ساده‌سازی معادلات حاکم بر جریان در تقریب روغنکاری و بررسی نحوه به کارگیری این تقریب در یاتاقان‌های ژورنال و یاتاقان‌های لغزشی |
| **یازدهم**<br>**دوازدهم**<br>**سیزدهم** | تشریح فرضیات اساسی در تقریب لایه مرزی، به دست آوردن معادلات حاکم بر لایه مرزی از معادلات ناویر-استوکس، تبدیل فالکنر-اسکن و حل‌های تحلیلی لایه مرزی همراه با گرادیان فشار مانند لایه مرزی روی سطح شیبدار، لایه مرزی در جریان نقطه سکون و لایه مرزی در کانال‌های همگرا، روش حل تقریبی لایه مرزی مانند روش مومنتوم-انتگرال فون کارمن، معرفی روش‌های پیش‌بینی جدایش لایه مرزی مانند روش کارمن-پل‌هاوزن و روش تویتس، معرفی اجمالی تحلیل پایداری خطی لایه مرزی |
| **چهاردهم**<br>**پانزدهم**<br>**شانزدهم** | تشریح تقریب پتانسیل و بررسی شرایط لازم جهت اعمال این تقریب، معرفی تابع پتانسیل مختلط و تشریح ارتباط تابع پتانسیل و تابع جریان، بررسی تابع پتانسیل مختلط جریان های ساده و بررسی جریان های پتانسیل ترکیبی، انتگرال بلازیوس، معرفی نگاشت های همدیس و کاربرد آنها در تحلیل جریان پتانسیل حول ایرفویل، شرط کوتا |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۲۰ | ٪۳۰ | ٪۵۰ | اختیاری | اختیاری |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. White, Frank M., and Joseph Majdalani. Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill (2021).
2. Panton, Ronald L. Incompressible Flow. John Wiley & Sons (2013).
3. Currie, Iain G. Fundamental Mechanics of Fluids. CRC Press (2016).
4. Graebel, William. Advanced Fluid Mechanics. Academic Press (2007).
5. Kundu, Pijush K, Ira M. Cohen, and David R. Dowling. Fluid Mechanics. Academic Press (2015).

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: انتقال حرارت جابه‌جایی</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>انتقال حرارت جابه‌جایی</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۳</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="4">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Convection Heat Transfer</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۴۸</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۳</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ■ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

آشنایی عمیق با مفاهیم انتقال حرارت جابجایی، آشنایی با معادلات حاکم و کسب توانایی در تحلیل مسائل مختلف با روش‌های آنالیز مقیاس، تشابهی و انتگرالی، کسب مهارت مورد نیاز در به‌کارگیری تقریب‌های مناسب مهندسی در ساده کردن معادلات حاکم.

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول و دوم** | **قوانین اساسی**: معرفی قوانین بقای جرم، ممنتم و انرژی، معرفی روابط ساختاری شامل رابطه حاکم بر سیال نیوتنی و رابطه فوریه، معرفی معادلات حالت، بدست آوردن شکل دیفرانسیلی معادلات حاکم بر جابه‌جایی اجباری با فرض جریان آرام شامل معادلات بقای جرم، بقای ممنتم (معادله نویر-استوکس با فرض سیال نیوتنی) و قانون اول ترمودینامیک (بقای انرژی)، قانون دوم ترمودینامیک، معرفی روش آنالیز مقیاس و قوانین آن، معادلات حاکم در مختصات استوانه‌ای و کروی |

| | |
|---|---|
| سوم، چهارم، پنجم و ششم | **جریان لایه مرزی لامینار:** تشریح فرضیات اساسی در تقریب لایه مرزی، بدست آوردن معادلات حاکم بر لایه مرزی از معادلات ناویر-استوکس، استفاده از آنالیز مقیاس در حل جریان آرام لایه مرزی روی صفحه تخت نیمه بینهایت برای اعداد پراندل بزرگ و کوچک، حل دقیق جریان روی صفحه نیمه بینهایت با شرط مرزی دمای سطح ثابت و فرض لایه مرزی: حل بلازیوس در میدان سرعت و حل پلهاوزن در میدان دما، روش حل تقریبی انتگرالی در حل لایه مرزی، مقایسه مزایا و معایب روش‌های انتگرالی و دیفرانسیلی، استخراج شکل انتگرالی معادلات بقا، مراحل کار در حل انتگرالی، حل دقیق تشابهی جریان روی صفحه نیمه بینهایت با شرط مرزی دمای سطح ثابت و فرض لایه مرزی: حل بلازیوس در میدان سرعت و حل پلهاوزن در میدان دما، استفاده از فرض لایه مرزی و روش تشابهی در حل جریان خارجی روی صفحه نیمه بینهایت با شرط مرزی دمای سطح متغیر،حل انتگرالی جریان آرام روی صفحه تخت با شرط مرزی دمای سطح ثابت و شرط مرزی شار حرارتی ثابت و در حالت دهش و مکش جریان عمود بر سطح، اثر گرادیان فشار طولی: جریان روی گوه |
| هفتم، هشتم و نهم | **انتقال حرارت در جریان آرام داخلی:** مفاهیم جریان توسعه یافته و در حال توسعه، طول ورودی هیدرولیکی و حرارتی، استفاده از آنالیز اسکیل و روش انتگرالی در بدست آوردن طول ورودی در جریان آرام داخلی با فرض لایه مرزی، تعریف سرعت و دمای میانگین، ارائه مبانی توسعه یافتگی در میدان سرعت و حرارت، اثبات مستقل بودن عدد ناسلت در جریان آرام توسعه یافته، حل معادلات لایه مرزی درون لوله در حالت جریان توسعه یافته و بدست آوردن عدد ناسلت در شرایط مرزی دمای سطح ثابت، شار حرارتی سطح ثابت و حالتی که لوله توسط یک سیال دما ثابت احاطه شده است برای دو حالت عدد پراندل کوچک و بزرگ، جریان توسعه یافته در مجاری غیر دوار، حل معادلات لایه مرزی در حالت جریان توسعه نیافته حرارتی در ناحیه ورودی (حل گرائتز Graetz) |
| دهم، یازدهم و دوازدهم | **انتقال حرارت جابجایی آزاد:** انتقال حرارت جابجایی طبیعی و شرایط لازم برای ایجاد آن، معادلات حاکم و شرایط مرزی، اعداد بدون بعد گراشف، رایلی و بوزینسک، بررسی مفهوم فیزیکی و هندسی و میزان اهمیت هر یک به کمک آنالیز مقیاس، تفاوت شکل لایه مرزی در جابجایی اجباری و طبیعی، حل معادله جریان جابجایی طبیعی روی صفحه تخت عمودی با شرط دمای سطح ثابت به کمک روش تشابهی و روش انتگرالی، انتقال حرارت جابجایی طبیعی با رقیق شدن هوا ، انتقال حرارت مخلوط جابجایی طبیعی و اجباری |
| سیزدهم | **گذر جریان لامینار به جریان مغشوش:** روابط تجربی گذر به حالت توربولان، قوانین مقیاس در حالت گذر، کمانش جریان غیر ویسکوز، معیار عدد رینولدز موضعی برای گذر، گذر در حالت انتقال حرارت جابجایی روی دیواره عمودی |

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی کد (۷۰۰)

| | |
|---|---|
| **چهاردهم و پانزدهم** | **انتقال حرارت جابجایی در جریان لایه مرزی مغشوش**: ساختار مقیاس بزرگ، معادلات متوسط زمانی توربولان، معادلات لایه مرزی، مدل طول مخلوط شونده، توزیع سرعت، اصطکاک دیواره در لایه مرزی توربولان، انتقال حرارت در جریان لایه مرزی توربولان، تئوری انتقال حرارت در جریان لایه مرزی توربولان، انتقال حرارت کنوکسیون آزاد روی دیواره عمودی |
| **شانزدهم** | **انتقال حرارت با تغییر فاز:** جوشش استخری و رژیمهای مختلف آن، جوشش جریانی، تقطیر لامینار و توربولان فیلمی، تقطیر قطره ای |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| ٪۳۰ | ندارد | ٪۵۰ | ندارد | ٪۲۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی:**


1. Bejan, Adrian. Convection Heat Transfer. John wiley & sons (2013).
2. Jiji, Latif M. Heat Convection. Springer Science & Business Media (2009).
3. Kays, William Morrow. Convective Heat And Mass Transfer. McGraw-Hill Education (2012).



دانشگاه شهید بهشتی
۱۳۳۸
معاونت آموزشی
کد (۰۰۰)

<table>
<tr><td colspan="8">سرفصل درس: سمینار و روش تحقیق</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:<br>سمینار و روش تحقیق</td><td rowspan="2">تعداد واحد:<br>۲</td><td rowspan="2">نوع واحد</td><td colspan="2" rowspan="2">پایه</td><td>تعداد واحد نظری:</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:<br>ندارد</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="4">عنوان درس به انگلیسی:<br>Research Methodology and Seminar</td><td rowspan="4">تعداد ساعت<br>۳۲</td><td rowspan="4">تخصصی</td><td rowspan="2">الزامی</td><td>تعداد واحد نظری:</td></tr>
<tr><td>تعداد واحد عملی:</td></tr>
<tr><td rowspan="2">اختیاری</td><td>تعداد واحد نظری:۲</td></tr>
<tr><td>تعدا واحد عملی:</td></tr>
<tr><td colspan="6">آموزش تکمیلی عملی: ☐ دارد ☒ ندارد<br>سفر علمی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☒</td></tr>
<tr><td colspan="6">سال ارائه درس: سال اول به بعد</td></tr>
</table>

**اهداف درس:**

کسب آشنایی با روش‌های تحقیق و تهیه گزارش و ارائه علمی و فنی، جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی، کسب آمادگی لازم جهت انجام همکاری علمی و ارزیابی فعالیت‌های پژوهشی.

دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۳۸ معاونت آموزشی

**سرفصل درس:**

| هفته | سرفصل |
|---|---|
| **اول** | مقدمه: اصول روش تحقیق، مدیریت تحقیق؛ برنامه‌ریزی پژوهشی و تهیه نمودار گانت |
| **دوم** | معرفی پایگاه‌های اطلاعات علمی: روش‌های جستجو و استخراج اطلاعات- اصول کلی استفاده از سامانه‌های پردازش‌موازی جهت انجام محاسبات و استفاده از نرم‌افزارهای تحلیلی؛ تهیه جاب اسکریپت (Job Script) |
| **سوم** | اصول تهیه مقالات علمی و پایان‌نامه |
| **چهارم** | اخلاق در پژوهش؛ حق نسخه‌برداری؛ سرقت ادبی؛ ثبت اختراع |
| **پنجم** | اصول ارایه علمی و تهیه پیشنهاد پروژه و پژوهش (پروپوزال) |
| **ششم** | آشنایی با سیستم عامل لینوکس؛ آشنایی با نرم‌افزارهای متن‌باز |
| **هفتم** | استفاده از نرم‌افزار لاتِک (Latex) در تهیه متون علمی؛ آشنایی مقدماتی با امکانات نرم‌افزار و نحوه اجرای آن-مقدمه‌ای بر تهیه مدارک صنعتی |
| **هشتم** | معرفی مفاهیم اقتصاد مهندسی؛ آشنایی با روش تهیه ازریابی هزینه پروژه و طرح تحقیقاتی |
| **نهم** | جلسه بررسی پیشرفت سمینار با استاد راهنما |
| **دهم** | جلسه بررسی پیشرفت سمینار با استاد راهنما |

| | |
|---|---|
| **یازدهم** | جلسه بررسی پیشرفت سمینار با استاد راهنما |
| **دوازدهم** | جلسه بررسی پیشرفت سمینار با استاد راهنما |
| **سیزدهم** | جلسه بررسی پیشرفت سمینار با استاد راهنما |
| **چهاردهم** | جلسه بررسی پیشرفت سمینار با استاد راهنما |
| **پانزدهم** | جلسه بررسی پیشرفت سمینار با استاد راهنما |
| **شانزدهم** | جلسه بررسی پیشرفت سمینار با استاد راهنما |

**ارزشیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | | پروژه |
|---|---|---|---|---|
| | | نوشتاری | عملکردی | |
| اختیاری | اختیاری | اختیاری | ٪۵۰ | ٪۵۰ |

**ملزومات، تجهیزات و امکانات مورد نیاز برای ارائه:**

**منابع اصلی**


1. Deb, Dipankar, Rajeeb Dey, and Valentina E. Balas. Engineering Research Methodology. Reino Unido: Springer (2019).
2. Novikov, Alexander M., and Dmitry A. Novikov. Research Methodology: From Philosophy of Science to Research Design. CRC Press (2013).
3. Thomas, C. George. Research Methodology and Scientific Writing. Thrissur: Springer (2021).