جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

شورای عالی برنامه ریزی آموزشی

برنامه درسی

رشته مهندسی هسته ای

گرایش رآکتور

دوره دکتری تخصصی

گروه فنی و مهندسی

به استناد مصوبه جلسه شماره ۸۶۱ تاریخ ۱۳۹۴/۰۳/۱۶ شورای عالی برنامه ریزی آموزشی

باسمه تعالی

نام رشته: مهندسی هسته ای

گروه: فنی و مهندسی

کارگروه تخصصی: مهندسی شیمی

پیشنهادی دانشگاه: صنعتی امیرکبیر

عنوان گرایش: رآکتور

دوره تحصیلی: دکتری تخصصی

نوع مصوبه: تدوین

به استناد مصوبه جلسه ۸۶۱ شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی در تاریخ ۱۳۹۴/۰۳/۱۶؛ در مورد تایید برنامه‌های مدون و دارای مجوز در شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی و با عنایت به نامه شماره ۵۰/۶۲۴ تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۱۰ دانشگاه صنعتی امیرکبیر در مورد تصویب برنامه درسی مهندسی هسته‌ای گرایش رآکتور در مقطع دکتری تخصصی، این برنامه تا زمان بازنگری و به مدت ۵ سال، مصوب تلقی می شود.

دکتر محمدرضا آهنچیان

دبیر کمیسیون برنامه‌ریزی آموزشی

به نام خدا

مشخصات کلی، برنامه و سر فصل دروس

دوره دکتری مهندسی رآکتور

گروه فنی و مهندسی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی

فصل اول: مشخصات کلی

۱-۱ مقدمه ۴

۱-۲ تعریف و هدف ۵

1-۳ طول دوره و شکل نظام ۵

۱-۴ تعداد واحد های درسی دوره ۶

۱-۵ شرایط پذیرش دانشجو ۶

۱-۶ امتحان جامع ۷

۱-۷ مرحله تدوین رساله ۷

فصل دوم: برنامه رشته مهندسی رآکتور

۲-۱ دروس اختیاری مهندسی رآکتور ۹

۲-۲ سرفصل دروس اختیاری ۱۱

فصل اول

مشخصات کلی

۱-۱: مقدمه

استفاده صلح‌جویانه از انرژی هسته‌ای و کاربردهای روزافزون آن در صنایع، کشاورزی و پزشکی نه تنها در نیمه دوم قرن حاضر گسترش فراوان پیدا نموده است بلکه یکی از محورهای اصلی توسعه تکنولوژی مدرن در قرن آینده را نیز تشکیل می‌دهد . فعالیت‌های گسترده تحقیق و توسعه تکنولوژی هسته‌ای علاوه بر کشورهای صنعتی در بسیاری از کشورهای درحال رشد نیز چشم‌گیر است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای انرژی هسته‌ای در صنایع، تولید انرژی الکتریکی از منشاء انرژی شکافت هسته‌ای می‌باشد که بهره‌برداری اقتصادی از ذخایر سوخت هسته‌ای در جهان را در شرایطی که محدودیت استفاده از ذخائر سوخت فسیلی روزبه‌روز بیشتر شده و استفاده بی‌رویه از آن‌ها موجب ضایعات تقریبا جبران‌ناپذیر به اکوسیستم کره زمین می‌گردد (از قبیل پدیده گل‌خانه‌ای برروی کره زمین)، امکان‌پذیر می‌سازد.

تاریخچه استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق به سال‌های ۱۹۵۰ (۱۳۳۰) برمی‌گردد و برای نشان دادن اهمیّت این بخش در سطح بین‌المللی کافی است به آمار نیروگاه‌های اتمی در حال کار و در دست ساخت در جهان اشاره شود که بالغ بر ۴۲۰ نیروگاه با ظرفیت کل حدود ۳۲۰ GW می‌باشد. این نیروگاه‌ها در حال حاضر بیش از ۱۵ درصد کل انرژی الکتریکی جهان را تأمین نموده و پیش‌بینی می‌شود در قرن بیستم این رقم به بیش از ۲۰٪ افزایش یابد. درصد تولید برق هسته‌ای در برخی کشورهای صنعتی به ۷۰٪ کل تولید برق می‌رسد.

کاربرد مهم دیگر انرژی هسته‌ای که گسترش آن روزافزون است در پزشکی و علوم وابسته به آن است. استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها در تشخیص و درمان پزشکی انواع رادیو داروها، لیزر، دستگاه‌های پرتوپزشکی و تصویرگر پزشکی و کاربرد تکنیک‌های هسته‌ای در بخش کشاورزی و مهندسی ژنتیک نمونه‌هایی از این کاربردها هستند. در ایران به دلیل وفور منابع سوخت‌های فسیلی ممکن است نیاز فوری جهت استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای احساس نشود ولی به دلایل محدودیت این منابع و وجود منابع اورانیوم در کشور، ایجاد تنوع در صنایع تولید انرژی و بهره‌گیری از روش و تکنیک‌های هسته‌ای، تربیت نیروی انسانی و سرمایه‌گذاری در زمینه تحقیق و گسترش این رشته را کاملاً قابل توجیه می‌نماید.

۱-۲ تعریف و هدف

مجموعه آموزشی تحقیقاتی دکترای مهندسی رآکتور، مجموعه‌ای است شامل دروس نظری و عملی جهت تربیت محققین، متخصصین و کادر هیأت‌علمی مورد نیاز کشور در زمینه گسترده مهندسی نیروگاه هسته‌ای. گسترش روزافزون نیروی انسانی در زمینه مهندسی هسته‌ای و ضرورت انتقال تکنولوژی هسته‌ای و بهره‌برداری صلح‌جویانه از آن ایجاب می‌کند که تعمیق توانمندی‌های جامعه در زمینه مهندسی هسته ای و بسط تحقیق و توسعه مهندسی هسته‌ای به طور جدی مورد توجه قرار گیرد. ارتقا و سطح کیفیّت نیروی انسانی آموزش دیده و گسترش تحقیقات

انرژی ایجاب می‌کند دوره دکترای مهندسی رآکتور دانر و در جهت تربیت پژوهش‌گران توانمند اقدام شود. برای این منظور، برنامه آموزشی دوره دکترای مهندسی رآکتور تهیه شده است.

۱-۳ طول دوره و شکل نظام

طول اسمی لازم برای اتمام این دوره به‌طور متوسط چهار سال است و حداکثر مدت زمان مجاز برای اتمام آن مطابق آیین نامه دوره دکترای مصوب شورای‌عالی برنامه‌ریزی می‌باشد. این دوره شامل یک مرحله آموزشی و یک مرحله پژوهشی است.

طول مدت مجاز مرحله آموزشی حداکثر دوسال است و دروس این مرحله به‌صورت واحدی در چهار نیم‌سال ارائه می‌شود. نحوه انجام مرحله پژوهشی و تدوین پایان‌نامه مطابق آیین‌نامه‌های دکتری مصوب شورای‌عالی برنامه‌ریزی است.

۱-۴ تعداد واحدهای درس دوره

تعداد کل واحدهای درسی دوره برای گرایش‌های مختلف به شرح زیر است:

دوره	واحد
دروس اختیاری	۱۲
پایان نامه	۲۴
جمع	۳۶

۱-۵ شرایط پذیرش دانشجو

دانشجویان دوره دکترای مهندسی رآکتور از طریق آزمون کتبی و مصاحبه از بین فارغ‌التحصیلان دوره کارشناسی ارشد و به شرح زیر انتخاب می‌گردند:

دوره	رشته های مورد قبول
کارشناسی ارشد	مهندسی رآکتور- مهندسی مواد و چرخه سوخت هسته‌ای- مهندسی مکانیک (گرایش تبدیل انرژی)- مهندسی برق (همه گرایش‌ها)-مهندسی شیمی (همه گرایش‌ها)

مواد آزمون‌های عمومی و تخصصی دوره به ترتیب زیر می‌باشد:

دروس	عنوان درس
دروس عمومی	زبان انگلیسی
دروس تخصصی	فیزیک رآکتور(۲، ۱)- انتقال حرارت هسته‌ای دینامیک رآکتور-تکنولوژی نیروگاه

تبصره ۱: از دروس تخصصی بالا دو درس به انتخاب داوطلب، امتحان گرفته می‌شود .

تبصره ۲: گذراندن آزمون زبان انگلیسی، به تشخیص گروه مجری دوره بلامانع است ولی در هر حال داوطلب باید قادر به استفاده از متون علمی به زبان انگلیسی باشد.

۱-۶ امتحان جامع

دانشجویانی که کلیه دروس مرحله آموزشی خود را با موفقیت گذرانده باشند، می‌توانند در آزمون جامع که به‌صورت کتبی و شفاهی برگزار می‌گردد شرکت نمایند. این آزمون از محتویات دروس تحصیلات تکمیلی دانشجو با نظر شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ذی‌ربط و انتخاب دانشجو برگزار شده و دانشجو می‌تواند حداکثر دوبار در آن شرکت نماید. جزئیات و شرایط برگزاری امتحان جامع مطابق دستورالعمل مصوب شورای‌عالی برنامه‌ریزی می‌باشد.

۱-۷ مرحله تدوین رساله

دانشجویانی که در امتحان جامع پذیرفته می‌شوند در مرحله تدوین رساله ثبت نام می‌کنند. تعداد کل واحدهایی که دانشجو در مرحله تدوین رساله به نام واحد پروژه تحقیقاتی می‌بایست اخذ کند ۲۴ واحد می‌باشد. ثبت‌نام و اخذ واحدهای رساله به معنی تصویب و قبول رساله نیست. نحوه اجرا و ارزیابی رساله مطابق با آیین‌نامه دوره دکتری انجام می‌شود.

فصل دوم

برنامه دروس مهندسی رآکتور

۲-۱دروس اختیاری مهندسی رآکتور

کلیه دانشجویان با نظر استاد راهنما و با توجه به موضوع رساله دکتری خود باید ۱۲ واحد از دروس جدول ۱-۲ را انتخاب نمایند.

جدول ۱-۲: دروس دوره دکتری مهندسی رآکتور هسته‌ای

کد درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت			پیش نیاز
			نظری	عملی	جمع	
۱	جریان‌های دو فازی	۳	۴۸	-	۴۸	انتقال حرارت هسته‌ای
۲	محاسبات عددی پیشرفته	۳	۴۸	-	۴۸	-
۳	حفاظ سازی (شیلدینگ)	۳	۴۸	-	۴۸	فیزیک راکتور ۱
۴	فیزیک راکتورهای سریع زاینده	۳	۴۸	-	۴۸	فیزیک راکتور ۱ – اصول ترموهیدرولیک
۵	ایمنی راکتورهای هسته‌ای پیشرفته	۳	۴۸	-	۴۸	دینامیک راکتورها – انتقال حرارت هسته‌ای
۶	فیزیک راکتور پیشرفته	۳	۴۸	-	۴۸	فیزیک راکتور ۲
۷	مواد هسته‌ای ۱	۳	۴۸	-	۴۸	فیزیک هسته‌ای
۸	مواد هسته‌ای ۲	۳	۴۸	-	۴۸	مواد هسته‌ای ۱
۹	چرخه سوخت ۱	۳	۴۸	-	۴۸	تکنولوژی نیروگاه‌های هسته‌ای
۱۰	چرخه سوخت ۲	۳	۴۸	-	۴۸	چرخه سوخت ۱
۱۱	مباحث پیشرفته در مواد	۳	۴۸	-	۴۸	مواد هسته‌ای ۲
۱۲	مباحث پیشرفته در ایمنی و حفاظت هسته‌ای	۳	۴۸	-	۴۸	ایمنی راکتورهای هسته‌ای
۱۳	مباحث پیشرفته در مهندسی راکتور	۳	۴۸	-	۴۸	تکنولوژی نیروگاه هسته‌ای
۱۴	مدیریت سوخت	۳	۴۸	-	۴۸	فیزیک راکتور ۱
۱۵	اقتصاد انرژی هسته‌ای	۳	۴۸	-	۴۸	-
۱۶	کاربرد روش مونت کارلو در محاسبات هسته‌ای	۳	۴۸	-	۴۸	فیزیک راکتور ۱
۱۷	دینامیک راکتور پیشرفته	۳	۴۸	-	۴۸	فیزیک راکتور ۱
۱۸	آزمون انواع سوخت، مواد هسته‌ای و مواد ساختمانی راکتورها پس از تابش دهی	۳	۴۸	-	۴۸	-
۱۹	پسماندداری در تمامی مراحل چرخه سوخت (از معدن تا سوخت مصرف شده)	۳	۴۸	-	۴۸	-
۲۰	تئوری ترانسپورت	۳	۴۸	-	۴۸	فیزیک راکتور ۱
۲۱	کدهای محاسباتی هسته ای	۳	۴۸	-	۴۸	-
	برنامه ریزی و مدل سازی انرژی	۳	۴۸	-	۴۸	-
	تولید و کاربرد کدهای شبیه سازی کامپیوتری	۳	۴۸	-	۴۸	-

۲-۲ سرفصل دروس اختیاری

<table>
<tr><td colspan="6">کد درس:۱</td></tr>
<tr><td rowspan="5">عنوان درس به فارسی:
جریان‌های دو فازی

عنوان درس به انگلیسی:
Two – phase flow</td><td>تعداد واحد:
۳</td><td rowspan="2">نوع درس:</td><td>جبرانی [□]</td><td>نظری [□]
عملی [□]</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:
انتقال حرارت هسته‌ای</td></tr>
<tr><td>تعداد ساعت:
۴۸</td><td>الزامی [□]</td><td>نظری [□]
عملی [□]</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td rowspan="2">اختیاری [■]</td><td>نظری [■]
عملی [□]</td></tr>
<tr><td colspan="3">آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]</td></tr>
</table>

اهداف کلی درس:

تغییرات دما – فشار (حالت) آب و تغییر حالت، پروسه تبخیر، پروسه جوش و ایجاد حباب، شرایط مرزی، معادلات تجربی و نیمه تجربی حاکم بر جوش با تاکید در داخل راکتور، تشریح جریان دو فازی در راکتورهای آب جوشان[۱]

سرفصل دروس:

۱) جریان‌های دو فازی، اشکال مختلف جریان – طبقه‌بندی اشکال جریان و دسته پارامترهای جریان دو فازی – دیاگرام‌های مربوطه جریان‌های واسطه – تعیین تجربی و تئوریک نوع جریان

[۱] Boiling Water Reactor (BWR)

۲) معادلات موازنه جرم و انرژی و اندازه حرکت: روابط جریان‌های تک فازی – مدل همگن – مدل یک بعدی یک سرعتی – کسر خلاء[۲]، لغزش[۳] و پسماند[۴] معادلات بر اساس متوسط‌های فضایی، معادلات براساس متوسط‌های زمانی، مبانی مدل دو فاز جدا[۵]

۳) جریان‌های حبابی و لخته‌ای[۶]: مدل دوبعدی یک سرعتی (مدل Bank off) مدل یک بعدی دوسرعتی (مدل Wallis) مدل عمومی.

۴) جریان حلقه‌ای[۷]: حمل مایع توسط گاز در جریان حلقه‌ای – انتقال جرم بین قطرات مایع و فاز گاز در جریان حلقه‌ای – محاسبات جریان‌های حلقه‌ای غیر تعادلی.

۵) انتقال حرارت در جریان‌های دوفازی: تعادل گاز – مایع – عبور از تعادل ترمودینامیکی – میعان، انواع جوش – تبخیر تشکیل نقطه‌های رشد حباب[۸]، روابط جوش نقطه‌ای – جوش در حرکت اجباری – روابط جوش در جریان‌های دوفازی با کیفیت بالا در حالت‌های لایه‌ای و گردابی[۹]– روابط جوش فیلمی – روابط جوش مختلط نقطه‌ای-فیلمی

۶) سوختگی[۱۰]: تعریف سوختگی – مشاهدات تجربی، مکانیزم سوختگی – اثرات پارامترهای مختلف در سوختگی – پیش-بینی سوختگی در جریان حلقه‌ای.

---

[۲] Void Fraction

[۳] Slip

[۴] Holdup

[۵] Tow phase separated flow

[۶] Slug & Bubble

[۷] Annular

[۸] Nucleation

[۹] Turbulent

[۱۰] Burn out

۷) روابط اساسی[۱۱] در جریان‌های دوفازی: مدل‌های لغزش‌دار، مدل‌های غیر تعادلی، مدل پخش،[۱۲] مدل‌های دو سیالی، مدل دوبعدی دوسرعتی (مدل Zuber & Findlay).

۸) جریان‌های دوفازی بحرانی و نوسانی[۱۳] مدل‌های ریاضی بحرانی – معیارهای لازم – تعابیر فیزیکی جریان بحرانی – نتایج تجربی (توزیع محوری فشار و کسر خلاء)، تغییرات حرارتی غیرتعادلی (فاز مایع) – طبقه‌بندی ناپایداری‌های جریان– ملاحظات کلی در نوسان‌های جریان – نوسان‌های صوتی حرارتی – نوسان‌های وزن مخصوص – نوسان‌های وزن مخصوص متوسط و جریان‌های افت فشار

۹) کسر خلاء و افت فشار در حالت پایا در راکتورهای آبی: تعاریف کمیّت‌ها (کسر حفره – سرعت فاز – لغزش – کیفیت – سرعت سطحی فازها – وزن مخصوص متوسط) روش‌های قدیمی اندازه گیری ضریب حفره و نتایج تجربی حاصل از آن – روش Findly Zuber و پی‌آمدهای آن – افت فشار دوفازی (موازنه اندازه حرکت (ممنتم) – افت فشار در حالت پایا – افت فشار شتابی، اصطکاکی و ثقلی – افت کل).

۱۰) مسائل دو فازی در نیروگاه‌های هسته‌ای: مسائل دو فازی در بهره برداری نیروگاه‌های هسته‌ای.

۱۱) تحلیل جریان پایا در مجراهای جزیی[۱۴]: تعاریف پارامترهای پایه در مجراهای جزیی – معادله‌های موازنه جرم و انرژی و اندازه حرکت، معادلات تکمیلی (همزدگی یک فازی و دو فازی).

۱۲) شار حرارتی بحرانی پایا در میله‌های سوخت راکتورهای آبی: غیر یکنواخت و توزیع شعاعی و محوری آن، روابط تجربی شار حرارتی بحرانی در شرایط گذرا[۱۵]

---

[۱۱] Constitutive

[۱۲] Diffusion

[۱۳] Critical &oscillatory two phase flow

[۱۴] S. S. Subchannel Analysis

[۱۵] Transient

13)خنک کردن اضطراری قلب راکتور[۱۶]: آزمایش‌هایی با مدارهای آبی، آزمایش‌هایی با مدار فرئون ۱۲، مدل‌های محاسباتی تئوریک (مدل DNB[۱۷]، مدل انتقال حرارت پس از DNB) – پر کردن مجدد قلب راکتور در حالت اضطراری –سرد کردن ناگهانی[۱۸]، انتقال حرارت پس از خشک شدن[۱۹]، پیوستگی و تراکم بخار[۲۰]، تورم میله سوخت[۲۱]،انسداد مجرای خنک کننده[۲۲]

فهرست منابع:

1- Kleinstreuer, C. (2003). *Two-phase flow: theory and applications*, London: Taylor & Francis

2- Hewitt, G. (2013). *Annular two-phase flow*, Elsevier science

3- Giroux, J. (1973). *Two phase flow & heat transfer with application to nuclear reactor design problems*, Hemisphere pub

4- . Bergles, A. E. (1981). *Tow phase flow & heat transfer in the power & process industry*, Hemisphere pub

[۱۶] Blow down

[۱۷] Departure from Nucleate Boiling (DNB)

[۱۸] Quenching

[۱۹] Post dray out

[۲۰] Steam binding

[۲۱] Ballooning

[۲۲] Cooling channel block age

کد درس: ۲					
عنوان درس به فارسی: **محاسبات عددی پیشرفته**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز:
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Advanced numerical computations**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]					
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی با محاسبات عددی مورد نیاز در مسائل مهندسی هسته‌ای، ریشه یابی، برازش منحنی، حل معادلات جبری، حل معادلات دیفرانسیل، حل معادلات انتگرال و...

سرفصل دروس:

۱) مبانی تحلیل عددی کامل: عددی، تحلیلی، درون‌یابی، انتگرال‌گیری و کاربرد آنها در حل مسائل مقدار اولیه و معادلات دیفرانسیل – روش‌های حل معادلات خطی، مقادیر و بردارهای ویژه، تبدیل متشابه و فرم مخروطی جوردن.

۲) راه‌حل‌های کامپیوتری مسائل یک بعدی شامل: تعیین مقادیر مشخصه یا مرزی از رئوس‌های اختلافات محدود، توان ویلاندت[۲۳]، معادلات چند گروهی یک بعدی، چند جمله‌ای شبیشیف.

۳) روش‌های محاسباتی تکراری در حل معادله پاره‌ای دیفرانسیل شامل روش‌های ضمنی، همگرایی، جاکوبی، نیمه تکراری شبیشیف، کاربرد در معادلات پخش نوترون در دو بعد.

[۲۳] Wielandt

۴) حل عددی معادلات دیفرانسیل جزیی از نوع سهموی شامل پایداری معادلات به روش‌های مختلف، تبدیل نمایی و خطا[۲۴]، کاربرد در حل یک و دو بعدی وابسته به زمان معادلات پخش نوترونی

۵) روش‌های پسماند متعادل شده[۲۵] و اصول تغییری[۲۶]: معادله ایولر – لاگرانژ، روش‌های مستقیم، اصل تغییری و استفاده از روش چند جمله‌ای

۶) معرفی روش اجزا محدود[۲۷] در حل مسائل میدان

۷) روش مونت کارلو و استفاده از آن در حل مسائل مختلف.

فهرست منابع:

1- Telford, T. (2002). *Guideline for the use of advanced numerical analysis*

2- Fargo, I. Havasi, A. Zahari, Z. (Eds.). (2013). *Advanced numerical methods for complex environmental models*

3- Nakamura, S. (1977). *Computational in engineering and science with applications to fluid dynamics and nuclear systems*, John Wiley & Sons

---

[۲۴] Truncation

[۲۵] WRM

[۲۶] Variation

[۲۷] Finite element

کد درس: ۳					
عنوان درس به فارسی: **حافظ سازی** **(شیلدینگ)**	تعداد واحد: **۳**	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **فیزیک راکتور ۱**
				عملی [□]	
	تعداد ساعت: **۴۸**		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Shielding**			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

مروری بر مبانی فیزیک اتمی و فیزیک راکتور، واکنش انواع پرتو با انواع مواد با تاکید بر کاربردهای راکتور، تضعیف گاما و نوترون در مواد مختلف با هندسه‌های گوناگون، معادلات تحلیلی و نیمه تجربی در طراحی حفاظ، روش‌های احتمالاتی در تخمین حفاظ و مسائل مربوطه.

سرفصل دروس:

۱) مقدمه و اصول تئوری شیلدینگ

۲) چشمه‌های نوترون

۳) چشمه‌های گاما

۴) تضعیف نوترون

۵) تضعیف پرتوهای گاما

۶) روش‌های تحلیلی طرح حفاظ

۷) مواد شیلدینگ

۸) تولید حرارت در حفاظ

فهرست منابع:

1- Cember, H. (2008). *Introduction to health physics*, McGraw-Hill Medical Publishing

2- Wood, J.(2013). *Computational methods in reactor shielding*, Elsevier science

3- Goldstein, H. (1971). *Fundamental aspects of reactor shielding*, Johnson reprint Corp

کد درس: ۴					
عنوان درس به فارسی: **فیزیک راکتورهای سریع زاینده**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **فیزیک راکتور ۱ اصول ترموهیدرولیک**
				عملی [□]	
	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Fast breeders reactor**			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]					
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی با فیزیک راکتورهای سریع و کارکرد آنها، مزایای بکارگیری راکتوری سریع و تاثیر آن بر منابع انرژی، انواع گوناگون راکتورهای سریع

سرفصل دروس:

۱) زایندگی، نقش راکتورهای زاینده سریع: مبانی فیزیکی زایندگی – برنامه‌های توسعه راکتورهای زاینده

۲) مقدمات طراحی: طراحی کلی سیستم‌های مکانیکی و حرارتی – انتخاب مواد و پارامترهای قلب راکتور

۳) طراحی هسته‌ای: تئوری پخش چند گروهی – حل فضایی معادله چند گروهی و موازنه – نوترونی – دانسیته قدرت – طیف نوترونی – پارامترهای عملکرد هسته‌ای.

۴) سطح مقطع‌های چند گروهی: سطح مقطع‌های کلی – رزونانس و پهن شدگی سطح مقطع‌ها برای ترکیب خاص – ادغام سطح مقطع‌های چند گروهی

۵) سینتیک و اثرات راکتیویته: سینتیک راکتورها – تئوری پرتورباسیون – درصد موثر نوترون‌های تاخیری و عمر نوترونی – اثر داپلر[۲۸]– راکتیویته ناشی از کاهش سدیم – توزیع ارزش راکتیویته – نیازهای کنترلی راکتیویته.

۶) مدیریت سوخت: سوختن سوخت – معادلات سوختن – ترکیب اولیه و نهایی راکتیویته سوخت – نسبت زایندگی – زمان دو برابر زایندگی – مقایسه محصولات و چرخه‌های سوخت

۷) طراحی میله و مجموعه سوخت: ملاحظات طراحی میله – معیارهای از کار افتادگی و تحلیل تنش در طراحی میله – طراحی مجموعه سوخت – رفتار مجموعه خوشه‌ای

۸) عملکرد میله سوخت: تحلیل حرارتی میله و غلاف– انتقال حرارت خنک کننده – توزیع دما در میله

۹) طراحی ترموهیدرولیکی قلب راکتور: توزیع دما و سرعت سیال خنک کننده در مجموعه – توزیع شار خنک کننده و افت فشار راکتورها

۱۰) سوخت غلاف و مجاری – خنک کننده – کنترل

۱۱) سیستم‌های راکتور: سیستم‌های انتقال حرارت – اجزا – حفاظ – سوخت گذاری مجدد – ابزار دقیق – سیستم‌های کمکی.

فهرست منابع:

1- Walter, A. (1980). *Fast breeder reactors*, M. G. Hill

2- Waltar, Alan E., Todd, Donald R., Tsvetkov, Pavel V. (Eds.). (2011). *Fast spectrum reactors*, Springer Science & Business Media

3- Judd, A. M. (2013). *Fast breeder reactors: an engineering introduction*. Elsevier

[۲۸] Doppler effect

کد درس: ۵					
عنوان درس به فارسی: **ایمنی راکتورهای هسته‌ای پیشرفته**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **دینامیک راکتورها انتقال حرارت هسته‌ای**
				عملی [□]	
	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Nuclear reactors safety**			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [□]					
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

بررسی کلی نیروگاه‌های هسته‌ای از نظر عملکرد ایمنی، درخت عیب و بررسی احتمالاتی ایجاد حوادث

سرفصل دروس:

بخش اول:

۱) مقدمه‌ای بر احتمالات: مفهوم احتمالات و قوانین آن، توابع توزیع احتمالات

۲) قابلیت اطمینان سیستم: از کار افتادگی سیستم‌ها، قابلیت اطمینان سیستم‌های ساده قابل تعمیر

۳) روش‌های محاسبه خطای سیستم: درخت عیب[۲۹]، درخت حادثه[۳۰]

[۲۹] Fault tree

[۳۰] Accident tree

۴) بررسی ریسک در راکتورها: مفهوم و تعریف ریسک، بررسی ریسک در راکتورهای آب سبک، بررسی ریسک در حمل مواد رادیواکتیو، بررسی ریسک در پسماندهای هسته‌ای، مقایسه ریسک‌های ناشی از حوادث مختلف با ریسک راکتورها، آنالیز ریسک در مقابل سود.

۵) کنترل کیفی و کنترل کمی: مفهوم، اهمیت در ایمنی راکتورها، نحوه انجام و مراحل

بخش دوم:

۱) تغییرات راکتیویته و نتایج آن: مقدمه‌ای بر کینتیک راکتور، اثر پسخور، بررسی حالت گذرای راکتور در اثر تغییرات راکتیویته

۲) بررسی حادثه از دست رفتن سیستم خنک کننده[۳۱] در یک راکتور آبی تحت فشار[۳۲]

۳) محفظه راکتور و مسائل ایمنی آن: تحت فشار قرار گرفتن محفظه راکتور، آزاد شدن انرژی حاصل از فشار، ذوب شدن قلب راکتور

۴) پخش مواد رادیواکتیو: موجودی محصولات شکافت در قلب راکتور و آزاد شدن آنها، آزاد شدن مواد رادیواکتیو در محفظه، پخش مواد رادیواکتیو در فضا، پیامدهای رادیولوژیکی

۵) بررسی حوادث اتفاق افتاده در راکتورها: تاریخچه – حادثه – حوادث سایر راکتورها

فهرست منابع:

1- James, H. R. (2013), *Nuclear power safety*, Elsevier science

2- Sehgal, B. R. (2012), *Nuclear safety in light water reactors: severe accident phenomenology*

3- Leuise, E. E. (1977), *Nuclear power reactor safety*, Wiley, J

4- MC Cromick, N. J. (1981), *Reliability & risk analysis*, Academic Press

[۳۱] Loss of coolant accident (LOCA)

[۳۲] LWR

کد درس: ۶					
عنوان درس به فارسی: **فیزیک راکتور پیشرفته**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **فیزیک راکتور ۲**
				عملی [□]	
	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Advanced reactor physics**			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

روش‌های پیشرفته ریاضی آنالیز راکتور، تئوری پرتورباسیون و عملکرد آن در راکتور

سرفصل دروس:

۱) حل معادلات دیفرانسیل به روش تفاضل محدود: روش مستقیم (حذف گاوس، تجزیه مثلثی و ماتریس‌های سه قطری ...) روش تکرار (ژاکوبی، زایدل و روش فوق خلاصی) همگرایی روش‌های تکرار، نرخ‌های همگرایی، روش شتاب.

۲) روش ترانسپورت نوترون: حل معادله با استفاده از توابع هارمونیک کروی، حل[۳۳] معادلات SN در مختصات دکارتی و منحنی الخط پارامترهای مطلوب گاوس.

۳) روش پاسخ ماتریسی: کرنل ریسپانس، معادلات پاسخ ماتریسی و روابط بین آنها، استخراج ماتریسی، تحلیل روش، روش تئوری ترانسپورت و پاسخ ماتریسی.

[۳۳] Discrete ordinate

۴) روش اجزای محدود: حل معادلات به کمک روش باقی مانده‌ها، ماتریس‌های جرم و سختی توابع تقریب درجه یک و دو و سه، حل به کمک روش Variation، تقریب خطی و یک بعدی، تقریب درجه سوم روشاجزای محدود در دو بعد.

۵) روش نودال: تعریف ضرایب وابستگی[۳۴] تعریف جریان‌های جزیی[۳۵] در سطح و ارتباط آنها با شار متوسط در گره استخراج معادلات دیفیوژن بر اساس روش نودال.

فهرست منابع:

1- Bell, G. I. Glasstone, S. (1970). *Nuclear reactor theory*. US Atomic Energy Commission, Washington, DC (United States)

2- James, J. D, Hamilton, L. J. (1976). *Nuclear reactor analysis*. Vol. 84. New York: Wiley

3- Weston, M. S. (2018). *Nuclear reactor physics*. John Wiley & Sons

[۳۴] Coupling constants

[۳۵] Partial current

کد درس: ۷					
عنوان درس به فارسی: **مواد هسته‌ای ۱**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **فیزیک هسته‌ای**
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Nuclear materials 1**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی دانشجویان با خواص، طرز تهیه و کاربرد موادی است که در راکتورهای هسته‌ای بخصوص در سیکل اول مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بررسی علم مواد بیشتر از دیدگاه کلاسیک، آشنایی با ترم‌های رایج در علم مواد از قبیل گسیختگی، شکنندگی، خستگی و غیره، بررسی مقدماتی مواد هسته‌ای.

سرفصل دروس:

۱) اهمیت مواد در راکتورهای اتمی، اصول انتخاب مواد برای راکتورهای اتمی

۲) مواد به کار رفته در راکتورهای اتمی: خنک کننده‌ی راکتورها[۳۶]، کند کننده‌ها[۳۷]، غلاف، میله و بسته‌ی سوخت، منعکس کننده‌ها[۳۸]، کنترل کننده‌ها[۳۹]، مواد ساختمانی[۴۰]، بلانکت[۴۱] مواد محافظت کننده[۴۲]

۳) خواص عمومی مواد: ساختمان کریستالی، نقص ساختمانی، دیفیوژن در مواد جامد، خواص مکانیکی تغییر فازها، خوردگی مواد

۴) اثر تشعشع بر مواد هسته‌ای: تغییر ساختمان کریستالی و جابجایی اتم‌ها، ایجاد ترک، حفره، تردی و شکنندگی، تورم[۴۳]، خستگی[۴۴] و خزش، اسپیک‌های جابجایی و گرمایی[۴۵]، سخت شدن[۴۶]

۵) خنک کننده‌ها (روش تهیه، خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و اثر تشعشع) آب، آب سنگین، گاز هلیوم، کربن دی اکسید، فلز سدیم، سرب، نمک مذاب

۶) کند کننده‌ها (روش تهیه، خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و اثر تشعشع) آب و آب سنگین

۷) منعکس کننده‌ها، (تهیه، خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و اثر تشعشع) برلیم و اکسید برلیم، گرافیت، آب و آب سنگین، زیرکونیم هیدرید

۸) مواد کنترل کننده (تهیه، خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی و اثر تشعشع)

[۳۶] Coolants

[۳۷] Moderators

[۳۸] Reflectors

[۳۹] Control materials

[۴۰] Structural materials

[۴۱] Blanket materials

[۴۲] Shield materials

[۴۳] Swelling

[۴۴] Fatigue

[۴۵] Thermal &displacement spikes

[۴۶] Radiation hardening

فهرست منابع:

1- whittle, K. R. (2016). *Nuclear materials science*, IOP publishing limited

2- Murty, K. L, Charit, I. (2013). *An introduction to nuclear materials: fundamentals and applications*

3- Allen, T. R, Stoller, R. E, Yamanaka, S. (Eds.). (2011). *Comprehensive nuclear materials*

[۲۷] Burnable absorber

کد درس: ۸					
عنوان درس به فارسی: **مواد هسته‌ای ۲**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **مواد هسته‌ای ۱**
				عملی [□]	
			الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Nuclear materials 2**	تعداد ساعت: ۴۸		اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی دانشجویان با خواص، طرز تهیه و کاربرد موادی است که در راکتورهای هسته‌ای به خصوص در سیکل اول مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سرفصل دروس:

۱)غلاف میله سوخت و متعلقات آن (تهیه، خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و اثر تشعشع)

۲)آلیاژهای زیرکونیم Zr-2 و Zr-4آلومینیماستن لس استیل

۳)بسته سوخت و متعلقات آن (تهیه، خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و اثر تشعشع)

۴)لوله‌های هدایت کننده[۴۸]

۵)نازل‌ها[۴۹]

۶)مواد ساختمانی، (تهیه، خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی، و اثر تشعشع)

[۴۸] Guide tube

[۴۹] Nozzles

۷)مخزن تحت فشار قلب راکتور[۵۰]

۸)خطوط بخار (انوا استن لس استیل)

۹)خطوط آب (انواع استن لس استیل)

۱۰)کندانسورها (Al-Cu-Ni, Ti)-پمپ‌ها-سیستم تنظیم کننده فشار[۵۱]

۱۱)خطوط سدیم (انواع استن لس استیل)

۱۲)لوله‌های تحت فشار (راکتورهای کندو)-گرافیت-انواع بتن

۱۳)سایر اجزای ساختمانی راکتور در سیکل اول

۱۴) خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و اثر تشعشع U – 238, Th – 232 و اورانیم تهی شده

۱۵)خوردگی مواد ساختمانی راکتور

فهرست منابع:

1- Whittle, K. R. (2016). *Nuclear materials science*, IOP publishing limited

2- Murty, K. L, Charit, I. (2013). *An introduction to nuclear materials: fundamentals and applications*

3- Allen, T. R, Stoller, R. E, Yamanaka, S. (Eds.). (2011). *Comprehensive nuclear materials*

[۵۰] Pressure vessel

[۵۱] Pressurizer

کد درس: ۹					
عنوان درس به فارسی: **چرخه سوخت ۱**	تعداد واحد: **۳**	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **تکنولوژی نیروگاه‌های هسته‌ای**
				عملی [□]	
	تعداد ساعت: **۴۸**		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Fuel cycle 1**			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی با کلیه مراحل چرخه سوخت هسته‌ای شامل تولید کیک زرد از سنگ معدن، تولید دی اکسید اورانیوم طبیعی و غنی شده، خواص و کاربرد اورانیوم، پلوتونیم، توریم و انواع چرخه سوخت هسته‌ای

سرفصل دروس:

۱) مقدمه: دیاگرام فرایند سوخت، نحوه کار چرخه سوخت، باز فرایش، جداسازی ایزوتوپ.

۲) چرخه‌های سوخت برای راکتورهای هسته‌ای: سوخت‌های هسته‌ای، اثرات تایش بر روی سوخت‌های هسته‌ای، استفاده از کدهای محاسباتی Burn–up، فرایندهای چرخه سوخت، محاسبه ساده شده مربوط به کارایی چرخه سوخت، دیاگرام گردش مواد در چرخه سوخت.

۳) استخراج فلزات به کمک حلال: اصول استخراج به کمک حلال، ضرایب توزیع، نظریه استخراج تعادلی ناهمسو

۴) اورانیوم: ایزوتوپ‌های اورانیوم، سرب‌های واپاشی اورانیوم، اورانیوم فلزی، ترکیبات اورانیوم، شیمی محلول اورانیوم، منابع اورانیوم، تخمین منابع اورانیوم، تغلیظ اورانیوم، تصفیه اورانیوم، تولید فلز اورانیوم.

۵) خواص سوخت تابش داده شده و سایر مواد راکتور: رادیو اکتیویته محصولات شکافت، رادیواکتیویته اکتنیدها، اثر چرخه‌های سوخت متناوب بر روی خواص سوخت تابش داده شده، رادیو اکتیویته ناشی از اکتیواسیون نوترون

۶) پلوتونیوم: ایزوتوپ‌های پلوتونیوم، رادیو اکتیویلوتونیوم، فلز پلوتونیوم، ترکیبات پلوتونیوم، تولید فلز پلوتونیوم

۷) توریم

۸) سوخت انواع راکتورهای تحقیقاتی (U-Mo, U-Si, AL-U3O8, U-ALX)

فهرست منابع:

1- Crossland, I. (2012). *Nuclear fuel cycle science and engineering,* Elsevier science

2- Silvennoinen, P. (2013). *Nuclear fuel cycle optimization: methods and modeling techniques,* Elsevier science

3- Cochran, R. G, Tsoulfanidis, N. (1999). *The nuclear fuel cycle: analysis and management,* American nuclear society

4- Wilson, Peter D. (1996). *The nuclear fuel cycle from ore to wastes*

کد درس: ۱۰					
عنوان درس به فارسی: **چرخه سوخت ۲**	تعداد واحد: **۳**	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **چرخه سوخت ۱**
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Fuel cycle 2**	تعداد ساعت: **۴۸**		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

چرخه سوخت داخل قلب، مسایل پیشرفته در ارتباط با تولید مواد هسته‌ای به ویژه سوخت هسته‌ای

سرفصل دروس:

۱) ایزوتوپ‌های پایدار، کاربردها و روش‌های جداسازی، کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار، روش‌های جداسازی ایزوتوپ، واحد جداسازی، مرحله بهمن شار[۵۲]، خواص مرحله بهمن شارساده[۵۳] ، بهمنشار بازگشتی[۵۴]، بهمن شار ایده آل[۵۵]، بهمن شار

[۵۲] Cascade

[۵۳] Simple cascade

[۵۴] Recycle cascade

[۵۵] Ideal cascade

جداسازی بسته[۵۶]، ظرفیت جداسازی، کار جداسازی، پتانسیل جداسازی، زمان تعادل برای جداسازی ایزوتوپ‌ها، جداسازی سه ایزوتوپ از یکدیگر.

۲) جداسازی اورانیوم: بررسی وضعیت جداسازی اورانیوم در جهان و روش‌های مختلف، پخش گازی[۵۷]، سانتریفوژ گازی[۵۸]، جداسازی به طریق تحول شیپوره‌ای، جداسازی توسط لیزر.

۳) جداسازی ایزوتوپ‌های هیدروژن: منابع دوتریم، تهیه آب سنگین، روش‌های جداسازی دوتریم از هیدروژن، بررسی وضعیت جداسازی هیدروژن در جهان.

۴) ساخت قرص، میله و بسته‌های سوخت راکتورهای قدرت

۵) باز فزایش سوخت: ترکیب [illegible] شده، روش‌های مختلف باز فرایش فرایند[۵۹]، جلوگیری از بحرانی شدن در کارخانه‌های باز فزایش.

فهرست منابع:

1- Crossland, I. (2012). *Nuclear fuel cycle science and engineering,* Elsevier science

2- Silvennoinen, P. (2013). *Nuclear fuel cycle optimization: methods and modeling techniques,* Elsevier science

3- Cochran, R. G, Tsoulfanidis, N. (1999). *The nuclear fuel cycle: analysis and management,* American nuclear society

4- Wilson, Peter D. (1996). *The nuclear fuel cycle from ore to wastes*

[۵۶] Close – separation cascade

[۵۷] Gaseous diffusion

[۵۸] Gaseous Centrifuge

[۵۹] Pure

کد درس: ۱۱					
عنوان درس به فارسی: **مباحث پیشرفته مواد**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **مواد هسته‌ای ۲**
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Advanced topics in materials**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی با فن آوری‌های نوین علم مواد به ویژه در تولید سوخت هسته‌ای.

سرفصل دروس:

۱-مقدمه ای بر مهندسی و علم مواد :پیوندهای بین اتمی، ساختارهای کریستالی، عیوب کریستالی...

۲-بررسی خواص مکانیکی مواد: رابطه تنش و کرنش، شکست انعطاف پذیری و تافنس، شکست ترد به انعطاف پذیر،شکست خستگی، خزش

۳-تجزیه و تحلیل تنش :شدت تنش، تنش های حرارتی

۴- مشخصه های عملکرد مواد در محیط های هسته ای: سوخت، غلاف، کندکننده، بازتابنده، خنک کننده، محفظه راکتور،لوله های رابط، شیرها، پمپ ها.

۵-مکانیزم تخریب مواد در محیط های هسته ای بر اثر تابش: اصول کلی، جابجایی اتمی، شکنندگی، تورم خستگی با توجه به تنش های حرارتی.

۶- مکانیزم تخریب مواد در محیط های هسته ای بر اثر خوردگی.

۷- بررسی فرایندهای محتمل بین مواد در محیط های هسته ای

فهرست منابع:

1. Abbaschian, R, Reed Hill, R. E. (2008). *Physical metallurgy principles*, CL Engineering
2. Benjamin, M. (1983). *Nuclear reactor materials and applications*, Van Nostrand Reinhold,
3. Murty, K. L, Charit, I. (2012). *An introduction to nuclear materials*, Wiley-VCH
4. Was, G. S. (2007). *Fundamentals of radiation materials science: metals and alloys*

کد درس: ۱۲					
عنوان درس به فارسی: **مباحث پیشرفته در ایمنی و حفاظت هسته‌ای**	تعداد واحد: **۳**	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **ایمنی راکتورهای هسته‌ای**
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Advanced topics in safety & nuclear protection**	تعداد ساعت: **۴۸**		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]					
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی با علوم روز در زمینه ایمنی هسته‌ای.

سرفصل دروس:

۱- حفاظت ریشه‌ای

۲- بررسی ریسک ناشی از راکتورهای هسته‌ای

۳- طراحی بر مبنای ارزیابی احتمالاتی ایمنی

۴- طراحی یقینی

۵- لیست حوادث راکتور

۶- مرور حوادث راکتور

۷- مقیاس بین‌المللی رخدادهای هسته‌ای

فهرست منابع:

1. Lewis, E. E. (1978). *Nuclear power reactor safety*, John Wiley

2. Lee, J. C, McCormick, N. J. (2011). *Risk and safety analysis of nuclear systems* , John Wiley

3. Greene, G. A, Hartnett, J. P, Irvine, T. F, Cho, Y. I. (1997). *Nuclear reactor safety*, Academic press

4. Petrangeli, G. (2006). *Nuclear safety*, Butterworth-Heinemann publications

5. McCormick, N. J. (1981). *Reliability and risk analysis*, Academic press

6. Modarres, M., Kaminskiy, M., Krivtsov, V. (2009). *Reliability engineering and risk analysis*, CRC press

<table>
<tr><td colspan="6">کد درس: ۱۳</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به فارسی:
مباحث پیشرفته در مهندسی راکتور</td><td rowspan="2">تعداد واحد:
۳</td><td rowspan="4">نوع درس:</td><td rowspan="2">جبرانی [□]</td><td>نظری [□]</td><td rowspan="2">دروس پیش‌نیاز:
تکنولوژی نیروگاه‌های هسته‌ای</td></tr>
<tr><td>عملی [□]</td></tr>
<tr><td rowspan="2">عنوان درس به انگلیسی:
Advanced topics in reactor engineering</td><td rowspan="2">تعداد ساعت:
۴۸</td><td rowspan="2">الزامی [□]</td><td>نظری [□]</td></tr>
<tr><td>عملی [□]</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]</td><td rowspan="2">اختیاری [■]</td><td>نظری [■]</td></tr>
<tr><td>عملی [□]</td></tr>
</table>

اهداف کلی درس:

آشنایی با تکنولوژی‌های جدید و پیشرفته در خصوص راکتورهای نسل جدید.

سرفصل دروس:

۱- راکتور طرح سایزول

۲-راکتور آب تحت فشار اروپایی

۳- راکتور آب جوش پیشرفته ABWR

۴- راکتور کندو پیشرفته(ACR)

۵- راکتور نسل چهارم

۶- راکتور هلیومی مدولار با توربین گازی(GT-MHR)

۷- راکتور مدولار گلوله بستر(PBMR)

۸-R&D طراحی و ارزیابی

۹- راکتور خنک شونده با آب فوق بحرانی(SCWR)

فهرست منابع:

1- Knief, R. A. (2008). *Nuclear engineering theory and technology of commercial nuclear power*

کد درس: ۱۴					
عنوان درس به فارسی: **مدیریت سوخت**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **فیزیک راکتور ۱**
				عملی [□]	
	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Fuel Management**			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی با انواع تکنیک‌های جابجایی سوخت در قلب، روش‌های بهینه سازی مصرف سوخت در قلب و حداکثر استفاده اقتصادی

سرفصل دروس:

۱-معرفی سطوح مختلف مدیریت سوخت :مدیریت سوخت در داخل قلب، مدیریت سوخت در خارج قلب.

۲- بررسی بهره و فرسایش سوخت: معرفی بهره سوخت و واحدهای آن، بررسی تغییرات راکتیویته سوخت بر حسب بهره در راکتورهای مختلف.

۳-مدل راکتیویته خطی راکتورهای آب سبک: بررسی تغییرات طول سیکل و بهره سوخت در حالت چند دسته ای نسبت به حالت تک دسته ای.

۴- کدهای محاسباتی تحلیل قلب :ساختار کدهای مربوطه و بررسی روش های محاسباتی هر یک.

۵- مدل سازی سوخت گذاری داخل قلب راکتور.

۶- نحوه چیدمان بهینه سوخت آب سبک.

۷- زمان بهینه سوخت گذاری آب سبک.

۸- بهینه سازی طراحی قلب راکتور آب سبک.

۹- مدیریت سوخت در راکتورهای هسته ای آب سنگین.

فهرست منابع:

1. Silvennoinen, P. (1976). *Reactor core fuel management*, Pergamon press

2. Driscoll, M. J, Downar, T. J, Pilat, E. E. (1991). *The linear reactivity model for nuclear fuel management*, La Grange Park, IL: American Nuclear Society

3. Greenberg, M. R, West, B. M, Lowrie, K. W, Mayer, H. J. (2009). *The reporter's handbook on nuclear materials, energy, and waste management*, Vanderbilt University Press

4. Nikitin, M. B, Andrews, A , Holt, M. (2010). *Managing the nuclear fuel cycle: policy implications of expanding global access to nuclear power*", BiblioGov

کد درس: ۱۵					
عنوان درس به فارسی: **اقتصاد انرژی هسته‌ای**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□] عملی [□]	دروس پیش‌نیاز:
			الزامی [□]	نظری [□] عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Nuclear energy economy**	تعداد ساعت: ۴۸		اختیاری [■]	نظری [■] عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

بررسی کلان نیروگاه‌های هسته‌ای با توجه به وام بانکی، هزینه‌های ثابت و جاری و قیمت تمام شده برق هسته‌ای

سر فصل دروس:

۱) مبانی اقتصاد مهندسی

۱-۱) ارزش زمانی پول

۱-۲) فرمول‌های مختلف بهره، ربح ساده، ارزش فعلی ساده، بازیافت یکنواخت سرمایه ارزش فعلی سری یکنواخت پرداخت، ارزش آتی سری یکنواخت پرداخت، وجوه استهلاکی

۱-۳) افزایش قیمت و تورم، پول ثابت و پول جاری

۱-۴) معیارهای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها، معیارهای مبتنی بر ارزش فعلی، حداکثر ارزش فعلی سود خالص، حداقل ارزش فعلی هزینه‌ها، روش منافع / هزینه، معیارهای مبتنی بر سوددهی، نرخ بازگشت سرمایه، معیارهای مبتنی بر زمان بازگشت سرمایه، معیار ارزش آتی.

۱-۵) استهلاک و روش‌های مختلف محاسبه‌ی آن، استهلاک خطی، روش جمع ارقام سنوات، روش موجودی نزولی، روش وجوه استهلاکی، انواع استهلاک صنعتی اقتصادی، مالیاتی، حسابداری

۲) اجزای هزینه تولید انرژی الکتریکی

۲-۱) ساختار هزینه‌های تولید: هزینه‌های سرمایه گذاری، سوخت، بهره برداری هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر (تناسبی)

۲-۲) اجزای هزینه سرمایه گذاری، هزینه‌های مستقیم، غیرمستقیم، موارد خاص نیروگاه‌های هسته‌ای.

۲-۳) هزینه سوخت، اجزای هزینه چرخه سوخت هسته‌ای

۲-۴) هزینه‌های بهره برداری و نگهداری – موارد خاص نیروگاه‌های هسته‌ای

۳) تجزیه و تحلیل هزینه تولید انرژی الکتریکی

۳-۱) محاسبه قیمت هم تراز شده تولید اصول هم تراز کردن هزینه‌ها روش کلاسیک محاسبه قیمت تمام شده بر مبنای محاسبه استهلاک، روش محاسبه قیمت میانگین هم تراز شده بر مبنای روش ارزش فعلی، ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها بر مبنای قیمت هم تراز شده تولید، مقایسه دو روش، مثال‌های کاربردی.

۳-۲) عوامل موثر روی تولید انرژی الکتریکی و هزینه تولید – ضریب ظرفیت، قابلیت دسترسی، نرخ حرارتی، ترتیب بارگذاری

۳-۳) قابلیت اعتماد سیستم تولید و اهمیت اقتصادی آن – معیارهای ارزیابی قابلیت اعتماد، معیارهای یقینی، حاشیه رزرو، رزرو گیران، ضابطه بزرگ‌ترین واحد، مقیاس احتمالاتی، نرخ خروج از خط اضطراری، احتمال از دست دادن بار[۶۰]، انرژی تامین نشده، تاثیر اقتصادی قابلیت اعتماد.

۳-۴) توسعه بهینه سیستم تولید، روش شبیه سازی احتمالاتی، روش غربال کردن.

۴) اقتصاد چرخه سوخت هسته‌ای.

۴-۱) مدیریت سوخت هسته‌ای، مدیریت داخلی راکتور، مدیریت خارجی، استراتژی‌های مختلف چرخه سوخت، چرخه‌های باز، چرخه‌های بسته، معیارهای بهینه یابی.

۴-۲) اقتصاد اورانیوم غنی شده، اجزای هزینه‌های غنی سازی، کار جداسازی هزینه انرژی، نرخ بهینه پسماند.

۴-۳) اقتصاد پلوتونیوم، تولید و بازگردانی پلوتونیوم در راکتورهای حرارتی و سریع مسائل فنی-اقتصادی

---

[۶۰] load

۴-۴) اقتصاد توریوم، تولید و بازگردانی اورانیوم ۲۳۳ در راکتورهای حرارتی مسائل فنی – اقتصادی

۴-۵) اقتصاد باز فرایری سوخت مصرف شده و پسماندای.

۵) مدل‌های کامپیوتری مورد استفاده:

۵-۱) مدل‌های کامپیوتری محاسبه هزینه سیستم تولید

۵-۲) مدل‌های کامپیوتری توسعه بهینه شبکه

۵-۳) مدل‌های کامپیوتری محاسبات هزینه چرخه سوخت هسته‌ای

۶) مدل‌های قراردادی و ارزیابی مناقصه‌های بین المللی

۶-۱) انواع مدل‌های قراردادی خرید و انتقال تکنولوژی نیروگاه‌های هسته‌ای، مدل کلید در دست، مدل اجزا، محدود، مدل مهندسی مشاور،

۶-۲) ضوابط تهیه مشخصات فنی و اسناد مناقصه

۶-۳) ضوابط ارزیابی پیشنهادات مناقصه

فهرست منابع:

1-اقتصاد مهندسی، دکتر اسکونژاد، انتشارات دانشگاه امیرکبیر(1375)

2- Rothwell, G. (2018). *Economics of nuclear power*, Taylor & Francis

3- Brooks, L. F. (2013). *Economics of nuclear energy*, H. Motamen (Eds.)

کد درس: ۱۶					
عنوان درس به فارسی: **کاربرد روش مونت کارلو در محاسبات هسته‌ای**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **فیزیک راکتور ۱**
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Application of Monte Carlo method in nuclear calculation**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

به کار گیری روش احتمالاتی با تکیه بر توابع در ردیابی ذرات خنثی مانند نوترون در محیط مادی

سرفصل دروس:

۱) آشنایی با کاربرد مونت کارلو

۲) متغیرهای کتره‌ای و توابع توزیع احتمال

۳) تولید و آزمون اعداد کتره‌ای

۴) کاربرد روش مونت کارلو برای یک مسأله ترانسپورت نوعی

۵) شمارش فلاکس و جریان

۶) روش‌های تسریع محاسبات

۷) ردگیری گاما و نوترون‌ها (ذرات خنثی)

۸) مسائل چند بعدی

فهرست منابع:

1-Kalos, M. H. (1968). *Computing methods in reactor physics* (chap 5), Gordon & Breach

2- Kalos, M. H, Whitlock, P. A. (2009). *Monte Carlo methods*, Wiley-VCH

3- Robert, C. P, Casella, G. (2009). *Monte Carlo statistical methods*

4- Kroese, D. P, Taimre, T. Z, Botev, I. (2011). *Handbook of Monte Carlo methods*, Wiley

کد درس: ۱۷					
عنوان درس به فارسی: **دینامیک راکتور پیشرفته**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **فیزیک راکتور ۱**
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Advanced Reactor dynamics**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]					
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

استخراج و حل معادله پخش تابع زمان در راکتور، روش‌های مختلف حل مسائل سینتیک راکتور

سرفصل دروس:

۱) به دست آوردن معادلات دینامیکی

۲) راکتیویته ثابت و تغییرات پله‌ای راکتیویته (شرایط تعادل و بحرانی، معادله در ساعت حالت یک گروهی، پاسخ سیستم در اثر ورودی پله‌ای، چشمه‌های تابع و زمان، پاسخ فرکانسی سیستم و توابع انتقال).

۳) راکتیویته تابع زمان (معادله تقریبی دینامیکی، نوسانات راکتیویته، پاسخ سیستم در اثر ورودی رمپ[۶۱] (توابع hypergeometry و روش انتگرال راه اندازی راکتور)

[۶۱] Ramp

۴) پسخور راکتیویته و خیز قدرت[۶۲] (راکتورهای حرارتی همگن، راکتورهای حرارتی ناهمگن، راکتورهای سریع، کرنل پس خور خطی، مدل نورد هایم – فوکس[۶۳] و خیزهای راکتیویته کوچک، کرنل ورودی، مثلثی فوکس)

۵) پایداری سیستم‌های خطی (سیستم‌های خطی با پسخور، معیار روث[۶۴]، نمایش پاسخ فرکانسی، معیار نایکوئیست[۶۵] روش روث – لوکاس[۶۶]، پایداری سیستم‌های ساده راکتور، پسخورد (مدت‌های طول عمر و نوترون‌های تاخیری)، پایداری راکتورهای سریع، راکتورهای آب جوشان).

فهرست منابع:

1- Ray, S. S. (2015). *Fractional calculus with applications for nuclear reactor dynamics*, CRC press

2- Lewins, J. (2013). *Nuclear reactor kinetics and control*, Elsevier science

3- Hetric, D. L. (1993). *Dynamics of nuclear reactors*, American nuclear society

4- Ott, K. O, Neuhold, R. J. (1985). *Introductory nuclear reactor dynamics*, American nuclear society

[۶۲] Reactivity feedback and power excursion

[۶۳] Nordheim – Fucks

[۶۴] Routh Criterion

[۶۵] Nyquist Criterion

[۶۶] Root – Lucas

کد درس: ۱۸					
عنوان درس به فارسی: **آزمون انواع سوخت مواد هسته‌ای و مواد ساختمانی راکتورها پس از تابش‌دهی**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز:
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Post – irradiation examination of nuclear fuels and construction materials**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی:

آشنایی دانشجویان با روش‌های آزمون مواد هسته‌ای به ویژه در دوران پس از تابش دهی در راکتور.

سرفصل دروس:

۱) اهمیت بررسی عملکرد سوخت، مواد هسته‌ای و مواد ساختمانی راکتورها پس از تابش دهی

۲) انواع سوخت راکتورهای قدرت و تحقیقاتی با تاکید بر سوخت‌های جدید راکتورهای تحقیقاتی و سوخت‌های راکتورهای نسل چهارم

۳) مواد هسته‌ای و مواد ساختمانی راکتورها با تاکید بر سیکل اول راکتور

۴) انواع آزمون‌های سوخت، مواد هسته‌ای و مواد ساختمانی راکتورها پس از تابش دهی[۶۷]

[۶۷] Examination post irradiation(PIE)

۵) وسایل و تجهیزات لازم برای انجام آزمون‌های PIE

۶) راکتورهای مناسب برای تابش دهی[۶۸]: بررسی چند نوع راکتور تحقیقاتی چند منظوره در حال کار و در حال احداث

۷) بررسی انواع سیستم‌ها و تجهیزات لازم برای انجام تابش دهی سوخت و مواد هسته‌ای، شامل انواع لوپ‌ها، کپسول‌ها، ابزار دقیق و وسایل و تجهیزات مکانیکی و...

۸) آزمایشگاه‌ها، کارگاه‌ها، گلاو باکس‌ها و سلول‌های داغ برای انجام انواع آزمون‌های PIE

۹) چگونگی حمل مواد تابش داده شده از راکتورها به محل آزمون‌های PIE

۱۰) چگونگی انتقال سوخت و مواد هسته‌ای به سلول های داغ و گلاوباکس‌ها

۱۱) حفاظت پرسنل در هنگام انجام آزمون‌های PIE از نقطه نظر کار با مواد پرتوزا

۱۲) پسماندای مواد رادیواکتیو در حین و پس از انجام آزمون‌های تابش دهی

۱۳) همکاری با دیگر کشورها برای انجام PIE

۱۴) بررسی عملکرد سوخت تولید شده در ایران پس از تابش دهی

۱۵) لزوم احداث یک راکتور تحقیقاتی چند منظوره برای تولید رادیوایزوتوپ‌ها، تابش‌دهی مواد و مطالعات نوترونیک

فهرست منابع:

1- Bement, A. L. (1971). *Irradiation effects on structural alloys for nuclear reactor*

2- Gaganidze, E, Petersen, C. (2011) *Post irradiation examination of RAFM steels after fast reactor irradiation up to 71 dpa and <340C*

3-*Post irradiation examination and testing, a regulatory perspective, national post – irradiation examination workshop*, (2011). Maryland

4-*High temperature gas cooled reactor fuels and materials*, (2010) IAEA TECDOCC 1645,

5-*Multipurpose research reactor (RMB). (2013)* CNEN

[۶۸] Material testing reactor (MTR)

کد درس: ۱۹					
عنوان درس به فارسی: **پسماندداری در تمامی مراحل چرخه سوخت (از معدن تا سوخت مصرف شده)**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز:
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Waste management in all Stages of fuel cycle**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]					
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

روش‌های جمع آوری، کاهش حجم، و محصور سازی ایمن ضایعات هسته‌ای و تابش دیده

سرفصل دروس:

۱)اهمیت پسماندداری در چرخه سوخت هسته‌ای

۲)طبقه بندی پسماندها

۳)پسماندها با اکتیویته کم

۴)پسماندها با اکتیویته متوسط

۵)پسماندها با اکتیویته زیاد

۶)پسماندهای ایجاد شده در مرحله استخراج اورانیوم از سنگ معدن

۷)پسماندهای ایجاد شده در مرحله جداسازی اولیه سنگ‌های غنی

۸)پسماندهای ایجاد شده در مراحل خردایش، لیچینگ، جداسازی توسط حلال، رسوب گیری

۹)پسماند جامد باقی مانده پس از مراحل جدا سازی

۱۰)پسماندهای ایجاد شده در مراحل مختلف تبدیل کیک زرد به UO2، UF6، غنی سازی UF6 و تبدیل مجدد به UO2

۱۱)پسماندهای حاصل از تبدیل کیک زرد به UO2 طبیعی

۱۲)پسماندهای حاصل از تبدیل UO2 به UF6

۱۳)پسماندهای حاصل از مرحله غنی سازی UF6

۱۴)پسماندهای حاصل در مرحله تبدیل UF6 به UO2

۱۵)پسماندهای حاصل در مرحله ساخت قرص و میله‌های سوخت

۱۶)پسماندهای حاصل در مرحله آماده سازی پودرUO2 برای پرس

۱۷)پسماندهای حاصل در مراحل پرس و سینترینگ

۱۸) پسماندهای حاصل از مراحل باز فرآوری سوخت مصرف شده

۱۹)چگونگی نگهداری سوخت‌های مصرف شده راکتورهای تحقیقاتی و قدرت

۲۰)مسائل ایمنی پسماندهای هسته‌ای

فهرست منابع:

1- Strandberg, U, Andren, M. (Eds.). (2013). *Nuclear waste management in a globalised world,*

2- Cheon, M. (2005). *System analyses on advanced nuclear fuel cycle and waste management*

کد درس: ۲۰					
عنوان درس به فارسی: **تئوری ترانسپورت**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: **فیزیک راکتور ۱**
				عملی [□]	
	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Transport theory**			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]					
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

استخراج و حل معادله ترانسپورت با تاکید بر شار نوترونی تابع زاویه در محیط‌های مختلف

سرفصل دروس:

۱)تعاریف اولیه، معانی آماری متغیرها، فرمولاسیون معادله ترانسپورت بولتزمن و صورت‌های متفاوت آن، به دست آوردن معادله ترانسپورت نوترون، شرایط حدی و مرزی شکل انتگرال‌گیری معادله ترانسپورت، پراکندگی ایزوتروپیک و غیر ایزوتروپیک، تابع گریندر حل معادله ترانسپورت، ساده سازی‌های خاص در راه حل معادله ترانسپورت، ...

۲)به دست آوردن معادله ترانسپورت تک – سرعته، هندسه صفحه بی‌نهایت بزرگ، استفاده از تابع گرین، حل معادله تک – سرعته به روش جداسازی متغیرها، محیط بی‌نهایت بزرگ بدون حضور چشمه، خاصیت تعامد جواب‌های اولیه، محیط بی‌نهایت بزرگ با حضور چشمه صفحه‌ای، روش حل از طریق روش‌های هارمونیک‌های کروی، پراکندگی ایزوتروپیک و غیر ایزوتروپیک

۳)حل عددی معادله ترانسپورت با تقریب PN، بسط فلاکس به چند جمله‌های های لژاندر برای هندسه تخت، روش تفاضلی PN، تقریب p1 و شرایط مرزی، مقایسه نتایج تقریب p1 با معادله پخش، بسط تابع فلاکس در هندسه‌ی

کروی، شرایط مرزی در هندسه کروی، تقریب p3 و مقایسه با نتایج معادله پخش، تقریب‌های بالانز و طیف‌های ویژه، روش‌های دیگر حل معادله ترانسپورت، روش حل به طریق MOMENTDECOMPOSITION، روش تقریب P0– دو جمله‌ای.

فهرست منابع:

1- Glasstone, S.(1970). *Nuclear reactor theory*

2- Weston, S. (2018). *Nuclear reactor physics*. John Wiley & Sons

کد درس: ۲۱					
عنوان درس به فارسی: **کدهای محاسبات هسته‌ای**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز:
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Nuclear computation codes**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]					
سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

سرفصل دروس:

۱) آشنایی با ساختار کتابخانه‌های داده‌های هسته ای

۲) معادله انتگرالی ترابرد- روش احتمالات برخورد

۳) تقریب PL برای حل معادله ترابرد و تقریب پخش

۴) روش زوایای گسسته

۵) روش نودال، همگن سازی و محاسبات سلولی

۶) روش های چند گروهی و بازگشتی

۷) ثابت های گروهی در ناحیه تشدید

۸) محاسبات مصرف سوخت

۹)محاسبات ترموهیدرولیکی- جریان دوفازی-مدل های انتقال حرارت دو فازی قلب-روشهای عددی در حل معادلات حاکم بر جریان دوفازی

فهرست منابع:

1-Stammler, I. J. J. (1983). *Methods of steady-state reactor physics in nuclear design*

2- Azmy, Y, Sartori, E. (2010). *Nuclear computational science: a century in review*

3- Hjorth-Jensen, M, Lombardo, M. P, Kolck, U. (2017). *An advanced course in computational nuclear physics*

4- Lewis, E. E, Miller, W. F. (1984). *Computational methods of neutron transport*, John Wiley & Sons

کد درس: ۲۲

عنوان درس به فارسی: **برنامه ریزی و مدلسازی انرژی**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز:
				عملی [□]	
			الزامی [□]	نظری [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Energy planning & simulation**	تعداد ساعت: ۴۸			عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■]				
	سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]				

اهداف کلی درس:

ارزیابی چگونگی تولید و مصرف انرژی در جهان و ایران، جایگاه انرژی هسته‌ای در این میان و مسائل اقتصادی مرتبط

سرفصل دروس:

ارزیابی اقتصادی انرژی در جهان و ایران و دورنمای آن در اقتصاد انرژی هسته‌ای - اقتصاد انرژی گداخت هسته‌ای و جنبه‌های محیطی آن -دورنمای انرژی گداخت و اثرات محیطی آن بر زندگی بشر - تنوع و امنیت در انرژی –ساختار نیروگاه‌ها و اثرات محیطی آن در آینده –بررسی اقتصادی انواع نیروگاه‌ها و مدل‌سازی تنوع و ترکیب آنها در آینده – برنامه‌ریزی میان مدت و بلند مدت تقاضای انرژی در ایران با تکیه بر انواع انرژی پایان‌پذیر و پایان‌ناپذیر

فهرست منابع:

1- Hillier, F. S, Lieberman, G. J. (1995). *Introduction to mathematical programming*

2-Owens, Susan E. (1986). *Energy planning and urban form*. Taylor & Francis

3- Cavallaro, F. (2013). *Assessment and simulation tools for sustainable energy system*

4- Karki, N. R, Karki, R, Verma, A. K, Choi, J. (Eds.). (2017), *Sustainable power system: modeling, simulation and analysis*

کد درس: ۲۳					
عنوان درس به فارسی: **تولید و کاربرد کدهای شبیه‌سازی کامپیوتری**	تعداد واحد: ۳	نوع درس:	جبرانی [□]	نظری [□]	دروس پیش‌نیاز: -
				عملی [□]	
عنوان درس به انگلیسی: **Development and application of computer simulation codes**	تعداد ساعت: ۴۸		الزامی [□]	نظری [□]	
				عملی [□]	
			اختیاری [■]	نظری [■]	
				عملی [□]	
آموزش تکمیلی عملی: دارد [□] ندارد [■] سفر علمی [□] کارگاه [□] آزمایشگاه [□] سمینار [□]					

اهداف کلی درس:

آشنایی با انواع کدهای مهندسی رآکتور برای شبیه سازی نیروگاه در حالت پایا و گذرا

سرفصل دروس:

۱-آشنایی با مبانی تئوریک و روشهای عددی و برنامه نویسی با کد RELAP

۲-آشنایی با مبانی تئوریک و روشهای عددی و برنامه نویسی با کد COBRA

۳-آشنایی با مبانی تئوریک و روشهای عددی و برنامه نویسی با کد Wims & Citation

۴-آشنایی با مبانی تئوریک و روشهای عددی و برنامه نویسی با کد MCNP

فهرست منابع:

1- Briesmeister, J. F. (1993). *MCNP: a general Monte Carlo N: particle transport code*

2- Thurgood, M. J. (1983). *COBRA/TRAC, a Thermal-hydraulics code for transient analysis of nuclear reactor vessels and primary coolant systems*

3-RELAP, (1999). RELAP5/MOD3 Code Manual, NUREG/CR-5535. Sciencetech, Inc.,Idaho Falls.

4-Andersen, J. G. M., Harrington, R., Hizoum, B. (2007). *COBRAG Subchannel code: Model description report* NEDE-32199P. Revision 1. pp. 80.