جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فنّاوری

برنامه درسی

(بازنگری شده)

دوره: کارشناسی ارشد

رشته:ریاضی کاربردی با پنج گرایش:

۱- آنالیز عددی ۲- بهینه سازی ۳- رمزوکد۴- ریاضی مالی

۵- معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی

گروه : علوم پایه

مصوبه جلسه شماره ۷۰ مورخ ۱۳۹۵/۰۳/۲۳

کمیسیون برنامه‌ریزی آموزشی

بسم الله الرّحمن الرّحیم

عنوان برنامه: ریاضی کاربردی با پنج گرایش

۱- آنالیز عددی ۲- بهینه سازی ۳- رمزوکد۴ - ریاضی مالی

۵- معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی

۱- برنامه درسی بازنگری شده دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی با پنج گرایش : ۱- آنالیز عددی ۲- بهینه سازی ۳- رمز و کد ۴- ریاضی مالی ۵- معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی در جلسه شماره ۷۰ مورخ ۱۳۹۵/۰۳/۲۳ کمیسیون برنامه ریزی آموزشی تصویب شد.

۲- برنامه درسی بازنگری شده دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی با پنج گرایش : ۱- آنالیز عددی ۲- بهینه سازی ۳- رمز و کد ۴- ریاضی مالی ۵- معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی از تاریخ ۱۳۹۵/۰۳/۲۳ جایگزین برنامه درسی دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی با سه گرایش : ۱- آنالیز عددی ۲- تحقیق در عملیات ۳- ریاضی فیزیک مصوب جلسه شماره ۱۲۶مورخ ۱۳۶۷/۰۳/۲۸ شورای عالی برنامه ریزی و برنامه درسی دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی گرایش ریاضیات مالی مصوب جلسه شماره ۶۶۵ مورخ ۱۳۸۶/۱۰/۲۲ شورای عالی برنامه ریزی می شود.

۳- برنامه درسی مذکور از تاریخ ۱۳۹۵/۰۳/۲۳ برای تمامی دانشگاه ها ومؤسسه های آموزش عالی و پژوهشی کشور که طبق مقررات مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری فعالیت می کنند برای اجرا ابلاغ می شود.

۴- برنامه درسی مذکور برای دانشجویانی که بعد از تاریخ ۱۳۹۵/۰۳/۲۳ ، در دانشگاهها پذیرفته می شوند لازم الاجرا است.

۵- این برنامه درسی از تاریخ ۱۳۹۵/۰۳/۲۳ به مدت ۵ سال قابل اجراست و پس از آن قابل بازنگری است.

عبدالرحیم نوه‌ابراهیم

دبیر شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی

فصل اول

مشخصات کلی

مقررات عمومی برنامه کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی

باپنج گرایش: آنالیزعددی - بهینه سازی - رمز و کد - ریاضی مالی - معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی

کلیه دانشگاه‌هایی که قبلاً مجوز اجرای رشته "ریاضی کاربردی" را به صورت کلی یا در گرایش‌های مختلف اخذ کرده و با کد رشته محل‌های مربوطه به پذیرش دانشجو در این رشته می‌پرداخته‌اند کماکان می‌توانند با پذیرش دانشجو در همان کد رشته محل‌ها نسبت به پذیرش دانشجو اقدام کنند. این دانشگاه‌ها می‌توانند با پذیرش دانشجو در کد رشته محل "ریاضی کاربردی" به صورت تجمعی اقدام کرده و هر یک از دانشجویان پذیرفته شده را با در نظر گرفتن تخصص اعضای هیأت علمی و امکانات موجود در هر یک از گرایش های اخذ شده این رشته با رعایت مقررات برنامه گرایش مربوطه در برنامه فعلی با قید گرایش دانش‌آموخته کنند.

چنانچه دانشگاهی تمایل داشته باشد در رشته ریاضی کاربردی و در یکی از گرایش‌های برنامه که قبلاً مجوز اجرای آن را نداشته است، با کد رشته محل مجزا دانشجو پذیرد، لازم است که قبلاً نسبت به اخذ مجوز اجرا اقدام کرده و فقط در صورت احراز شرایط و پس از اخذ مجوز از وزارت عتف نسبت به پذیرش دانشجو با کد رشته محل مختص گرایش مربوطه اقدام کنند.

طول دوره و شکل نظام

طول دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی با پنج گرایش آنالیزعددی - بهینه سازی - رمز و کد - ریاضی مالی - معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی مطابق با آیین‌نامه جاری دوره‌ی کارشناسی ارشد وزارت عتف میباشد .

تعداد واحدهای دوره

تعداد واحدهای درسی دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی ۲۹ واحد به قرار زیر است:

درس‌های الزامی:

۹ واحد، شامل درس(های) اصلی گرایش یا زیر گرایش و یک درس از دروس اصلی گرایش ها یا زیر گرایش‌های دیگر علوم ریاضی با نظر استاد راهنما یا دانشکده.

درس‌های تخصصی - اختیاری:

۱۲ واحد، شامل دست کم سه درس از جدول درس‌های تخصصی- اختیاری و حداکثر یک درس با نظر استاد راهنما و تأیید گروه از درس‌های اختیاری یکی از دوره‌های کارشناسی ارشد مرتبط.

سمینار: ۲ واحد

پایان‌نامه : ۶ واحد

اخذ درس سمینار و پایان نامه در نیمسال اول تحصیل مجاز نیست. برای اخذ درس سمینار نیاز به گذراندن دست کم ۹ واحد درسی و برای اخذ پایان‌نامه گذراندن دست کم ۱۲ واحد (که شامل درس های الزامی می باشد) و اجازه گروه ضروری است.

دانشجویان دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی (باپنج گرایش: آنالیزعددی - بهینه سازی - رمز و کد - ریاضی مالی - معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی)، با اخذ حداقل ۶ واحد ،تمام وقت محسوب می شوند. با توجه به پایه‌ای بودن دروس الزامی گرایش‌ها وتنوع ورودی‌های دوره های کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی به پیشنهاد گروه آموزشی مربوط و تصویب دانشگاه این دروس به جای ۳ واحد می توانند ۴ واحدی اجرا شوند. در این صورت سقف واحدهای این دوره با این تغییر از ۲۹ به حداکثر۳۲ افزایش خواهد یافت.

گروه‌های مجری می توانند درس‌های جدیدی را به عنوان درس اختیاری مطابق با روال جاری دانشگاه مصوب و ارایه دهند.

دانشجو در طول تحصیل خود نمی تواند بیش از یک درس با عنوان مباحث ویژه اختیار کند.

برنامه و سرفصل درس‌های کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی

- ریاضی‌کاربردی - گرایش آنالیزعددی
- ریاضی‌کاربردی - گرایش بهینه سازی
- ریاضی‌کاربردی - گرایش رمز و کد
- ریاضی‌کاربردی - گرایش معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی
- ریاضی‌کاربردی - گرایش ریاضی مالی

ریاضی کاربردی- گرایش آنالیزعددی

فصل اول

مشخصات دوره کارشناسی ارشد گرایش آنالیزعددی

مقدمه

آنالیز عددی علم توسعه، طراحی، تجزیه و تحلیل الگوریتم‌های کارامد برای حل مسائل پیوسته‌ی ریاضی است. مسائل پیوسته، همان مدل‌های ریاضیِ پدیده‌های طبیعی شامل پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی، اقتصادی، مالی، زیستی و ... هستند که معمولاً در قالب معادلات دیفرانسیل، معادلات انتگرال و مسائل بهینه‌سازی ظاهر می‌شوند. لذا مدل‌سازی ریاضیِ مسائل دنیای طبیعی بخشی از دانش آنالیز عددی است، که قسمتی از ارتباط این علم با زمینه‌های دیگر در علوم کاربردی و مهندسی را مشخص می‌کند. بررسی این مدل‌های پیوسته از نگاه نظری دارای اهمیت زیاد بوده و روش محاسبه جواب آن‌ها مبتنی بر اطلاعات صحیح از مدل پیوسته و مبانی نظری است. از این رو، این گرایش در ارتباط مستقیم با سایر گرایش‌های ریاضی محض مانند آنالیز ریاضی و جبر خطی است. معمولاً برای یافتن جواب مدل، باید حالت گسسته‌ای از مدل طراحی شود که این امر لزوم بحثی با عنوان نظریه تقریب را ایجاب می‌کند. غالب مسائل گسسته منجر به حل دستگاه‌های معادلات جبری می‌شوند که معمولاً در قالب مباحث جبر خطی عددی باید به آن‌ها پرداخت. از دیگر سو، الگوریتم‌های عددیِ حل مسائل گسسته باید بر اساس منطق، توانایی و پیشرفت‌های علوم کامپیوتر طراحی و تحلیل شوند و لذا وجه دیگر آنالیز عددی ارتباط تنگاتنگ و فهم صحیح از محاسبات علمی است تا بتوان روش‌های تحلیل شده را به شکل بهینه و قابل اعتماد پیاده‌سازی نمود. ارتقا و به روزرسانی معماری کامپیوترها از کنکاش‌های دقیق محققین آنالیز عددی و ملاحظات اثبات شده این علم همواره بهره برده است.

بدیهی است که حل تقریبی مدل‌های پیوسته‌ی سایر گرایش‌های ریاضی کاربردی نظیر ریاضیات مالی، سیستم‌های دینامیکی و بهینه‌سازی نیز به نوعی در ارتباط با آنالیز عددی قرار می‌گیرند.

تعریف

دوره کارشناسی ارشدریاضی کاربردی - گرایش آنالیز عددی یکی از دوره‌های آموزشی-پژوهشی در سطح تحصیلات تکمیلی از نظام آموزش عالی است که بعد از دوره کارشناسی آغاز و به اعطای مدرک رسمی دانشگاهی می‌انجامد. این دوره از نظر اجرایی تابع ضوابط، مقررات و آیین‌نامه‌های مصوب شورای برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است.

اهداف

در ارایهٔ دورهٔ کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش آنالیز عددی، اهداف زیر دنبال می‌شود:

تربیت نیروی کارامد در:

- ایجاد پل ارتباطی بین ریاضیات با سایر رشته‌های علوم کاربردی و مهندسی؛
- تبدیل زبان تخصصی ریاضیات محض به زبان کاربرد در دنیای واقعی؛
- یافتن مدل پدیده‌های دنیای طبیعی به زبان ریاضی؛
- طراحی و تجزیه و تحلیل الگوریتم‌های عددی برای حل مدل‌های ریاضی که جواب آن‌ها به فرم بسته و دقیق در دست نیست؛
- به‌کارگیری پیشرفت‌های علوم کامپیوتر، محاسبات علمی و زبان‌های برنامه‌نویسی در حل عددی مسائل ریاضی.

نقش و توانائی

دانش‌آموختگان دورهٔ کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش آنالیز عددی به طور معمول قادرند: (اگرچه ممکن است هر دانش-آموخته فقط بخشی از توانایی‌های زیر را بسته به جهتی که در دوره کار کرده است کسب کند)

- برای یک پدیده‌ی طبیعی مدلی ریاضی طراحی کنند؛
- مدل‌های ریاضی را تجزیه و تحلیل و دید مناسبی از جواب (جواب‌های) مدل داشته باشند؛
- الگوریتم‌های عددی موجود برای حل مسائل ریاضی را تجزیه و تحلیل کنند؛
- الگوریتم‌های عددی جدید برای حل مسائل ریاضی طراحی و آن‌ها را تجزیه و تحلیل کنند؛
- به متخصصین سایر رشته‌های علمی، در زمینه حل تقریبی مسائل روزشان راهنمایی و همکاری دهند؛
- به بخش صنعت در برخی موارد مشاوره علمی ارائه دهند؛
- در زمینه علوم کامپیوتر، محاسبات علمی و زبان‌های برنامه‌نویسی و کاربرد آن‌ها افرادی مطلع و تأثیرگذار باشند.

ضرورت و اهمیت

برای بررسی یک پدیده در دنیای واقعی غالباً باید آن را به زبان ریاضی تبدیل و جواب (جواب‌های) آن را به دست آورده و در دنیای واقعی تفسیر و استفاده کنیم. لذا از یک طرف، ضرورتی برای تبدیل زبان طبیعت به زبان ریاضی وجود دارد که بحثی چند- رشته‌ای است که آنالیز عددی هم بخشی از آن است و از طرف دیگر، روش‌های تحلیلی در بسیاری از مواقع قادر به به‌دست دادن جواب‌هایی با فرم بسته و دقیق برای مدل‌های ریاضی نیستند و در اکثر (تقریباً همه‌ی) موارد چاره‌ای به جز قناعت به یک جواب تقریبی و تجزیه و تحلیل آن به کمک علم آنالیز عددی وجود ندارد. در نتیجه برای فهم درست از پدیده‌های طبیعی و توسعه و به‌کارگیری آن-ها در جامعه بشری، زنجیره‌ای وجود دارد که آنالیز عددی بخشی ضروری و لاینفک از آن است.

کلیات برنامه

عنوان دوره: کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش آنالیز عددی

پیش‌نیاز ورود: دارا بودن مدرک کارشناسی در یکی از رشته‌های مجموعه علوم ریاضی، فیزیک یا یکی از رشته‌های مهندسی*.

*پذیرفته شدگان با نظر گروه آموزشی مربوط موظف به گذراندن حداکثر ۶ واحد از درس‌های جبرانی هستند.

فصل دوم

جدول دروس دوره کارشناسی ارشد گرایش آنالیزعددی

درس‌های الزامی گرایش آنالیز عددی

شماره درس	نام درس	تعداد واحد
۱	آنالیز عددی پیشرفته	۳
۲	آنالیز حقیقی	۳

جدول درس‌های تخصصی- اختیاری

شماره درس	نام درس	تعداد واحد	پیش نیاز یا هم نیاز (ها)
۱	روش های عددی در جبر خطی	۳	-
۲	حل عددی معادلات دیفرانسیل معمولی	۳	آنالیز عددی پیشرفته
۳	حل عددی معادلات انتگرال	۳	آنالیز عددی پیشرفته
۴	نظریه معادلات انتگرال	۳	آنالیز حقیقی
۵	حل عددی معادلات دیفرانسیل جزئی	۳	آنالیز عددی پیشرفته
۶	روش عناصر متناهی	۳	آنالیز عددی پیشرفته و آنالیز حقیقی
۷	نظریه تقریب	۳	آنالیز عددی پیشرفته و آنالیز حقیقی
۸	موجک‌ها و کاربرد آنها	۳	آنالیز حقیقی
۹	حل عددی معادلات دیفرانسیل و انتگرال کسری	۳	آنالیز عددی پیشرفته
۱۰	حل عددی معادلات دیفرانسیل تصادفی	۳	آنالیز عددی پیشرفته
۱۱	آنالیز بازه‌ای	۳	روش‌های عددی در جبر خطی
۱۲	مدلسازی ریاضی	۳	-
۱۳	روش‌های بدون شبکه	۳	آنالیز عددی پیشرفته
۱۴	مباحث ویژه در آنالیز عددی	۳	اجازه گروه

فصل سوم

سرفصل دروس دوره کارشناسی ارشد گرایش آنالیزعددی

عنوان درس	فارسی	آنالیز عددی پیشرفته							
	انگلیسی	Advanced Numerical Analysis							
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	درس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی			۳	۴۸	مبانی آنالیز عددی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت				**نیاز به اجرای پروژه عملی:** دارد					

هدف درس: در این درس دانشجویان مفاهیم پایداری، همگرایی و سازگاری روش‌های عددی را فرا می‌گیرند و نظریه تقریب و برخی روش‌های تقریب توابع و تابعی‌ها را می‌آموزند.

ریز مطالب

آنالیز خطا و پایداری: آنالیز خطاهای گرد کردن؛ آنالیز خطای انواع الگوریتم‌های عددی (مانند الگوریتم ضرب داخلی، ضرب ماتریسی، عملگرهای ریاضی در دستگاه مختلط و غیره)؛ تعریف پایداری، سازگاری و همگرایی و ارتباط آن‌ها (قضیه هم‌ارزی لکس)؛ تعریف عدد حالت (ضریب وضعیت) و به دست آوردن آن در برخی مسائل ریاضی و الگوریتم‌های عددی؛ انواع آنالیز خطا و پایداری (پیشین، پسین، پسرو، پیشرو).

آشنایی با تقریب: مسئله بهترین تقریب؛ قضیه وایراشتراس؛ تقریب یکنواخت؛ صورت قضیه هم نوسانی؛ چندجمله‌ای‌های چبیشف و ویژگی‌های آن‌ها؛ تقریب در نرم دو؛ معادلات نرمال؛ دستگاه یکامتعامد؛ چندجمله‌ای‌های متعامد و خواص آن‌ها؛ تقریب فوریه؛ تقریب کمترین مربعات گسسته.

درونیابی: مسئله وجود و یکتایی؛ فرمول‌های درونیابی لاگرانژ، نیوتن، گرانیگایی و مقایسه آن‌ها از دید پایداری و هزینه محاسباتی؛ برآورد خطای درونیابی به کمک فرمول هسته پئانو؛ بحث در همگرایی، مثال رونگه، همگرایی در نرم بینهایت و نرم دو؛ پایداری مسئله درونیابی و ثابت لبگ؛ درونیابی‌ارمیت؛ درونیابی مثلثاتی و تبدیل فوریه سریع؛ درونیابی‌گویا و تقریب پاده؛ مسئله درونیابی تعمیم یافته؛ درونیابی چند متغیره؛ معرفی فضاهای هار.

اسپلاین‌ها: فضای اسپلاین‌ها؛ ریشه‌های اسپلاین‌ها؛ اسپلاین‌های درونیاب؛ انواع شرایط مرزی؛ اسپلاین درونیاب مکعبی و ویژگی‌های آن؛ B-اسپلاین‌ها و ویژگی‌های آن‌ها؛ درونیابی و تقریب به کمک B-اسپلاین‌ها.

انتگرال‌گیری و مشتق‌گیری عددی: فرمول‌های نیوتن-کوته؛ برآورد خطا به کمک فرمول هسته پئانو؛ فرمول‌های گاوسی (گاوس- لژاندر، گاوس- چبیشف، گاوس- ژاکوبی، گاوس- لوباتو، گاوس- رادو)؛ برآورد خطا؛ بسط اویلر- مک لوران، برونیابی ریچاردسون، انتگرال‌گیری رامبرگ؛ فرمول‌های انتگرال‌گیری خاص (انتگرال‌گیری تکین و انتگرال روی دامنه‌های نامتناهی)؛ مشتق‌گیری عددی، مشتقات جزئی.

مراجع پیشنهادی

1. R. Kress (1998). **Numerical Analysis**, Springer.
2. D. R. Kincaid, E.W. Cheney (2001). **Numerical Analysis: Mathematics of Scientific Computing**, 3rd. Ed., Brooks Cole.
3. J. Stoer, B. Bulirsch (2002). **Introduction to Numerical Analysis**, 3rd. Ed., Springer.
4. A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri (2007). **Numerical Mathematics**, 2nd. Ed., Springer.
5. G. Dahlquist, A. Bjork (2008). **Numerical Methods in Scientific Computing**, Volum I, SIAM.
6. W. Gautschi (2012). **Numerical Analysis**, 2nd. Ed., Birkhäuser.

عنوان درس	فارسی	روش های عددی در جبر خطی							
	انگلیسی	Numerical Methods in Linear Algebra							
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	درس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی			۳	۴۸	-
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت						نیاز به اجرای پروژه عملی: دارد			

هدف درس: در این درس دانشجویان با روش‌های عددی کلاسیک حل دستگاه‌های معادلات خطی، مسئله کمترین مربعات، مسائل مقدار ویژه، روش‌های تکراری در حل دستگاه‌های مقیاس- بزرگ و آنالیز پایداری و همگرایی آن‌ها آشنا می‌شوند. در هر بحث تا حد امکان مثال‌هایی از صنعت و خواستگاه‌های این نوع مسائل ارایه می‌گردد.

ریز مطالب:

مفاهیم اولیه: نرم‌های برداری و ماتریسی، ضرب‌های ماتریس- برداری، بردارها و ماتریس‌های متعامد، فضای پوچی و فضاهای ستونی و سطری ماتریس‌ها.

تجزیه‌های مهم ماتریسی: تجزیه شور، تجزیه طیفی، تجزیه مقدار تکین، تجزیه قطبی.

وضعیت و پایداری: تعریف وضعیت (حالت) مسئله و پایداری الگوریتم، آنالیزهای پایداری پسرو و پیشرو، عدد حالت دستگاه معادلات خطی، تأثیرات اختلال در دستگاه معادلات خطی، رابطه بین دقت جواب‌ها با عدد حالت مسائل.

روش‌های تجزیه مستقیم: نسخه‌های مختلف روش حذفی گاوس، آنالیز پایداری و بررسی عامل رشد خطاها، روش‌های تجزیه LU و چولسکی، حل دستگاه‌های سه قطری و هسنبرگی، تحلیل پایداری، کاربردهایی از دستگاه‌های معادلات خطی.

مسئله کمترین مربعات: تجزیه QR به کمک ماتریس‌های هاسهولدر، ماتریس‌های گیونز و الگوریتم گرم- اشمیت، یکتایی تجزیه QR، پایداری تجزیه QR، تصویر به کمک تجزیه QR، حل کمترین مربعات به کمک تجزیه QR، مقادیر تکین، SVD، قضیه وجود و یکتایی، روش گالوب- کاهان- راینش برای SVD، ویژگی‌های و کاربردهای SVD، تصویر به کمک تجزیه SVD، حل کمترین مربعات به کمک تجزیه SVD.

روش‌های تکراری برای مسائل با مقیاس بزرگ: روش‌های تکراری کلاسیک و آنالیز همگرایی کلی، روش‌های ژاکوبی، گاوس- سایدل و SOR به همراه بررسی مسائل خاص از قبیل ماتریس‌های معین مثبت.

روش‌های عددی در مسائل مقدار ویژه: خاستگاه‌های فیزیکی مقادیر و بردارهای ویژه؛ مکان مقادیر ویژه در صفحه مختلط و فضایای گرشگورین؛ مفاهیم مقادیر ویژه و ماتریس‌های ساده، شبه‌ساده و ناقص، چندگانگی جبری و چندگانگی هندسی برای مقادیر ویژه ماتریس‌ها، شکل کانونی ژوردن ماتریس‌ها، روش توانی، روش تکرار خارج قسمت ریلی؛ حساسیت مقادیر و بردارهای ویژه، تبدیل به ماتریس‌های متشابه از راه قطری‌سازی و تبدیل به فرم هسنبرگ؛ روش تکرار QR، روش هسنبرگ- QR، روش تکرار QR ضمنی؛ فرم حقیقی شور، محاسبه بردارهای ویژه، الگوریتم‌های عددی برای ماتریس‌های متقارن: روش دو بخشی برای ماتریس سه قطری متقارن، روش تکرار QR متقارن، روش ژاکوبی.

مراجع پیشنهادی

1. G. H. Golub, C. F. Van Loan (2012). **Matrix Computations**, 4th Ed., Johns Hopkins University Press.
2. L. N. Trefethen, D. Bau, III, (1997). **Numerical Linear Algebra**, SIAM.
3. J. W. Demmel (1997). **Applied Numerical Linear Algebra**, SIAM.
4. David S. Watkins (2002). **Fundamental of Matrix Computations**, 2nd. Ed., Wiley.
5. N. J. Higham (2002). **Accuracy and Stability of Numerical Algorithms**, 2nd. Ed., SIAM.
6. Y. Saad (2003). **Iterative Methods for Sparse Linear Systems**, 2nd. Ed., SIAM.
7. B. N. Datta (2010). **Numerical Linear Algebra and Applications**, 2nd. Ed., SIAM.

عنوان درس	فارسی	حل عددی معادلات دیفرانسیل معمولی						
	انگلیسی	Numerical Solution of Ordinary Differential Equations						
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	درس هم نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی			۳	۴۸	آنالیز عددی پیشرفته
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت				نیاز به اجرای پروژه عملی: دارد					

هدف درس: در این درس دانشجویان روش‌های عددی حل معادلات دیفرانسیل معمولی را به همراه آنالیز خطا و پایداری فرا می‌گیرند.

ریز مطالب:

روش‌های کلاسیک: روش‌های اویلر پیشرو و پسرو و ذوزنقه‌ای به همراه آنالیز خطا و آنالیز خطای مجانبی (برونیایی ریچاردسون)، پایداری عددی، A- پایداری و صفر- پایداری، رابطه بین پایداری، سازگاری و همگرایی، تأثیر خطاهای گرد کردن، حل دستگاه معادلات دیفرانسیل معمولی.

روش‌های رونگه-کوتا: جدول ضرایب بوچر، همگرایی، پایداری و خطای مجانبی روش‌های رونگه-کوتای صریح، روش‌های پیشگو و اصلاح خطا در این روش‌ها؛ روش‌های رونگه-کوتا-فلنبرگ، روش‌های رونگه-کوتای ضمنی و جدول ضرایب بوچر، آنالیز همگرایی و پایداری آن‌ها، حوزه‌های پایداری.

روش‌های چندگامی: روش‌های آدامز- بشفورت و آدامز- مولتن، آنالیز خطا، پایداری و سازگاری، پایداری نسبی و پایداری ضعیف و مفهوم G- پایداری، حوزه‌های پایداری این روش‌ها، نحوهٔ پیاده‌سازی.

مراجع پیشنهادی

1. D. Lambert (1991). **Numerical Methods for Ordinary Differential Equations: The Initial Value Problems**, 2nd. Ed., Wiley.
2. J. C. Butcher (2003). **Numerical Methods for Ordinary Differential Equations**, Wiley.
3. R. J. LeVeque (2007). **Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equation**, SIAM.
4. K. E. Atkinson, W. Han, D. Stewart (2009). **Numerical Solution of Ordinary Differential Equations**, Wiley.
5. D. F. Griffiths and D. J. Higham (2010). **Numerical Methods for Ordinary Differential Equations**, Springer.

عنوان درس	فارسی	حل عددی معادلات انتگرال						
	انگلیسی	Numerical Solution of Integral Equations						
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	درس هم نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی			۳	۴۸	آنالیز عددی پیشرفته
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت				**نیاز به اجرای پروژه عملی:** دارد					

هدف درس: معادلات انتگرال به عنوان یکی از مهمترین مباحث در ریاضیات محاسباتی نقش انکارناپذیری را در نظریه معادلات عملگری ایفا می‌کند. اگرچه مدل بسیاری از پدیده‌های طبیعی یک معادله انتگرال است اما اهمیت اصلی معادلات انتگرال به واسطه تبدیل برخی معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی به این دسته از معادلات بوده و به دلیل پایداری روش‌های انتگرال‌گیری عددی و ویژگی‌های عملگر انتگرالی نسبت به روش‌های مشتق‌گیری عددی، حل عددی آن‌ها مورد نظر است. انتظار می‌رود در این درس دانشجویان ضمن آشنایی با مفاهیم اولیه مرتبط با معادلات انتگرال و ضمن مطالعه روش‌های عددی مختلف برای انواع آن‌ها از نوع ولترا و فردهلم، توانایی تجزیه و تحلیل روش‌ها را نیز به دست آورند.

ریز مطالب:

مقدمه‌ای بر معادلات انتگرال: تقسیم‌بندی مسایل ریاضی در ریاضیات محاسباتی، دسته‌بندی معادلات انتگرال (نوع اول، نوع دوم، نوع سوم، نوع چهارم؛ فردهلم و ولترا؛ خطی و غیرخطی؛ تکین و ناتکین)، خوش‌وضعی و بدوضعی معادلات انتگرال، ارتباط معادلات انتگرال و معادلات دیفرانسیل (معمولی و جزئی)، بررسی وجود و یکتایی جواب معادلات انتگرال.

حل عددی معادلات انتگرال فردهلم نوع دوم: بررسی خواص عملگر انتگرال فردهلم فشرده و غیرفشرده روی فضای توابع پیوسته $C(D)$ و فضای L^2، روش هسته تباهیده، روش نیشترم، روش‌های تصویری (نظریه کلی، روش هم‌مکانی، روش گالرکین، روش‌های طیفی، روش‌های تصویری تکراری، آنالیز خطای روش‌های تصویر، فوق همگرایی)، حل عددی معادلات انتگرال ولترا نوع دوم.

حل عددی معادلات انتگرال نوع اول: حل عددی معادلات انتگرال نوع اول فردهلم (نظریه کلی، روش منظم‌سازی، روش افزوده گالرکین)، حل عددی معادلات انتگرال نوع اول ولترا.

مراجع پیشنهادی

1. L. M. Delves and J. L. Mohamed (1985). **Computational Methods for Integral Equations**, Cambridge University Press.
2. P. Linz (1985). **Analytical and Numerical Methods for Volterra Equations**, SIAM.
3. K. E. Atkinson (1997). **The numerical solution of integral equations of the second kind**, Cambridge University Press.
4. A. J. Jerri (1999). **Introduction to Integral Equations with Applications**, John Wiley & Sons.
5. H. Brunner (2004). **Collocation Methods for Volterra Integral and Related Functional Differential Equations**, Cambridge University Press.
6. W. Hackbusch (2012). **Integral Equations: Theory and Numerical Treatment**, Birkhäuser.
7. R. P. Kanwal (2013). **Linear Integral Equations: Theory and Techniques**, 2nd. Ed., Birkhäuser.
8. R. Kress (2014). **Linear Integral Equations**, 3rd. Ed., Springer-Verlag.

عنوان درس	فارسی	نظریه معادلات انتگرال						
	انگلیسی	The Theory of Integral Equations						
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	درس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی		۳		آنالیز حقیقی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: ندارد					نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف درس: نظریه معادلات انتگرال یکی از جنبه‌های عینی و مهم نظریه معادلات عملگری است. بررسی ویژگی‌های کرانداری و فشردگی عملگرهای انتگرالی از جمله ویژگی‌های مهمی است که در این درس مورد نظر است. در این درس دانشجویان ضمن آشنایی با معادلات انتگرال کلاسیک به ارتباط بین معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی با شرایط اولیه و مرزی مختلف) پی برده و ضمن شناخت معادلات انتگرال مرزی و تکین به بررسی شرایط وجود و یکتایی جواب و نیز روش‌های حل تحلیلی معادلات انتگرال ولترا و فردهلم در فضای توابع پیوسته C(D) و فضای L^2 می‌پردازند.

ریز مطالب

مقدمه‌ای بر آنالیز تابعی: فضاهای خطی نرم‌دار، عملگرهای خطی، دستگاه یکا متعامد، مسأله بهترین تقریب، خواص عملگرهای انتگرال خطی کراندار و فشرده، اصل کرانداری یکنواخت، قضیه آرزلا- اسکولی، ویژه مقدار و ویژه تابع، قضیه تناوبی فردهلم، عملگرهای خودالحاق، قضیه نمایش ریس، فضای دوگان، فرم‌های دوخطی و شبه خطی، مشتق فرشه.

مقدمه‌ای بر معادلات انتگرال: دسته‌بندی معادلات انتگرال (نوع اول- نوع دوم- نوع سوم- نوع چهارم- فردهلم و ولترا- خطی و غیرخطی- تکین و ناتکین)، خوش وضعی و بدوضعی معادلات انتگرال، تبدیل مسایل مقدار اولیه و مرزی با شرایط مختلف در قالب معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی به معادلات انتگرال، تابع دلتای دیراک، روش تابع گرین، بررسی وجود و یکتایی جواب معادلات انتگرال.

معادلات انتگرال ولترا: بررسی ویژگی‌های عملگرهای انتگرالی ولترا فشرده و غیرفشرده بر فضای توابع پیوسته $C^d(D)$ ، $d \leq 1$ و نیز بررسی شرایط منظم برای جواب‌ها، روش‌های تکراری (تقریبات متوالی- سری نیومن- روش هسته‌های تکراری- روش هسته حلال و بررسی شرایط همگرایی آنها)- استفاده از تبدیلات انتگرالی.

معادلات انتگرال فردهلم: بررسی ویژگی‌های عملگرهای انتگرالی فردهلم فشرده و غیرفشرده بر فضای توابع پیوسته C(D) و فضای L^2، روش هسته جدایی‌پذیر، (روش‌های تکراری) تقریبات متوالی- سری نیومن- روش هسته‌های تکراری- روش هسته حلال فردهلم و بررسی شرایط همگرای آنها- (خواص هسته حلال- نظریه تناوبی فردهلم و فضایای مربوط).

نظریه هیلبرت – اشمیت برای هسته‌های متقارن: بررسی ویژگی‌های ویژه مقدارها و ویژه تابع‌های هسته‌های متقارن، قضیه هیلبرت- اشمیت، قضیه مرکر، مفاهیم تباهیدگی، سادگی و چندگانگی ویژه مقدارهای هسته‌های متقارن، هسته‌های بریده، فرم دوخطی هسته‌های متقارن، حل معادلات انتگرال با هسته متقارن، تقریب یک هسته (نه لزوماً متقارن) با یک هسته جدایی‌پذیر.

معادلات انتگرال منفرد و منفرد ضعیف: آشنایی با معادلات انتگرال آبل، معادلات انتگرال کوشی، معادلات انتگرال هیلبرت، معادلات انتگرال کارلمن، معادلات انتگرال وینر- هوپ همگن و ناهمگن.

معادلات انتگرال مرزی: معادلات انتگرال مرزی (مسئله دیریکله، مسئله نیومن)، مسائل برونی (مسئله نیومن و دیریکله برونی)، معادلات انتگرال مرزی مستقیم، معادلات انتگرال مرزی نوع دوم، معادلات انتگرال مرزی نوع اول، معرفی فضاهای سوبولف.

مراجع پیشنهادی

1. C. Corduneanu (1991). **Integral Equations and Applications,** Cambridge University Press.
2. M. Masujima (2005). **Applied Mathematical Methods in Theoretical Physics**, John-Wiley.
3. K. E. Atkinson and W. Han (2005). **Theoretical Numerical Analysis**, Springer.
4. G. C. Hsiao and L. W. Wolfgang (2008). **Boundary Integral Equations,** Springer.
5. R. P. Kanwal (2013). **Linear Integral Equations: Theory and Techniques**, Second Edition, Birkhäuser.
6. R. Precup (2013). **Methods in Nonlinear Integral Equations**, Springer.
7. R. Kress (2014). **Linear Integral Equations**, Third Edition, Springer-Verlag.

عنوان درس	فارسی	حل عددی معادلات دیفرانسیل جزئی							
	انگلیسی	Numerical Solution of Partial Differential Equations							
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	درس هم نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی				۳	۴۸	آنالیز عددی پیشرفته
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت				**نیاز به اجرای پروژه عملی:** دارد					

هدف درس: عمده این درس حل عددی معادلات دیفرانسیل جزئی با روشهای تفاضلات متناهی(FDM) است. دانشجویان در این درس با روش‌های حل معادلات بیضوی، سهموی و هذلولوی آشنا می‌شوند و نحوه انجام آنالیزهای پایداری و خطای آن‌ها را آموزش می‌بینند. معایب و محاسن روش FDM را تشخیص می‌دهند و برای روش‌های عددی دیگر در حل این نوع معادلات کاملاً آماده می‌شوند. پس از اتمام این درس دانشجو تقریباً برای حل هر معادله‌ی دیفرانسیل مقدار مرزی ایده‌ای خواهد داشت.

پیشنیازهای علمی لازم: دانشجو پیش از اخذ این درس لازم است تا درس معادلات دیفرانسیل جزئی دوره کارشناسی را گذرانده و آشنایی کافی با یکی از نرم‌افزارهای ریاضی مانند Matlab و یا یکی از زبان‌های برنامه‌نویسی مانند Fortran یا C داشته باشد.

ریز مطالب

دسته بندی و دیدگاه‌های فیزیکی: دسته بندی معادلات دیفرانسیل جزئی و معرفی برخی معادلات دیفرانسیل جزئی مهم، چند مدلسازی از مسائل فیزیکی مانند پخش و انتقال، طرح ها و عملگرهای تفاضلات متناهی روی نواحی منظم و نامنظم.

حل تفاضلات متناهی معادلات بیضوی: طرحهای تفاضلات متناهی برای معادله لاپلاس با انواع شرایط مرزی، آنالیز خطا به کمک اصل ماکسیمم و تابع محک، حل معادلات بیضوی در حالت کلی‌تر، حل روی نواحی با مرز خمیده، حل تفاضلات متناهی در مختصات قطبی و کروی، طرح‌های تفاضل متناهی فشرده.

حل تفاضلات متناهی معادلات سهموی: روش‌های صریح و ضمنی و وزنی به همراه خطاهای برشی و اثبات سازگاری، آنالیز پایداری آنها با روش های مختلف (روش فوریه، روش ماتریسی و غیره)، اثبات همگرایی به کمک اصل ماکسیمم، روشهای چندگامی در زمان، روش خطوط و ارتباط بین پایداری معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی، حل برخی مسائل غیر خطی، حل معادلات سهموی در حالت دو و سه بعدی با روش های صریح و روشهای ADI و LOD به همراه بررسی همگرایی و پایداری و مزایا و معایب هر یک، حل مسائل چندبعدی روی نواحی با مرز خمیده، حل معادلات انتقال گرما در مختصات قطبی، استوانه ای و کروی.

حل تفاضلات متناهی معادلات هذلولوی: معرفی مختصات مشخصه و مروری بر حل تحلیلی معادلات موج یک طرفه (مرتبه اول) و دو طرفه (مرتبه دوم)، تعریف دامنه تأثیر، طرح های تفاضلات بادسو (upwind و downwind)، تعریف دامنه تأثیر عددی و شرط CFL، طرحهای تفاضلاتی لکس-وندروف و لکس-فردریش، box و leap-frog، آنالیز خطا و پایداری طرح های گفته شده، طرح‌های TVD، معادلات قانون بقا، مختصری درباره‌ی روش حجم‌های متناهی (FVM) برای معادلات قانون بقا، بررسی حالت دو بعدی، حل تفاضلات متناهی معادله موج دو طرفه.

مراجع پیشنهادی

1. J. W. Thomas (1995). **Numerical PDE: Finite Difference Methods**, Vol. I, Springer.
2. J. W. Thomas (1999). **Numerical PDE: Conservation Laws and Elliptic Equations**, Vol. II, Springer.

3. G. Evans, J. Blakedge and P. Yardley (2000). **Numerical Methods for PDE**, Springer.
4. W. F. Ames (2004). **Numerical Methods for Partial Differential Equations**, 2nd. Ed., Academic Press.
5. J. C. Strikwerda (2004). **Finite Difference Schemes and Partial Differential Equations**, 2nd. Ed., SIAM.
6. K. W. Morton, D. Mayers (2005). **Numerical Solution of Partial Differential Equations**, 2nd. Ed., Cambridge University Press.
7. R. M. M. Mattheij, S. W. Rienstra, J. H. M. ThijeBoonkkamp (2005). **Partial Differential Equations: Modeling, Analysis, Computation**, SIAM.
8. R. LeVeque (2007). **Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations**, SIAM.

عنوان درس	فارسی	روش عناصر متناهی						
	انگلیسی	Finite Elements Method						
نوع واحد						تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی		۳	۶۴	آنالیز عددی پیشرفته و آنالیز حقیقی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت				**نیاز به اجرای پروژه عملی:** دارد				

هدف درس: روش عناصر متناهی یکی از روش‌های پایه‌ای و محبوب در حل معادلات دیفرانسیل مقدار مرزی است که در آن از یک طرف دانشجو برای اولین بار با مفهوم جواب فرم ضعیف (جواب توزیعی) آشنا می‌شود و از سوی دیگر نحوهٔ کاربرد تقریب‌های چندجمله‌ای موضعی برای یافتن جواب این نوع معادلات را فرا می‌گیرد. ابزارهای ساده در آنالیز تابعی به صورت کاملاً ملموس در این درس استفاده می‌شوند و دانشجو علاوه بر پیاده سازی عددی، همگرایی جواب‌های حاصل شده را نیز بررسی می‌کند.

پیشنیازهای علمی لازم: دانشجو پیش از اخذ این درس لازم است تا درس معادلات دیفرانسیل جزئی دوره کارشناسی را گذرانده، با مقدمات آنالیز تابعی آشنا باشد و تسلط کافی با یکی از نرم‌افزارهای ریاضی مانند Matlab و یا یکی از زبان‌های برنامه‌نویسی مانند Fortran یا C داشته باشد.

ریز مطالب

آنالیز تابعی: فضاهای هیلبرت، قضیه نمایش ریس، معرفی مشتق ضعیف، فضاها و نرم‌های سوبولف، نامساوی سوبولوف و پوانکاره (بدون اثبات).

فرم ضعیف مسائل مقدار مرزی: قضایای دیورژانس و گرین، مینیمم انرژی، انواع شرایط مرزی، نظریه وجود و یکتایی فرم ضعیف، فرم‌های تغییراتی برای مسائل متقارن و نامتقارن، قضیه لکس-میلگرام، بررسی شرایط مرزی نویمان و مخلوط.

روش گالرکین: قضیه تصویر، روش گالرکین برای یک مسئله تغییراتی.

درونیابی چندجمله‌ای وتقریب‌های عناصر متناهی: مروری بر درونیابی به وسیله‌ی چندجمله‌ای‌ها در فضاهای یک و دوبعدی و کران خطای درونیابی قطعه‌ای خطی چندجمله‌ای‌های تکه‌ای خطی، درجه دو و مکعبی روی بازه‌ها و مثلث، روش تسلسلی برای ساختن پایه‌های درجه بالاتر، انتگرالگیری عددی روی مثلث‌ها، اسمبل کردن و تولید ماتریس سختی، عناصر مستطیلی.

روش عناصر متناهی برای مسائل مقدار مرزی (یک و دو بعدی): فرمول‌بندی روش، آنالیز خطای پیشین در نرم انرژی (قضیه Cea) و نرم L^2. آنالیز خطای پسین در نرم انرژی. تعریف عملگرهای تصویر L^2 و تصویر ریتز و کران خطای آنها.

روش‌های CG(1) و DG(0) برای حل مسائل مقدار اولیه: فرمول‌بندی روش‌ها و آنالیز خطای پیشین و پسین.

روش عناصر متناهی برای معادلات سهموی: نیم‌گسسته‌سازی معادله گرما نسبت به متغیر مکان با روش عناصر متناهی، آنالیز پایداری و آنالیز خطای پیشین. گسسته‌سازی کامل معادله گرما با ترکیب با گسسته‌سازی زمانی به وسیله روشی تفاضل متناهی و آنالیز خطای پیشین آن.

روش عناصر متناهی برای معادلات هذلولوی: نیم‌گسسته‌سازی معادله موج نسبت به متغیر مکان با روش عناصر متناهی، آنالیز پایداری و قانون بقای انرژی و آنالیز خطای پیشین. گسسته‌سازی کامل معادله موج با ترکیب با گسسته‌سازی زمانی به وسیله روشی تفاضل متناهی و آنالیز خطای پیشین آن.

پیاده‌سازی: برنامه‌نویسی روش عناصر متناهی، روش‌های حل مستقیم و تکراری ماتریس سختی و ماتریس جرم.

مراجع پیشنهادی

1. G. Strang, G.J. Fix (1973). **An Analysis of the Finite Element Method**, Prentic-Hall.
2. P. G. Ciarlet (1978). **The Finite Element Method for Elliptic Problems,** North-Holland.
3. J. N. Reddy (1993). **An Introduction to the Finite Element Method**, McGraw-Hill, Inc. 2nd edition.
4. M. S. Gockenbach (2006). **Understanding and Implementing the Finite Element Method**, SIAM.
5. D. Braess (2007). **Finite Elements, Theory, Fast Solvers, and Applications in Elasticity Theory**, Cambridge University Press, 3rd. Ed.
6. S. C. Brenner, L. R. Scott (2008). **The Mathematical Theory of Finite Element Methods**, Springer, 3rd. Ed.

عنوان درس	فارسی	نظریه تقریب							
	انگلیسی	Approximation Theory							
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی			۳		آنالیز عددی پیشرفته و آنالیز حقیقی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				**نیاز به اجرای پروژه عملی:** ندارد					

هدف درس: در آنالیز عددی مسائل پیوسته ریاضی گسسته‌سازی و به صورت تقریبی در فضاهای با بعد متناهی حل می‌شوند. اگر گسسته‌سازی بر اساس معیارهای آنالیز عددی درست انجام شود، با اصلاح کردن آن جواب مسئله گسسته به جواب مسئله پیوسته میل خواهد کرد. هدف این درس آشنا نمودن دانشجویان با نظریه تقریب که ارتباط بین مسئله پیوسته و مسئله گسسته را برقرار می‌کند، است. در این درس تقریب‌های چندجمله‌ای، مثلثاتی، گویا و اسپلاین‌ها در برخی نرم‌ها و در حالت یک بعدی بررسی خواهد شد.

ریز مطالب

مسئله بهترین تقریب: یادآوری فضاهای متریک و فضاهای ضرب داخلی، وجود بهترین تقریب در فضاهای متریک و نرمدار، نرم اکیداً محدب، یکتایی بهترین تقریب، عملگرهای تقریب و پیوستگی آنها، ثابت‌های لبگ، مروری بر نظریه درونیابی.

تقریب یکنواخت: قضیه وایراشتراس، عملگرهای یکنوا، چندجمله ای‌های برنشتاین و مشتقات آنها، مدول پیوستگی، مرتبه همگرایی تقریب با چندجمله‌ای‌ها، قضایای جکسون، اصل کرانداری یکنواخت، بهترین تقریب چندجمله ای یکنواخت (چندجمله ای مینیماکس)، اثبات قضیه هم نوسانی و ساختار بهترین تقریب یکنواخت، قضیه یکتایی، تعمیم به زیرفضاهای هار، چندجمله ای‌های چبیشف، تقریب روی مجموعه متناهی از نقاط، روش‌های محاسباتی شامل الگوریتم رمز و همگریی آن، روش‌های برنامه ریزی خطی، نزدیک بهترین تقریب (near-best)، تقریب کاراتئودوری-فیر.

تقریب کمترین مربعات: قضیه تقریب در نرم دو، معادلات نرمال، دستگاه یکامتعامد، چندجمله‌ای‌های متعامد و خواص آنها، همگرایی بسط‌های متعامد و فضاهای کامل، همگرایی طیفی بسط‌های لژاندر، چبیشف، لاگر، ارمیت، مسئله شتورم-لیوویل، مروری بر فرمول‌های انتگرال‌گیری گاوس، تقریب کمترین مربعات روی مجموعه متناهی از نقاط.

تقریب توابع متناوب: چندجمله‌ای‌های مثلثاتی، قضیه وایرشتراس برای چندجمله‌ای‌های مثلثاتی، سری فوریه و عملگر فوریه، قضیه دینی-لیپشیتس، پدیده گیبس، هسته های دیریکله و فیر، بررسی همگرایی سری فوریه در نرم یکنواخت و نرم دو، کاربرد اصل کرانداری یکنواخت در تقریب فوریه، تقریب فوریه گسسته و تبدیل سریع فوریه، بررسی همگرایی طیفی و پایداری تقریب فوریه و ارتباط با تقریب‌های چندجمله ای.

اسپلاین‌ها: فضای اسپلاین‌ها، اسپلاین‌های درونیاب و B-اسپلاین‌ها و خواص بازگشتی آنها، همگرایی تقریب با اسپلاین‌ها، یافتن خطا با هسته پئانو، اسپلاین‌های کامل، تقریب کمترین مربعات با اسپلاین‌ها، منحنی‌های بزیه.

تقریب گویا: بهترین تقریب کسری در نرم بینهایت، قضیه وجود و ساختار بهترین تقریب، الگوریتم رمز، کسرهای تسلسلی، درونیابی گویا و الگوریتم‌های کارا برای آن.

مراجع پیشنهادی

1. M. J. D. Powell (1981). **Approximation Theory and Methods,** Cambridge University Press.
2. E. W. Cheney (1982). **Introduction to Approximation Theory**, AMS Publication, 2nd edition.
3. G. Nürnberger (1989). **Approximation by Spline Functions**, Springer.
4. R. A. DeVore and G. G. Lorentz (1993). **Constructive Approximation,** Springer.
5. E. W. Cheney and W. Light (2000). **A Course in Approximation Theory,** AMS Publication.
6. T. J. Rivlin (2003). **An Introduction to the Approximation of Functions**, Dover Publication (Republication of the originally published by the Blaisdell Publication Co. in 1669).
7. G. M. Phillips (2003). **Interpolation and Approximation by Polynomials**, Springer.
8. L. N. Trefethen (2013). **Approximation Theory and Approximation Practice**, SIAM.

عنوان درس	فارسی	موجک‌ها و کاربرد آنها							
	انگلیسی	Wavelets and Their Application							
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	درس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی				۳	۴۸	آنالیز حقیقی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف درس: در این درس دانشجویان با موجک‌ها به عنوان ابزاری کارا در نظریه تقریب آشنا خواهند شد. کاربردهای آنها در پردازش تصویر و معادلات دیفرانسیل نیز از اهداف دیگر این درس است.

ریز مطالب:

مقدمات ریاضی: فضاهای خطی و برداری، فضاهای نرمدار و کامل، فضای هیلبرت، مقدماتی بر نظریه عملگرهای خطی، پایه های ریس و تغییر پایه ها، تقریب با تصاویر متعامد، سیگنال‌های دیجیتال، تبدیل Z و معکوس آن.

آنالیز فوریه: تابع شانه ای و هسته سری‌های فوریه، تبدیل فوریه و خواص آن، انتقال های زمانی و مقیاس زمانی، ممان‌ها، پیچش، قضیه پارسوال، پالس‌های متعامد، مثلثی و تابع گاوسی، قضیه نمونه برداری، پدیده گیبس، آنالیز فوریه سیگنال‌های گسسته زمانی، آنالیز فوریه گسسته، تبدیل فوریه گسسته.

آنالیز فرکانس – زمان: توابع پنجره ای، تبدیل فوریه کوتاه زمانی، تبدیل گابور، خواص STFT، تبدیل موجک پیوسته، سری‌های موجک، توزیع ویگنر – ویل و خواص آن.

آنالیز تجزیه چندمقیاسی: آنالیز موجک هار، فضاهای چند سطحی، تجزیه متعامد، دومتعامدی و شبه متعامد، روابط دو مقیاسی، روابط تجزیه و بازسازی، توابع B-اسپلاین و خواص آن، نگاشت یک تابع در فضای MRA.

ساخت موجک ها: شرایط ساخت موجک، روابط بین دنباله های دومقیاسی و تجزیه و باز سازی، ساخت موجک های شبه متعامد اسپلاین، ساخت موجک های متعامد، توابع مقیاس متعامد شانن میر، لماری، دابیشز، ساخت موجک های دو متعامدی، موجک‌های چندگانه.

تبدیل موجک گسسته و الگوریتم های فیلتر بانک: نمایش سیگنال در زیر فضای تقریبی، بازسازی فیلتر بانک ها، ارایه فیلتر بانک های چند حالته، تبدیل موجک گسسته.

تبدیل سریع انتگرال و کاربردهای آن: تظریف زمان و مقیاس، تبدیل موجک انتگرال.

موجک و پردازش تصویر: کاربرد موجک‌ها در پردازش تصویر، فشرده سازی و حذف نویز با موجک‌ها.

موجک و معادلات دیفرانسیل: عدد حالت ماتریس، مقدمه‌ای بر روش‌های طیفی، روش‌های موجک-گالرکین برای معادلات دیفرانسیل.

مراجع پیشنهادی

1. David F. Walnut (2002). **An Introduction to Wavelet Analysis**, Birkhauser Boston.
2. E. Aboufadel and S. Schlicker (1999). **Discovering Wavelets**, John Wiley & Sons, Inc.
3. A. Boggess, F.J. Narcowich (2009). **A First Course in Wavelets with Fourier Analysis**, Prentice Hall.

عنوان درس	فارسی	حل عددی معادلات دیفرانسیل و انتگرال کسری						
	انگلیسی	Numerical Solution of Fractional Differential and Integral Equations						
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	درس هم نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی			۳		آنالیز عددی پیشرفته
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف درس: در این درس دانشجویان با حسابان مرتبه کسری شامل انواع انتگرال و مشتق مرتبه کسری آشنا می‌شوند و برخی روش‌های مرسوم در حل معادلات دیفرانسیل و انتگرال مرتبه کسری را می‌آموزند.

ریز مطالب

بخش اول: آشنایی با حسابان کسری

توابع خاص در حسابان کسری: تابع گاما و توابع خاص وابسته به آن، توابع میتاگ-لفلر یک پارامتری، دو پارامتری و سه پارامتری، تابع رایت، توابع ابرهندسی، مقدمه‌ای بر روش‌های عددی محاسبه توابع خاص.

انتگرال‌ها و مشتق‌های کسری: انتگرال کسری ریمان-لیوویل، مشتق کسری ریمان-لیوویل، تعبیر هندسی و تعبیر فیزیکی از انتگرال‌گیری و مشتق-گیری کسری، مشتق کسری کاپوچو، تبدیل لاپلاس از مشتق‌های کسری، تبدیل فوریه از مشتق‌های کسری، تبدیل میلن از مشتق‌های کسری، مشتق کسری گرونوالد-لتنیکوف، مقدمه‌ای بر انتگرال‌ها و مشتق‌های کسری چپ و راست، مشتق ریس.

معادلات دیفرانسیل کسری: معادلات دیفرانسیل کسری خطی، بررسی وجود و یکتایی جواب، وابستگی جواب به شرایط اولیه، معادلات دیفرانسیل کسری متعارف، معادلات دیفرانسیل خطی چندکسری(مرتبه‌ای)، جواب تحلیلی معادلات دیفرانسیل کسری خطی با تبدیل لاپلاس، توابع گرین کسری، جواب معادلات دیفرانسیل کسری بر حسب تابع گرین، مقدمه‌ای بر دستگاه‌های معادلات دیفرانسیل کسری، مقدمه‌ای بر معادلات دیفرانسیل جزئی کسری و مسائل مقدار اولیه-مرزی مربوط به آنها.

معادلات انتگرال کسری: معادلات انتگرال کسری، ارتباط میان معادلات انتگرال کسری خطی و معادلات دیفرانسیل کسری خطی، بررسی وجود و یکتایی جواب.

بخش دوم: روش‌های عددی حل معادلات دیفرانسیل و انتگرال کسری

تقریب عملگرهای انتگرال و مشتق کسری: تقریب عملگرهای انتگرال کسری و مشتق کسری شامل روش‌های گرونوالد-لتنیکوف، روش‌های بر مبنای انتگرالگیری عددی، و روش‌های چندگامی خطی.

روش‌های عددی حل معادلات دیفرانسیل کسری: روش‌های مستقیم در حل معادلات دیفرانسیل معمولی کسری مانند روش‌های بر مبنای انتگرال-گیری عددی، روش‌های غیرمستقیم در حل معادلات دیفرانسیل معمولی کسری مانند روش‌های از نوع آدامز، روش‌های چندگامی خطی، بررسی تحلیل خطا و آنالیز پایداری این روش‌ها، مقدمه‌ای بر روش‌های عددی در حل معادلات دیفرانسیل جزئی کسری مانند روش خطوط، روش انتگرال‌گیرهای نمایی.

روش‌های عددی حل معادلات انتگرال کسری: نظریه رونگه-کوتا در حل معادلات انتگرال (ولترا و آبل) کسری، روش‌های چندگامی خطی کسری در حل معادلات انتگرال (ولترا و آبل) کسری.

مراجع پیشنهادی:

1. K. B. Oldham, J. Spainer (1974). **Fractional Calculus: Theory and Applications, Differentiation and Integration to Arbitrary Order,** Academic Press, New York.
2. I. Podlubny (1999). **Fractional Differential Equations**, Academic Press, San Diego, CA.
3. K. Diethelm (2010). **The Analysis of Fractional Equations**, Springer-Verlag, Berlin.
4. D. Baleanu, K. Diethelm, E. Scalas and J.J. Trujillo (2012). **Fractional Calculus: Models and Numerical Methods,** World Scientific, Singapore.
5. R. Gorenflo, A. A. Kilbas, F. Mainardi and S. V. Rogosin (2014). **Mittag-Leffler Functions, Related Topics, Theory and Applications**, Springer-Verlag, Berlin.

عنوان درس	فارسی	حل عددی معادلات دیفرانسیل تصادفی						
	انگلیسی	Numerical Solution of Stochastic Differential Equations						
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	درس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی		۳	۴۸	آنالیز عددی پیشرفته
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: دارد				

هدف درس: در این درس دانشجویان با حسابان تصادفی و روش‌های عددی معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی تصادفی آشنا می‌شوند.

پیشنیازهای علمی لازم: دانشجو پیش از اخذ این درس لازم است با مقدمات احتمال و فرایند تصادفی و حل عددی معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی آشنا باشد و تسلط کافی به یکی از نرم افزارهای ریاضی مانند Matlab، Maple یا Mathematica داشته باشد.

ریز مطالب:

حسابان تصادفی: مقدمه ای بر نظریه احتمال و فرایندهای تصادفی، حرکت براونی و فرایند وینر و نوفه سفید، تقریب حرکت براونی، انتگرال تصادفی، انتگرال ایتو، فرمول ایتو، بسط تیلور تصادفی، همگرایی ضعیف و قوی.

معادله دیفرانسیل معمولی تصادفی: شبیه سازی مونت کارلو و تقریب های مسیری، روش اویلر-ماریاما، روش مایلستین، روش‌های رونگه-کوتا و نظریه درختان ریشه دار دو رنگی، شرایط مرتبه برای روش‌های رونگه-کوتا تصادفی، روش‌های چندگامی تصادفی، روش‌های تیلور ضعیف.

معادله دیفرانسیل جزئی تصادفی: روش تفاضل متناهی، روش اویلر-ماریاما، روش مایلستین، روش خطوط برای مسایل مقدار اولیه-مرزی تصادفی، روش عناصر متناهی.

مراجع پیشنهادی

1- S. Cyganowski, P. Kloeden , J. Ombach (2002). **From Elementary Probability to Stochastic Differential Equations with Maple**, Springer.
2- I. Karatzas, S. E. Sherve (1991). **Brownian Motion and Stochastic Calculus**, Springer.
3- P. Kloeden, E. Platen (1995). **Numerical Solution of Stochastic Differential Equations**, Springer.
4- P. Kloeden, E. Platen, H. Schurz (2003). **Numerical Solution of SDE Through Computer Experiments**, Springer.
5- G. N. Milstein (1995). **Numerical Integration of Stochastic Differential Equations**, Springer.
6- A. Rößler (2003). **Runge-Kutta Methods for the Numerical Solution of SDEs**, Ph.D. Thesis.
7- A. Jentzen, P. Kloeden (2011). **Taylor Approximation for SPDEs**, SIAM.
8- G. Lord, C. Powell, T. Shardlow (2014). **An Introduction to Computational Stochastic PDEs**, Cambridge University Press.

عنوان درس	فارسی	آنالیز بازه‌ای							
	انگلیسی	Interval Analysis							
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	درس هم‌نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی				۳		روش‌های عددی در جبر خطی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: دارد					

هدف درس: آشنا نمودن دانشجویان با روش‌های آنالیز بازه ای در تحلیل خطا و انجام محاسبات تایید شده هدف اصلی این درس است.

ریز مطالب

مقدمات: مروری بر حساب ممیز شناور و استاندارد IEEE ، سبک های گردکردن، خطاهای گردکردن و منظور از حصار (enclosure)، مفهوم در حصار کشیدن جواب دقیق یک مسئله، تاریخچه محاسبات تایید شده (verified computations) و آنالیز بازه ای.

حساب بازه ای: بازه های حقیقی، حساب بازه ای حقیقی، خواص جبری حساب بازه ای، خاصیت دربردارندگی حساب بازه ای، حساب بازه ای حقیقی ممیز شناور، بازه های مختلط و حساب بازه ای مختلط (مستطیلی و مدور)، حساب بازه ای مختلط ممیز شناور، نرم افزارهای حساب بازه ای (به عنوان نمونه اینتلب (INTLAB) و شروع عملی برنامه نویسی با آنها.

آنالیز بازه ای: توسیع بازه ای یک تابع، قضیه اساسی آنالیز بازه ای، فرم های مرکزی با تأکید بر فرم مقدار میانی، مشتق گیری خودکار یا الگوریتمی.

ابزارهای آنالیز بازه ای در جبرخطی: روش حذف گاوس بازه ای و مشکل آن، روش کراوچیک-رومپ برای درحصار کشیدن جواب دقیق دستگاه‌های معادلات خطی، اثر پوششی (wrapping effect) در محاسبات ماتریسی تأییدشده، ماتریس های بازه ای، دستگاه‌های معادلات خطی بازه ای: انواع مجموعه جواب ها با تأکید بر مجموعه جواب متحدشده، توصیف تحلیلی مجموعه جواب ها شامل قضیه اتلی-پراگر (Oettli-Prager)، روش هنسن-بلیک-روهن، معادله قدرمطلقی و حل آن برای محاسبه حصاری بر پوسته مجموعه جواب متحدشده.

ابزارهای آنالیز بازه ای در ریشه یابی: ریشه یابی تک معادلات و دستگاه‌های معادلات غیرخطی، روش نیوتن بازه ای، قضیه نقطه ثابت بروور (Brouwer)، معرفی عملگر استاندارد کراوچیک در حالت کلی، روش تکراری کراوچیک-رومپ و استفاده از آن در ریشه یابی به طور خاص.

معادلات دیفرانسیل: روش‌های بازه ای برای انتگرال گیری عددی و معادلات دیفرانسیل معمولی.

ابزارهای آنالیز بازه ای در بهینه سازی: در حصار کشیدن جواب دقیق مسئله برنامه ریزی خطی، دستگاه‌های نامعادلات خطی بازه ای، مسئله برنامه ریزی خطی بازه ای.

مراجع پیشنهادی:

1. A. Neumaier (1990). **Interval Methods for Systems of Equations. Encyclopedia of Mathematics and its Applications**, Cambridge University Press, Cambridge.
2. R. B. Kearfott and V. Kreinovich (1996). **Application of Interval Computations**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
3. S. M. Rump (1999). **INTLAB-Interval Laboratory. In T. Csendes, editor, Developments in Reliable Computing**, pages 77-104, Dodrecht, Kluwer Academic Publishers.
4. A. Neumaier (2001). **Introduction to Numerical Analysis,** Cambridge University Press, Cambridge.
5. G. I. Hargreaves (2002). **Interval Analysis in Matlab**, Master's Thesis, University of Manchester.
6. J. Rohn (2005). **A Handbook of Results on Interval Linear Problems**, Czech Academy of Science, Prague.
7. S. M. Rump (2010). **Vertification Methods- Rigorous Results Using Floating-Point Arithmetic**, Acta Numerica, pages 287-449, Cambridge University Press .
8. W. Tucker (2011). **Validated Numerics- A Short Introduction to Rigorous Computations**, Princeton University Press.

عنوان درس	فارسی	مدلسازی ریاضی							
	انگلیسی	Mathematical Modelling							
نوع واحد							تعداد واحد	تعداد ساعت	درس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی			۳	۴۸	-
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف درس: مدلسازی ریاضی فرایند توصیف پدیده‌های طبیعی و فیزیکی با استفاده از زبان ریاضی و مفاهیم ریاضی است. برای درک بیشتر پدیده های فیزیکی نیاز به طراحی مدل و تحلیل مدل‌های ریاضی است. این درس اهمیت درس ریاضی را در دنیای مدرن امروزی به دانشجویان یادآور خواهد شد و به بهبود مهارت حل مسئله در دنیای واقعی کمک خواهد نمود. از آنجا که بسیاری از پدیده ها شامل تغییرات متغیر زمانی یا متغیرهای مکانی هستند، مدل‌های به دست آمده معمولاً از نوع معادلات دیفرانسیل هستند.

پیشنیازهای علمی لازم: دانشجو پیش از اخذ این درس لازم است با حسابان چند متغیره و قضایای حسابان برداری، جبرخطی، معادلات معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی آشنا باشد.

ریز مطالب

مدلسازی با معادلات دیفرانسیل معمولی: مکانیک نیوتنی (حرکت پرتابه، معاده جرم-فنر، حرکت آونگ و غیره)، دینامیک جمعیت (مدل‌های یکنواخت، مالتوس، لجستیک، واکنشهای شیمیایی)، مدل‌های خودگردان، نقاط تعادلی، دیاگرام فازی، سیستمهای غیرخطی: مدل‌های شکار-شکارچی، ولتکا-ولترا و اپیدمی (SIR)، نوسانگر وندرپل، خطی سازی، پایداری، سیستم‌های همیلتونی؛ مدلسازی با روش‌های حساب تغییرات: مسئله کوتاهترین زمان، مسئله صابون، مسئله‌ی زنجیر آویخته و غیره.

مدلسازی با معادلات دیفرانسیل جزئی: دسته بندی معادلات دیفرانسیل جزئی: معادلات سهموی، هذلولوی و بیضوی و تعبیر فیزیکی هر کدام از منظر مدل‌های پخش (معادله گرما)، انتقال (معادلات موج، معادلات آبهای کم عمق، دینامیک ترافیک ماکروسکوپی و میکروسکوپی) و حالتهای ایستا (معادلات لاپلاس، پواسن و نویر-استوکس ایستا)، مدلهای پخش-انتقال (شامل معادلات نویر- ستوکس)؛ مدلسازی: بی بعد سازی و مقیاس سازی، آنالیز بعدی، انواع مدل‌های کانونی و سیستماتیک؛ معادلات مکانیک محیط‌های پیوسته: مختصات لاگرانژی و اویلری، معادلات قانون بقا (بقای جرم، بقای حرکت و بقای انرژی)، روابط ساختاری (Constitutive relations) شامل هدایت گرما و پخش جرم، رابطه گاز ایدآل، مدل شارش گرمای فوریه، مدل‌های الاستیسیته و غیره، امواج صوتی و معادلات الکترومغناطیس، معادلات مکسول، معادلات ساختاری.

مراجع پیشنهادی

- A. C. Fowler (1997). **Mathematical Models in the Applied Sciences**, Cambridge University Press.
- R. Illner, C. Sean Bohun, Samantha McCollum, Thea van Roode (2005). **Mathematical Modelling: A Case Studies Approach**, American Mathematical Society.
- R. M. M. Mattheij, S. W. Rienstra, J. H. M. ten Thije Boonkkamp (2005). **Partial Differential Equations: Modeling, Analysis, Computation**. SIAM.
- S. Howison (2005). **Practical Applied Mathematics: Modelling, Analysis, Approximation**, Cambridge University Press.

عنوان درس	فارسی	روش‌های بدون شبکه							
	انگلیسی	Meshless Methods							
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	درس پیش نیاز
الزامی		اختیاری		جبرانی				۳	۴۸	آنالیز عددی پیشرفته
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد				**نیاز به اجرای پروژه عملی:** دارد						

هدف درس: تقریب در ابعاد بالا به صورت کلاسیک معمولاً با روش عناصر متناهی که مبتنی بر شبکه‌بندی ناحیه تقریب است، صورت می‌گیرد. در این درس دانشجویان با نوع دیگری از تقریب‌ها، که موسوم به تقریب‌های بدون شبکه هستند، آشنا می‌شوند و نحوه‌ی کاربرد آنها در حل معادلات دیفرانسیل و بازسازی رویه‌ها را می‌آموزند.

پیشنیازهای علمی لازم: دانشجو پیش از اخذ این درس لازم است با مقدمات تقریب و حل عددی معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی آشنا باشد و تسلط کافی به یکی از نرم افزارهای ریاضی مانند Matlab و یا یکی از زبان‌های برنامه‌نویسی مانند Fortran یا C داشته باشد.

ریز مطالب:

مقدمات: فضاهای هار، تقریب چندمتغیره و مسئله یکتایی، چندجمله‌ای‌های چندمتغیره، درونیابی چندمتغیره با چندجمله‌ای‌ها روی مستطیل (ضرب تانسوری) و روی مثلث، لزوم استفاده از روش‌های بدون شبکه، انواع تقریب‌های بدون شبکه مانند توابع پایه شعاعی و تقریب کمترین مربعات متحرک و روش‌های دیگر. کاربردهای این روش‌ها در بازسازی رویه ها، حل معادلات دیفرانسیل، نظریه یادگیری.

توابع پایه شعاعی: توابع پایه شعاعی معین مثبت و معین مثبت مشروط، ارتباط اسپلاین ها با این توابع، درونیابی با توابع شعاعی، یکتایی درونیاب، توابع پایه شعاعی محمل فشرده، نحوه محاسبه مشتقات توابع شعاعی، حل عددی معادلات دیفرانسیل جزئی (مسئله مقدار مرزی یا مقدار اولیه-مرزی) با روش کانزا (روش نامتقارن)، روش بدون شبکه متقارن، روش گلرکین به کمک توابع پایه شعاعی.

تقریب کمترین مربعات متحرک(MLS) : تقریب توابع و مشتقات آنها به کمک MLS، آنالیز خطا در حالت‌های خاص، حل معادلات دیفرانسیل جزئی (بیضوی، هذلولوی و سهموی) با روش هم مکانی، روش‌های مبتنی بر فرم ضعیف مانند روش گلرکین آزاد از شبکه EFG، روش‌های مبتنی بر فرم ضعیف موضعی مانند MLPG، روش‌های اعمال شرایط مرزی اساسی مسئله (روش های مستقیم- جریمه – مضارب لاگرانژ و...)، مروری بر برخی دیگر روش‌های بدون شبکه مانند PUM و $RKPM_1$.

مراجع پیشنهادی:

G. E. Fasshauer (2007). **Meshfree Approximation Methods with Matlab**. World Scientific.

1- G. E. Liu, Y. T. Gu (2005). **An Introduction to Meshfree Methods and Their Programming**, Springer.
2- Sh. Li, W. K. Liu (2007). **Meshfree Particle Methods**, Springer.
3- M. D. Buhmann (2004). **Radial Basis Functions**, Cambridge University Press.
4- W. Chen, Z. Fu, C. S. Chen (2014). **Recent Advances in Radial Basis Function Collocation Methods**, Springer,.
5- H. Li, S. S. Mulay (2013). **Meshless Methods and Their Numerical Properties**, CRC press.
6- H. Wendland (2005). **Scattered Data Approximation**, Cambridge University Press.
7- B. Fornberg, N. Flyer (2015). **Solving PDEs with Radial Basis Functions**, In Acta Numerica, pages 215–258. Cambridge University Press.

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه در آنالیز عددی									
	انگلیسی	Special Topics in Numerical Analysis									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز یا هم نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: با نظر استاد					

درسي است در سطح كارشناسي ارشد يا بالاتر در زمينه آنالیز عددی كه بر حسب امكانات و نياز براي اولين بار ارائه مي گردد. ريز مواد درسي مربوطه قبل از ارائه بايستي به تصويب شوراي تحصيلات تكميلي گروه ودانشكده برسد.

ریاضی کاربردی- گرایش بهینه‌سازی

فصل اول

مشخصات دوره کارشناسی ارشد گرایش بهینه‌سازی

مقدمه

ریاضی کاربردی یکی از رشته‌ها در مجموعه علوم ریاضی است که به پیشبرد روش‌های ریاضی برای استفاده درزمینه‌های گوناگون علوم و مهندسی می‌پردازد. بهینه‌سازی یکی از مهم‌ترین گرایش‌های ریاضی کاربردی است که به کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی یک یا چند تابع هدف (مانند سود، هزینه، ریسک، و غیره) روی مجموعه‌ای شدنی از فعالیت‌ها می‌پردازد. این گرایش از ریاضیات کاربردی شامل جنبه‌های مختلف نظری، الگوریتم و محاسبات، استفاده از ابزارهای تحلیلی و جبر خطی عددی در پیشبرد بنیادی موضوع و کاربرد در زمینه‌های علمی، اقتصادی و صنعتی است.

تعریف

دوره کارشناسی ارشدریاضی کاربردی- گرایش بهینه سازی یکی ازدوره های آموزشی وپژوهشی درسطح تحصیلات تکمیلی ازنظام آموزش عالی است که پس ازدوره کارشناسی آغاز و به اعطای مدرک رسمی دانشگاهی دردوره کارشناسی ارشد با عنوان "ریاضی کاربردی- بهینه سازی" می انجامد واز نظراجرایی، تابع ضوابط، مقررات وآیین نامه‌های مصوب شورای برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است.

اهداف

تربیت پژوهش‌گرمتخصص در بهینه سازی (نظری، محاسباتی و کاربردی)

تامین نیازهای تخصصی شرکت‌های اقتصادی، صنعتی، بیمه‌ای و مالی (نظیر بانک‌ها و بورس)

توسعه بهینه سازی به عنوان یکی از گسترده‌ترین و به‌روزترین شاخه‌های ریاضیات

توسعه علوم بین رشته‌ای مرتبط مانند تحقیق در عملیات، کنترل و غیره.

نقش وتوانایی

فارغ التحصیلان دوره کارشناسی ارشدریاضی کاربردی-بهینه سازی می‌توانند:

به عنوان متخصص حرفه‌ای در موسسات علمی و شرکت‌های مالی، صنعتی و اقتصادی فعالیت کنند،

به عنوان پژوهش‌گردر شرکت‌های اقتصادی، بانک‌ها و بورس فعالیت داشته باشند و

در مقطع دکتری این رشته و زمینه‌های مرتبط ادامه تحصیل دهند.

ضرورت واهمیت

با توجه به نیازجامعهٔ درحال توسعه ایران به استفاده از دانش وفناوری‌های نوین در پاسخ‌گویی به نیازهای بخش‌های علمی و صنعتی، تاسیس دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی- گرایش بهینه سازی یک ضرورت است. این دوره، این امکان را فراهم می‌کند تا نیازهای علمی و صنعتی، اقتصاد، بانکداری، بورس ایران و... بر طرف شوند. هم‌چنین، با تربیت پژوهش‌گرانی (که قادر به انجام پژوهش‌های بنیادی در سطح مرزهای دانش هستند)، سطح کیفی و کمی ریاضی کاربردی- گرایش بهینه‌سازی در کشور ارتقا می‌یابد.

کلیات برنامه

عنوان دوره :کارشناسی ارشدریاضی کاربردی-گرایش بهینه‌سازی

پیشنیاز ورود :گذراندن درس بهینه‌سازی خطی مطابق با سرفصل دوره کارشناسی ریاضی. در صورت نگذراندن این درس، دانشجو باید آن را به صورت پیش نیاز بگذراند.

فصل دوم

جدول دروس دوره کارشناسی ارشد گرایش بهینه‌سازی

جدول شماره ۱: درس‌های اصلی گرایش بهینه‌سازی

شماره ردیف	نام درس	تعداد واحد
۱	بهینه‌سازی خطی پیشرفته۱	۳
۲	بهینه‌سازی غیرخطی پیشرفته۱	۳

جدول شماره ۲: درس‌های تخصصی- اختیاری

شماره درس	نام درس	تعداد واحد	پیش نیاز یا هم نیاز (ها)
۱	برنامه‌ریزی پویا	۳	
۲	برنامه‌ریزی صحیح	۳	
۳	بهینه‌سازی ترکیبیاتی	۳	
۴	بهینه‌سازی تصادفی	۳	
۵	بهینه‌سازی خطی پیشرفته ۲	۳	
۶	بهینه‌سازی غیرخطی پیشرفته ۲	۳	
۷	بهینه‌سازی خطی نیمه‌نامتناهی	۳	
۸	بهینه‌سازی چندهدفه	۳	
۹	بهینه‌سازی شبکه‌ای	۳	
۱۰	بهینه‌سازی ناهموار	۳	
۱۱	بهینه‌سازی و شبکه‌های عصبی	۳	
۱۲	بهینه‌سازی محدب	۳	
۱۳	حساب تغییرات و کنترل بهینه	۳	
۱۴	روش‌های نقطه درونی	۳	
۱۵	شبیه‌سازی پیشرفته	۳	
۱۶	کنترل بهینه تصادفی	۳	
۱۷	کنترل خطی و غیرخطی	۳	
۱۸	مدل‌سازی ریاضی	۳	
۱۹	نظریه بازی و کاربردها	۳	
۲۰	نظریه مکان‌یابی	۳	
۲۱	مباحث ویژه در بهینه‌سازی	۳	

فصل سوم

سرفصل دروس دوره کارشناسی ارشد گرایش بهینه‌سازی

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی خطی پیشرفته۱										
	انگلیسی	Advanced Linear Optimization1										
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	بهینه‌سازی خطی (کارشناسی)	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				

هدف:

سرفصل درس:

چندوجهی ها در R^n ، نقاط رأسی، جهت های رأسی، جهت دورشونده، شرایط لازم و کافی برای بی‌کران بودن، قضیه نمایش، مروری بر الگوریتم سیمپلکس اولیه از دیدگاه‌های جبری و هندسی، سیمپلکس تجدید نظر شده، تباهیدگی و اثرات آن، مطالعه تحلیلی روش‌های M– بزرگ و دوفازی، پدیده دور، قاعده لکزیکوگرافی و قاعده بلاند برای جلوگیری از دور، الگوریتم سیمپلکس با متغیرهای کران‌دار، شرایط کروش-کیون-تاکر .KKT، قضایای چاره‌ای (دگرین) شامل لم فارکاش و قضیه گوردان، دوگانی (دوگان ضعیف، قوی و شرایط مکمل زائد (مکمل لنگی))، الگوریتم‌های سیمپلکس دوگان و اولیه-دوگان، تحلیل حساسیت.

مراجع پیشنهادی:

۱- برنامه ریزي خطي و غيرخطي، لوئنبرگر، ترجمه نظام الدين مهدوي اميري و محمد حسين پوركاظمي، انتشارات علمي، دانشگاه صنعتي شريف، چاپ سوم، ۱۳۹۱.

2. M.S. Bazaraa, J.J. Jarvis, H.D. Sherali, Linear programming and network flows, John Wiley and Sons, 4th edition, 2010.
3. K.G. Murty, Linear Programming, Wiley, 1983.
4. D. Bertsimas, J.N. Tsitsiklis, Introduction to Linear Optimization, Belmont, Massachusetts, March, 2008.
5. D. Luenberger, Y. Ye, Linear and Nonlinear Programming, Springer, 4th edition, 2016.

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی غیرخطی پیشرفته۱									
	انگلیسی	Advanced Nonlinear Optimization1									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	جبرخطی عددی یا مبانی آنالیز عددی یا محاسبات ماتریسی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

سرفصل درس :

مدل‌سازی غیرخطی، مروری بر مجموعه‌های محدب و خواص آنها،توابع محدب، تعمیم آن‌ها، خواص و کاربردهای آنها در بهینه‌سازی، مباحث تکمیلی از بهینه‌سازی غیرخطی دوره کارشناسی، توصیف قیدی (Constraint qualification)،شرایط فریتز-جان (FJ)، شرایط لازم و کافی مرتبه اول و دوم (شرایط کروش-کیون-تاکر،KKT)، انواع توصیف‌های قیدی(Constraint qualifications)و ارتباط‌های میان آنها، دوگانی مسایل غیر خطی، روش‌های بهینه‌سازی نامقید شاملمسیرهای مزدوج،تندترین کاهش، نیوتون و شبه نیوتون، روش‌های سکانت، الگوریتم‌های جستجوی خطی (شامل جستجوی خطی دقیق و نادقیق) و روش‌های ناحیه اعتماد (Trust region) ، همگرایی سراسرس و همگرایی مجانبی (آهنگ یا نرخ همگرایی مجانبی)، مقایسه نظری و عملی روش‌ها، حل مسایل درجه دوم و الگورتم مجموع موثر.

مراجع پیشنهادی:

۱- برنامه ریزي خطي و غيرخطي، لوئنبرگر، ترجمه نظام الدين مهدوي اميري و محمد حسين پوركاظمي، انتشارات علمي، دانشگاه صنعتي شريف، چاپ سوم، ۱۳۹۱.

2.J. Nocedal, and S.J. Wright, Numerical Optimization, Springer-Verlag, 2nd edition, 2006.

3.R. Fletcher, Practical Methods of Optimization, Prentice Hall, 1991.

4. M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty, Nonlinear programming: theory and algorithms. Wiley, New York, 2006.

5. D. Luenberger, Y. Ye, Linear and Nonlinear Programming, Springer, 4th edition, 2016.

عنوان درس	فارسی	برنامه‌ریزی پویا									
	انگلیسی	Dynamic Programming									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد									نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		

هدف:

سرفصل درس:

فرموله کردن مسائل با استفاده از برنامه ریزی پویا، معادله برگشت و روش برخورد کلی با مسائل، مسائل قطعی و احتمالی برنامه ریزی پویا، روشهای محاسباتی، روشهای کاهش متغیرهای حالتهای برداری، سیستمهای غیرسری، مسائل با بینهایت مرحله، کاربرد برنامه ریزی پویا در مسائل عملی.

مراجع پیشنهادی:

1- **H.A. Tahah, Operations Research: An introduction, 8th edition, 2008.**
2- **R.E. Bellman, Dynamic Programming, Dover Publications, 2003.**
3- **D.P. Bertsekas, Dynamic Programming and Optimal Control, Volume I, Athena Scietific, 2005.**

عنوان درس	فارسی	برنامه‌ریزی صحیح									
	انگلیسی	Integer programming									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد									

هدف:

سرفصل درس:

مدل‌سازی با متغیرهای صحیح، آمیخته و دودویی، فاصله جواب‌های یک مساله برنامه‌ریزی خطی صحیح و مساله برنامه‌ریزی خطی آزاد شده، چند وجهی‌ها، مخروط مشخصه، چند وجهی‌های صحیح، مخروط‌های چند وجهی و پایه هیلبرت، سیستم TDI، سیستم دوگان صحیح جعبه‌ای، ماتریس تک مدولی کامل: تست، مشخص‌سازی، و مثال به خصوص ماتریس شبکه‌ای، قضیه تجزیه سیمور، تست شبکه‌ای بودن یک ماتریس، ماتریس متعادل، وجه‌ها و فست‌ها، نا معادلات معتبر و تعیین کننده‌های فست، نامعادلات حذف زیر دور برای TSP، قضیه کاراتئودری، قضیه دویگنان، کاربردهایی از عملگر تصویر و ارتقا (BCC)Balas-Ceria-Cournuéjols، سایر عملگرهای تصویرو ارتقا، روش های شاخه وکران استراتژی‌های انتخاب شاخه، و صفحات برش، شاخه و برش، روش آزادسازی، تجزیه بندرز، مسائل بهینه‌سازی و جداسازی و ارتباط بین آن‌ها.

مراجع پیشنهادی

1. **D. Bertsimas, R .Weismantel, *Optimization over Integers*, Dynamic Ideas 2005.**
2. **L. A. Wolsey, G. L. Nemhauser,*Integer and Combinatorial Optimization*, Wiley-Interscience 1999.**
3. **A. Schrijver, *Theory of Integer and Linear Programming*, Wiley-Interscience, 1998.**
4. **A. Schrijver, *Combinatorial Optimization, Polyhedral and Efficiency*, Springer 2003**
5. **E. Balas, S. Ceria, G. Cornuéjols, *A lift-and-project cutting plane algorithm for mixed 0-1 programs*, Mathematical Programming, 58 (1993) 295-324.**

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی ترکیبیاتی											
	انگلیسی	Combinatorial Optimization											
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	بهینه‌سازی خطی و مبانی ترکیبیات	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد											

هدف:

سرفصل درس :

مفاهیم مساله، الگوریتم و پیچیدگی محاسباتی: تعریف رده های P، NP، NP-C و NP-Hard.

معرفی مدل‌سازی ترکیبیاتی و معرفی برخی نمونه‌های کاربردی از مسایل بهینه‌سازی ترکیبیاتی (مساله کوله‌پشتی، مساله فروشنده دوره‌گرد، مسایل مکان‌یابی، مساله تخصیص درجه دو، مساله پوشش مجموعه و ...) و اثبات NP-Hard بودن برخی از آن‌ها.

الگوریتم‌های حل تقریبی: الگوریتم‌های حریصانه: معرفی و ارایه مثال (مانند مساله p-مرکز)، جستجوی محلی (موضعی): تعریف‌های لازم و بررسی موردی در مسایل بهینه‌سازی ترکیبیاتی (مانند مساله افرازبندی گراف و ...)، الگوریتم‌های ε - تقریب: معرفی، الگوریتم‌های ε-تقریب برای مسایل بهینه‌سازی ترکیبیاتی از جمله مساله فروشنده دوره‌گرد متریک، مساله پوشش مجموعه، مساله کوله‌پشتی، مساله پوشش راس، مساله p-مرکز، مساله مکانیابی بدون ظرفیت و ....، معرفی چند الگوریتم فرا ابتکاری، به عنوان مثال الگوریتم ژنتیک(GA)، الگوریتم جستجوی متغیر(VNS)، الگوریتم جستجوی ممنوع(TS).

الگوریتم‌های دقیق: الگوریتم‌های شاخه و کران، الگوریتم‌های برنامه‌سازی پویا

مراجع پیشنهادی:

[1] C. H. Papadimitriou and K. Steiglitz, Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity, Dover Publications, INC, 1982.

[2] F. Glover and G. A. Kochenberger, Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, 2003.

[3] A. Schrijver, A Course in Combinatorial Optimization, lecturer note, Department of Mathematics, Amsterdam, Netherlands, 2008.

[4] B. Korteand and J. Vygen, Combinatorial Optimization Theory and Algorithms, Springer, Fourth Edition, 2008.

[5] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest and C. Stein, Introduction to Algorithms, MIT Press, Third Edition, 2009.

[6] D. P. Williamson and D. B. Shmoys, The Design of Approximation Algorithms, Cambridge, 2011.

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی تصادفی									
	انگلیسی	Stochastic Optimization									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف:

سرفصل درس:

معرفی مدل‌هایی از برنامه‌ریزی تصادفی، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای (مسایل پایه‌ای و شرایط بهینگی)، روش تجزیه برای مسایل دومرحله‌ای، مسایل چند مرحله‌ای و روش تجزیه برای آنها، مدل‌های بهینه‌سازی با محدودیت‌های احتمالی

مطالبی از استنباط آماری شامل: خصوصیات آماری برآوردگر تقریبی میانگین، معادلات تعمیم یافته احتمالی، روش‌های نمونه‌گیری مونت کارلو، روش‌های کاهش واریانس و مسایل محدودشده احتمالی.

الگوریتم‌های تصادفی، کاربردهای بهینه‌سازی تصادفی در ریاضیات مالی، بهینه سازی ریسک

مراجع پیشنهادی:

1. Birge, J. R. and Louveaux, F. Introduction to stochastic programming. New York: Springer, (2011).

2. A. Shapiro and D. Dentcheva, A. Ruszczyński: Lecture Notes on Stochastic Programming Modeling and Theory, SIAM and MPS, 2009.

3. P. Kall and J. Mayer, Stochastic Linear Programming Models, Theory and Computation.

نوان درس	فارسی	بهینه‌سازی خطی پیشرفته ۲									
	انگلیسی	Advanced Linear Optimization2									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

سرفصل درس:

برنامه‌ریزی خطی صحیح (الگوریتم‌های شاخه و کران، و صفحه برشی)،

افراز بندرز و روش‌های لاگرانژی، ساختار قطری بلوکی،

پیچیدگی الگوریتم سیمپلکس، الگوریتم‌های با پیچیدگی چندجمله‌ای شاملالگوریتم خاچیان، الگوریتم کارمارکار و روش‌های نقطه درونی،

مسایل برنامه‌ریزی خطی کسری (مدل‌ها، مفاهیم و روش‌های حل).

مراجع پیشنهادی:

۱- برنامه ریزي خطي و غيرخطي، لوئنبرگر، ترجمه نظام الدين مهدوي اميري و محمد حسين پوركاظمي، انتشارات علمي، دانشگاه صنعتي شريف، چاپ سوم، ۱۳۹۱.

2. **M.S. Bazaraa, J.J. Jarvis, H.D. Sherali, Linear programming and network flows, John Wiley and Sons, 4th edition, 2010.**
3. **K.G. Murty, Linear Programming, Wiley, 1983.**
4. **D. Bertsimas, J.N. Tsitsiklis, Introduction to Linear Optimization, Belmont, Massachusetts, March, 2008.**
5. **D. Luenberger, Y. Ye, Linear and Nonlinear Programming, Springer, 4th edition, 2016.**

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی غیرخطی پیشرفته ۲									
	انگلیسی	Advanced Nonlinear Optimization 2									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد									نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		

هدف:

سرفصل درس:

مدل‌های بهینه‌سازی غیرخطی مقید،شرایط لازم و شرایط کافی برای جواب مسایل مقید، روش‌های حل مسایل غیرخطی مقید شامل برنامه‌ریزی درجه دوم متناوب، مجموعه موثر، تصویرگرادیان، روش‌ها بر اساس توابع جریمه‌ای شامل توابع جریمه‌ای دقیق و لاگرانژی فزوده، برنامه‌ریزی هندسی، برنامه‌ریزی کسری، و روش‌های نقطه درونی غیرخطی

مراجع پیشنهادی:

۱- برنامه ریزي خطي و غيرخطي، لوننبرگر، ترجمه نظام الدين مهدوي اميري ومحمد حسين پوركاظمي، انتشارات علمي، دانشگاه صنعتي شريف، چاپ سوم، ۱۳۹۱

1. J. Nocedal, and S.J. Wright, Numerical Optimization, Springer-Verlag, 2nd edition, 2006.

2. R. Fletcher, Practical Methods of Optimization, Prentice Hall, 1991.

3. M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty, Nonlinear programming: theory and algorithms. Wiley, New York, 2006.

4. D. Luenberger, Y. Ye, Linear and Nonlinear Programming, Springer, 4th edition, 2016.

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی خطی نیمه‌نامتناهی									
	انگلیسی	**Semi Infinite Linear optimization**									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	-
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف:

سرفصل درس :

- مدلسازی و اهمیت مسایل بهینه سازی خطی نیمه نامتناهی
- قضایای دگرین نیمه نامتناهی
- سازگاری
- هندسه برنامه ریزی نیمه نامتناهی
- پایداری
- بهینگی و دوگانی
- الگوریتم های حل مسایل برنامه ریزی نیمه نامتناهی
- ارتباط مسایل نیمه نامتناهی با سایر مسایل بهینه سازی

مراجع پیشنهادی:

- **M. A. Goberna and M. A. Lopez, Linear Semi-infinite Optimization, Wiley , 1998.**
- **M.A. Goberna, M.A. Lopéz, Semi-infinite programming. Recent advances, Springer, 2001.**
- **R. Hettich, K.O. Kortanek, Semi-infinuite programming, SIAM Review, 1993.**

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی چندهدفه									
	انگلیسی	Multiple – Objective Optimization									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف:

سرفصل درس:

- اهمیت و کاربردهای بهینه سازی چندهدفه.
- نقاط کارا، کارای ضعیف و کارای سره :تعریف مفاهیم، وجود جواب و چگونگی بدست آوردن آن.
- اسکالرسازی شامل روش های مجموع وزندار، اپسیلون محدودیت، قید الاستیک، روش نقطه مرجع، روش محک سراسری و روش بنسون برای بدست آوردن جوابهای کارا، کارای ضعیف و کارای سره.
- جواب های توافقی و تابع Achievement
- مطالعه ترتیب های غیرطبیعی، شامل لکزیکو و Max-Ordering
- بهینه سازی چندهدفه خطی و الگوریتم سیمپلکس برای حل آن.
- مقدمه ای بر بهینه سازی چندهدفه ترکیبیاتی.
- برنامه‌ریزی آرمانی

مراجع پیشنهادی:

1- **M. Ehrgott, Multicriteria Optimization. Springer, Berlin (2005).**
2- **G. Eichfelder, Adaptive Scalarization Methods in Multiobjective Optimization, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, (2008).**
3- **D.T. Luc, Multiobjective Linear Programming, Springer, (2016).**
4- **D.T. Luc, Theory of Vector Optimization, Springer, (1989).**

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی شبکه‌ای										
	انگلیسی	Network Optimization										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد										

هدف:

سرفصل درس:

۱. مساله جریان در شبکه با کمترین هزینه شامل : مقدمات و تعریف اولیه، معرفی ماتریسهای تماما تک پیمانه ای بررسی خواص و قضایا، روش سیمپلکس برای حل مساله شبکه، پیاده سازی روش سیمپلکس شبکه، مساله شبکه تعمیم یافته، شبکه های تباهیده و روشهای ضددوری

۲. مساله حمل و نقل، تخصیص و تناظر شامل: تعاریف، مقدمات و کاربردهادر گرافهای دوبخشی، جدول سیمپلکس برای حل مساله حملو نقل، مساله تخصیص و الگوریتم مجارستانی، ارتباط مساله تخیص و کوتاهترین مسیرها، مساله تناظر و مسیرهای افزاینده

۳. الگوریتم out-of-kilter شامل: مقدمات و تعریف مساله، روش حل اولیه و دوگان، معرفی الگوریتم out-of kilter و بررسی درستی آن، الگوریتم رهاسازی برای حل مساله

۴. جریان بیشینه و مساله کوتاهترین مسیر شامل: مقدمات و تعریف مساله جریان بیشینه، روشهای برچسب گذاری و مسیرهای افزاینده، مینیمم برش برای حل مساله جریان بیشینه، مقدمات و تعریف مساله کوتاهترین مسیر، پیدا کردن کوتاهترین مسیر در شبکه با طول یالهای نامنفی، پیدا کردن کوتاهترین مسیر در شبکه های کلی

۵. مساله جریان چندکالایی شامل: مقدمات، تعریف مساله و کاربردها، شرایط بهینگی و رهاسازی، استفاده از الگوریتمهای تجزیه اولیه و دوگان برای حل مساله

۶. روشهای رهاسازی لاگرانژین برای حل مسائل شبکه شامل: مقدمات و تعاریف اولیه، رهاسازی مسائل شبکه و روش شاخه و کران، کاربرد روشهای رهاسازی در مسائل شبکه کراندار

مراجع:

1. **Linear Programming and Network Flows 4th edition, by Mokhtar S. Bazaraa, John J. Jarvis and Hanif D. Sherali, 2010, John Wiley & Sons.**

2. **Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications 1st Edition, by Ravindra K. Ahuja, Thomas L. Magnanti and James B. Orlin, 1993, Prentice Hall.**

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی ناهموار									
	انگلیسی	Nonsmooth optimization									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

سرفصل درس:

- مقدمه ای بر آنالیز محدب، زیرگرادیانهای توابع محدب، مشتقات جهتی و وجود آنها، مخروطهای تانژانت و نرمال
- مشتقات کلارک: تعریف و بررسی خواص و کاربردها، مطالعه روابط بین مشتقات مختلف (گتو، فرشه، کلارک، پروکسیمال ها و حدی)، قضیه مقدار میانگین، قاعده زنجیره ای، توابع منظم و کاربرد آن ها در بهینه سازی ناهموار، زیرمشتقات تقریبی، زیرمشتق گلدشتاین، ژاکوبی تعمیم یافته.
- مخروط تانژانت و نرمال ها در حالت نامحدب، مخروط بولیگاند و مجموعه های منظم
- بهینه سازی ناهموار: شرایط بهینگی، خطی سازی (نامقید و مقید)
- روشهای عددی: روشهای ناهموار Bundle و روشهای ناحیه اعتماد

1. A. Bagirov, N. Karmitsa, M. Makela, Introduction to nonsmooth optimization, Springer, (2014).

2. F.H. Clarke, Y.S. Ledyaev, R.J. Stern, and P.R. Wolenski, Nonsmooth analysis and control theory, Springer Verlag, New York, (1998).

3. B.S. Mordukhovich, Variational analysis and generalized differentiation, I, II , Springer, Vol. 330, (2006).

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی و شبکه‌های عصبی											
	انگلیسی												
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی			تخصصی			اختیاری		۳	۴۸	-
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				

هدف:

سرفصل درس :

۱- مقدمه: مقدمه‌ای بر شبکه‌های عصبی پرسپترون، شبکه عصبی RBF، شبکه عصبی هاپفیلد و تانک، شبکه عصبی کندی و چائو، شبکه عصبی زیا و وانگ و شبکه عصبی بازگشتی دیگر.

۲- پایداری: بررسی پایداری سیستم‌های دینامیکی، پایداری مجانبی سراسری، پایداری نمایی سراسری، پایداری به مفهوم لیاپانف، بررسی پایداری سیستم‌های دینامیکی بر اساس عملگر تصویر و سیستم دینامیکی فریز و غیره.

۳- معرفی مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی محدب و برنامه‌ریزی درجه دوم و قضایای مربوط به آن‌ها، شرایط کان-تاکر برای مسائل برنامه‌ریزی محدب، دوگان مسائل برنامه‌ریزی محدب و قضایای مربوط به آن‌ها.

۴- معرفی عملگر تصویر، نامساوی وردشی، اصل تغییر ناپذیری لسال، معادل بودن مسائل برنامه‌ریزی محدب با نامساوی وردشی، معادل بودن نامساوی وردشی با معادله تصویر.

۵- مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی برای حل معادلات تصویر و کاربردهای آن برای حل مسائل بهینه‌سازی (برنامه‌ریزی محدب، درجه دوم و برنامه‌ریزی خطی)، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بر اساس شرایط کان-تاکر برای حل مسائل بهینه‌سازی (برنامه‌ریزی محدب، درجه دوم و برنامه‌ریزی خطی)، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بر اساس مسئله مکمل غیرخطی(NCP)، بررسی پایداری مجانبی سراسری و نمایی سیستم‌های دینامیکی متناظر آن‌ها.

مراجع پیشنهادی:

1- **Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali, C. M. Shetty, Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, 3rd Edition, Wiley and Sons, New York, 2006.**
2- **Bhata, Nam Parshad, Dynamic system: Stability theory and applications, Springer-Verlag, 1967.**
3- **S. Michael, Global stability of dynamical systems, Springer-Verlag, 1987,**
4- **M./ Pankaj and W. Benjamin, Artificial neural networks: concepts and theory, IEEE computer Society Press, 1992.**
5- **V. Vemuri, Artificial neural network s: theoretical concepts, IEEE computer Society Press, 1990.**
6- **A. K. Suykens John, Artificial neural network for modeling and control of nonlinear systems, Kluwer Academic Publishers, 1996.**

عنوان درس	فارسی	بهینه‌سازی محدب									
	انگلیسی	Convex Optimization									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد									نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		

هدف:

سرفصل‌های درس:

- **مقدمه‌ای بر آنالیز محدب**
- **مسائل بهینه‌سازی محدب** (بهینه‌سازی محدب، مسائل بهینه‌سازی درجه دو، برنامه‌ریزی هندسی، بهینه‌سازی برداری)
- **دوگانی**(تابع دوگانلاگرانژ، مساله دوگانلاگرانژ، تعبیر هندسی، تعبیر نقطه زینی، شرایط بهینگی، اختلال و تحلیل حساسیت، قضایای چاره‌ای)
- **تقریب و برازش** (تقریب نُرم، مسائل کمترین نُرم، تقریب منظم، تقریب استوار، برازش تابع و درون‌یابی)
- **مسائل هندسی** (تصویر روی یک مجموعه، فاصله مجموعه‌ها، فاصله اقلیدسی و مسائل زاویه، بیضی‌گون‌های با حجم بیشینه یا کمینه، مرکزیابی، دسته‌بندی، جایابی)
- **بهینه‌سازی نامقید محدب و روشهای حل**
- **بهینه‌سازیمقید محدب و روشهای حل**
- **روش‌های نقطه درونی برای مسایل محدب**

مراجع پیشنهادی::

[1] S. Boyd, L.Vanderberghe, *Convex Optimization*, Cambridge University Press, 2004

[2] R.T. Rockafellar, Convex Analysis, Princeton University Press, 1997.

فصل اول

مشخصات دوره کارشناسی ارشد گرایش رمز و کد

مقدمه

دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش رمز و کد یک دوره تحصیلی میان رشته‌ای با تاکید بر دو زمینه تخصصی «رمز» و «کد» است. هدف از این دوره تربیت دانش‌آموختگانی است که علاوه بر آشنایی بر جنبه‌های کاربردی این دو زمینه تخصصی، با تسلط بر مبانی نظری این مباحث توانایی تجزیه و تحلیل مسایل را نیز به طور اصولی داشته باشند. همچنین فارغ التحصیلان می‌توانند به عنوان کارشناس ارشد در سازمان‌ها، شرکت‌ها یا موسسات مرتبط و یا با ادامه تحصیل در مقاطع بالاتر به عنوان متخصص در زمینه مربوطه به فعالیت حرفه‌ای بپردازند.

تعریف

دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش رمز و کد یکی از دوره‌های آموزشی وپژوهشی در سطح تحصیلات تکمیلی از نظام آموزش عالی است که بعد از دوره کارشناسی آغاز و به اعطای مدرک رسمی دانشگاهی در دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش رمز و کد می‌انجامد و از نظر اجرایی، تابع ضوابط، مقررات و آیین نامه‌های مصوب شورای برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است.

اهداف

تربیت پژوهشگرمتخصص درحوزه رمز و کد

تامین نیازهای تخصصی شرکت‌های خصوصی و دولتی در زمینه‌های امنیت داده و اطلاعات و فناوری‌های ارتباطاتی و مخابراتی

توسعه علم و فناوری در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات با تاکید برمبانی بنیادی و ریاضی آنها

نقش وتوانایی

فارغ التحصیلان دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش رمز و کد میتوانند:

به عنوان متخصص امنیت داده، اطلاعات و ارتباطات در مراکز داده، مدیریت شبکه‌های اطلاعاتی و ارتباطی، ... در شرکت‌های خصوصی، مراکز مالی، شرکت‌های مخابراتی، شرکت‌های فناوری اطلاعات، دانشگاه‌ها، مراکزآموزشی و ... فعالیت کنند؛

به عنوان پژوهشگردر زمینه امنیت اطلاعات و یا متخصص سامانه‌های ارتباطی در شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی به پژوهش، نوآوری و توسعه فناوری‌های نوین حوزه رمز و کد بپردازند.

ضرورت واهمیت

عصر جدید، عصر فناوری‌های نوین اطلاعاتی و ارتباطی است. سرعت نوآوری در این حوزه نیازمندی‌های علمی و عملی خاصی را طلب می‌کند. حجم داده‌های فراوان در این حوزه که نیازمند امنیت و محرمانگی هستند و نیاز به پردازش و ارسال سریع اطلاعات حجیم که نیازمند فناوری‌های نوین ارتباطی هستند، تربیت متخصصین و کارشناسان خبره و مسلط بر دانش رمز و کد را طلب می کند. گرایش رمز و کد یک دوره بین رشته‌ای، بین رشته‌های مهندسی برق، کامپیوتر، فیزیک، علوم کامپیوتر و ریاضی است، که بخش اعظم آن بر بنیاد دانش ریاضی بنا شده است و لازم است به تربیت دانشجویان در این حوزه پرداخته شود تا بتوان پاسخگوی نیازمندی‌های کشور در حال حاضر و آینده بود.

ضوابط کلی دوره

- ثبت‌نام دانشجو در نیمسال دوم تحصیلی منوط به انتخاب زمینه تخصصی خود (رمز یا کد) است.
- گذراندن دروس ۱۰۱و ۱۰۲ از جدول (۱) برای دانشجویان هر دو زمینه تخصصی الزامی است.
- اخذ یک درس از دروس الزامی اصلی یکی از زیرشاخه‌های دیگر رشته‌های علوم ریاضی (ریاضی محض، ریاضی کاربردی یا علوم کامپیوتر) برای کلیه دانشجویان الزامی است.
- گذراندن درس ۲۰۱ از جدول (۲) برای دانشجویان زمینه تخصصی رمز و گذراندن درس ۳۰۱ از جدول (۳) برای دانشجویان زمینه تخصصی کد الزامی است.

- گذراندن حداقل ۲ درس انتخابی دیگر از اجتماع جداول (۲) و (۳) (به غیر از دروس الزامی زیرشاخه) برای کلیه دانشجویان الزامی است.
- مابقی دروس شامل حداقل یک درس ۳ واحدی اختیاری، ۲ واحد سمینار و ۶ واحد پایان‌نامه با نظر استاد راهنما و تایید نهایی گروه مجری تعیین می‌شود.
- با توجه به بین رشته‌ای بودن شاخه رمز و کد، دروس جدول‌های ۲ و ۳ قابل افزایش است و دانشجو با نظر استاد راهنما و تایید گروه می‌تواند از سایر رشته‌های مرتبط، دروس لازم را اختیار نماید.
- سرفصل دروس "مباحث ویژه در ..." می تواند در هر نیم سال تحصیلی توسط گروه مجری مصوب و اجرا شود. هر دانشجو فقط می‌تواند در طول دوره یکبار درسی از نوع "مباحث ویژه در ..." را اخذ نماید.
- مابقی مقررات بر اساس آیین نامه آموزش دوره‌های کارشناسی ارشد ناپیوسته خواهد بود.

کلیات برنامه

عنوان دوره :کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش رمز و کد

پیشنیازورود: دارابودن مدرک کارشناسی در یکی از رشته‌های علوم ریاضی(علوم کامپیوتر، ریاضیات و کاربردها یا آمار و کاربردها)، مهندسی برق، مهندسی کامپیوتر یا یکی از رشته‌های مرتبط

فصل دوم

جدول دروس دوره کارشناسی ارشد گرایش رمز و کد

جدول ۱: درس‌های اصلی گرایش رمز و کد

کد درس	نام درس	تعداد واحد
۱۰۱	الگوریتم و محاسبه	۳
۱۰۲	نظریه اطلاع و کاربرد	۳

جدول ۲: دروس الزامی - انتخابی زمینه تخصصی رمز

کد درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت			پیش‌نیاز یا هم‌نیاز
			جمع	نظری	عملی	
۲۰۱*	رمزنگاری (۱)	۳	۴۸	۴۸		۱۰۱و ۱۰۲
۲۰۲	رمزنگاری (۲)	۳	۴۸	۴۸		۲۰۱
۲۰۳	امنیت شبکه	۳	۴۸	۴۸		۲۰۱
۲۰۴	روش‌های آماری در رمزنگاری	۳	۴۸	۴۸		۲۰۱
۲۰۵	پنهان‌سازی اطلاعات	۳	۴۸	۴۸		۱۰۱و ۱۰۲
۲۰۶	امنیت پایگاه داده	۳	۴۸	۴۸		۲۰۱
۲۰۷	نظریه اعداد محاسباتی	۳	۴۸	۴۸		۲۰۱
۲۰۸	پروتکل‌های رمزنگاری	۳	۴۸	۴۸		۲۰۱
۲۰۹	روش‌های صوری در رمزنگاری	۳	۴۸	۴۸		۲۰۱
۲۱۰	مباحث ویژه در رمزنگاری	۳	۴۸	۴۸		اجازه گروه

*گذراندن درس ۲۰۱ از این جدول برای دانشجویان زمینه تخصصی رمز الزامی است.

جدول ۳: دروس الزامی - انتخابی زمینه تخصصی کد

کد درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت			پیش‌نیاز یا هم‌نیاز
			جمع	نظری	عملی	
۳۰۱*	کدگذاری (۱)	۳	۴۸	۴۸		۱۰۱و ۱۰۲
۳۰۲	کدگذاری (۲)	۳	۴۸	۴۸		۳۰۱
۳۰۳	کدگذاری شبکه	۳	۴۸	۴۸		۳۰۱
۳۰۴	الگوریتم‌های کدگشایی تکراری	۳	۴۸	۴۸		۳۰۲
۳۰۵	کدگذاری فضا-زمان	۳	۴۸	۴۸		۳۰۱
۳۰۶	کدگذاری منبع	۳	۴۸	۴۸		۱۰۱
۳۰۷	نظریه اطلاع و کدگذاری کوانتومی	۳	۴۸	۴۸		۳۰۱
۳۰۸	کدهای حلقه مبنا	۳	۴۸	۴۸		۳۰۱
۳۰۹	کد شبکه خطی تصحیح کننده خطا	۳	۴۸	۴۸		۳۰۳
۳۱۰	مباحث ویژه در کدگذاری	۳	۴۸	۴۸		اجازه گروه

*گذراندن درس ۳۰۱ از این جدول برای دانشجویان زمینه تخصصی کد الزامی است.

فصل سوم

سرفصل دروس دوره کارشناسی ارشدگرایش رمز و کد

عنوان درس	فارسی	نظریه اطلاع و کاربرد										
	انگلیسی	Information Theory and its Application										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	ندارد
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				

هدف: ارائه مفاهیم آنتروپی به‌صورت تحلیلی و بیان کاربرد آن در کدگذاری منبع و کانال، ظرفیت کانال، قضیه‌های شانون، بررسی خواص آماری و احتمالاتی آنتروپی و نقش نظریه اطلاعات در رمزنگاری.

سرفصل‌های درس:

- آنتروپی، آنتروپی شرطی و توام، آنتروپی نسبی، اطلاعات متقابل، نامساوی ینسن(Jensen)، فانو . . .
- خاصیت افراز مجانبی یکنواخت و خواص و اهمیت آن
- نرخ آنتروپی یک فرآیند تصادفی، آنتروپی و قدم زدن تصادفی
- فشرده‌سازی داده‌ها، نامساوی کرفت(Kraft)، کدهای بهینه، کدهای هافمن(Huffman)، کدگذاری شانون،
- ظرفیت کانال، انواع کانال‌ها و خواص آنتروپیک آنها، خواص ظرفیت کانال، نامساوی فانو و عکس قضیه کدگذاری، قضیه‌های شانون
- کانال گوسی، خواص، انواع نویزها
- رمزنگاری از دیدگاه نظریه اطلاع، مدل شانون برای امنیت، امنیت کامل و . . .

منابع

[1] T.M.Cover and J.A.Thomas, Elements, of Information Theory, John Wiley, New York, 2006.
[2] R. McEliece, The Theory of Information and Coding, Cambridge Univ. Press, 2004.
[3] Y. Liang, H. V. Poor and S. Shamai, Information Theoretic Security, Now publishers Inc. 2009.

عنوان درس	فارسی	الگوریتم ومحاسبه									
	انگلیسی	Algorithm and Computation									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	ندارد
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف: هدف این درس آشنایی دانشجو با مفاهیم اصلی نظریه محاسبه مرتبط با زمینه‌های رمز و کد در ایجاد سختی الگوریتم یا سهولت محاسبات الگوریتم‌هاو یا امکان تجزیه و تحلیل پیچیدگی الگوریتم‌های مورد استفاده است.

سرفصل‌های درس:

- ارائه تعریف دقیق پیچیدگی محاسبه در مدل‌های قطعی (deterministic) و غیرقطعی (non-deterministic).
- تعریف دقیق کلاس‌های P و NP، تعریف دقیق مسائل NP-تمام با ارائه مثال.
- اهمیت مدل NP در تحلیل حمله به سامانه‌های رمزنگاری و اینکه الگوریتم مهاجم اساساً مسأله‌ای در کلاس NP را حل می‌کند.
- بحث در مورد اهمیت کلاس مسائل به طور کارا حل‌پذیر و اینکه مدل‌های مختلفی وجود دارند. نامناسب بودن کلاس P از دیدگاه رمزنگاری برای این منظور.
- تعریف کلاس‌های پیچیدگی تصادفی، بالاخص BPP. بحث در مورد مسأله $\mathbf{NP} - \mathbf{BPP} \stackrel{?}{=} \emptyset$ و ارتباط آن با مفهوم امنیت.
- تحلیل چند سامانه رمزنگاری در مدل‌های مختلف حمله از این دیدگاه و ارائه تعریف دقیق امنیت معنایی (Semantic Security). بحث در مورد ارتباط این مطلب با تمایزناپذیری (Indistinguishability).
- تعریف دقیق ماشین تورینگ اوراکل‌دار و چگونگی عملکرد آن. ارائه تعریف دقیق مدل پاسخ‌گوی تصادفی (Random Oracle) و ارائه یک اثبات امنیت ساده در این مدل.
- بحث در مورد سامانه‌های اثبات تعاملی (Interactive Proof Systems) و قضایای اصلی مرتبط با آن‌ها، بالاخص بحث در مورد طرح اثبات $\mathbf{IP} = \mathbf{PSpace} = \mathbf{AM}$. اهمیت این قضیه و ارتباط با قضیه PCP.

منابع:

[1] J. Talbot and D. Welsh, Complexity and Cryptography: An Introduction, Cambridge University Press, 2006.

[2] S. Arora and B. Barak,Computational Complexity: A Modern Approach, Cambridge University Press, 2009.

عنوان درس	فارسی	رمزنگاری ۱								
	انگلیسی	Cryptography I								
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	نظریه اطلاع و کاربرد، الگوریتم و محاسبه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد								

هدف: بیان اهمیت رمزنگاری در ارتباطات و نقش ریاضیات پیشرفته در توسیع آن، معرفی رمزنگاری کلاسیک و سپس انواع سیستم‌های رمزنگاری متقارن و نامتقارن، امضای دیجیتال و . . . به نحوی که دانشجو بر اصول و مفاهیم پایه‌ای رمزنگاری مسلط شده و با مثال‌های لازم در این زمینه آشنا شود.

سرفصل‌های درس:

- اهمیت رمزنگاری، تاریخچه، معرفی سرفصل‌های مهم ریاضی مرتبط با رمزنگاری و درصورت لزوم تدریس و یادآوری نکات کلیدی ریاضی مورد لزوم نظیر، میدان‌های متناهی، نظریه اعداد، پیچیدگی محاسبه.
- رمزنگاری کلاسیک، معرفی سیستم‌های رمز مشهور (نظیر سزار و آفین) و نحوه تحلیل آنها
- یادآوری قضیه شانون، امنیت کامل، نحوه اندازه گیری امنیت و محرمانگی (با استفاده از روش‌هایی نظیر آنتروپی و نظریه پیچیدگی)، بررسی انواع امنیت
- معرفی اولیه‌های رمزنگاری به ویژه مولدهای شبه تصادفی، توابع یک طرفه، توابع چکیده ساز
- مولدهای شبه تصادفی، تکنیک‌ها و روش‌های مختلف تولید اعداد تصادفی و اهمیت آنها در تولید کلید
- رمزنگاریمتقارن (قالبی و جریانی)، معرفی انواع تحلیل رمزهای متقارن از جمله تحلیل‌های تفاضلی، خطی، جبری و سایر حملات شناخته‌شده به رمزهای قالبی
- معرفی توابع چکیده ساز، انواع کدهای احراز اصالت (CBC، MAC، HMAC و ...)، امنیت و حملات محتمل به آنها، پروتکل تبادل کلید دیفی- هلمن
- معرفی سامانه‌های رمزنگاری کلید عمومی مشهور (RSA، الجمال، رابین و ...)، تحلیل امنیت آنها
- معرفی طرح‌های امضای رقمی مشهور (نظیر RSA، الجمال و اشنور)

منابع:

[1] D.R. Stinson, *Cryptography: Theory and Practice*, Chapman & Hall / CRC; 3nd edition, 2006.
[2] W. Mao, Modern Cryptography: Theory and Practice, Prentice Hall, 2003.
[3] J. Hoffstein, J. Pipher and J.H. Silverman,AnIntroduction to Mathematical Cryptography, Springer, 2008.
[4] Josef Pieprzyk, Thomas Hardjono, Jennifer Seberry: "Fundamentals of Computer Security", Springer Verlag, 2003.
[5] Christof Paar, Jan Pelzl: "Understanding Cryptography, A Textbook for Students and practitioner", Springer Verlag, 2010.
[6] Jonathan Katz, Yehuda Lindell: "Introduction to Modern Cryptography", Editor: Douglas Stinson, Chapman and Hall/CRC, Taylor & Francis Group, 2008.
[7] Andreas Klein, Stream Ciphers, Springer Verlag, 2013.
[8] Thomas Cover, Joy A. Thomas: "Elements of Information Theory", 2nd Ed. Wiley Series, 2006.

عنوان درس	فارسی	رمزنگاری۲										
	انگلیسی	Cryptography II										
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	رمزنگاری ۱	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد										

هدف: معرفی و آشنایی با جنبه‌های مختلف از کاربرد رمزنگاری، مولدهای تصادفی و نقش حیاتی آنها در ایجاد امنیت، ایجاد توانایی اثبات امنیت سامانه‌های رمزنگاری، معرفی سیستم‌های رمزنگاری جدید، سیستم‌های رمزنگاری آینده و چالش‌های موجود

سرفصل‌های درس:

- تعریف دقیق اولیه‌های رمزنگاری به ویژه مولدهای شبه تصادفی، توابع یک طرفه، توابع چکیده ساز و ارائه قضایای اصلی
- تعریف دقیق طرح‌های شناسایی و احراز اصالت، روش‌های ساخت و اثبات امنیت آنها،
- پروتکل دیفی- هلمن،الگوهای توزیع کلید
- مدل امنیت پاسخگوی تصادفی و تحلیل آن
- تعریف دقیق توابع چکیده‌ساز، روش‌های ساخت و تحلیل آن‌ها
- الگوریتم‌های امضای رقمی با کلید عمومی، روش‌های طراحی و اثبات آنها
- آموزش حملات استاندارد نظیر حملات خطی، تفاضلی، جبری و نظایر آن بر روی یک سامانه ساده رمزنگاری (با انتخاب استاد)
- معرفی مفاهیم و اصول مرتبط با موضوعات پیشرفته‌تر در رمزنگاری با تاکید بر مثال، نظیر:اثبات‌های هیچ دانشی، رمزنگاری کوانتومی (معرفی محاسبات کوانتومی، محدودیت‌های کامپیوترهای کوانتومی و سایر مفاهیم مرتبط)،رمزنگاری مشبکه مبنا، رمزنگاری کدمبنا، رمزنگاری مبتنی بر خم بیضوی، رمزنگاری چکیده مبنا، رمزنگاری چند متغیره

منابع:

[1] Jonathan Katz, Yehuda Lindell: "Introduction to Modern Cryptography", Chapman and Hall/CRC, Taylor & Francis Group, 2008.
[2] D.R. Stinson, Cryptography: Theory and Practice, Chapman & Hall / CRC; 3nd edition, 2006.
[3] W. Mao, Modern Cryptography: Theory and Practice, Prentice Hall, 2003.
[4] A. Menezes , P. Oorschot , S Vanstone, Handbook of Applied Cryptography, CRC Press; 1 edition, 1996.
[5] Bernstein Daniel J., Johannes Buchmann, Erik Dahmen: "Post-quantum Cryptography", Springer Verlag, 2009.
[6] Micciancio Daniele, Shafi Goldwasser: "Complexity of Lattice Problems: A Cryptographic Perspective", Springer Verlag, 2002.
[7] Steven D. Galbraith: "Mathematics of public key cryptography", Cambridge University Press, 2012.

عنوان درس	فارسی	امنیت شبکه										
	انگلیسی	Network Security										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	شبکه‌های کامپیوتری، رمزنگاری ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد										

هدف: این درس به ارائه مباحث مورد نیاز برای امنیت سیستم‌های کامپیوتری در شبکه‌ها می‌پردازد. در این درس سازوکارهای ایجاد محرمانگی، صحت و دسترس‌پذیری برای برقراری سرویس‌های مختلف امنیت شبکه مورد توجه قرار می‌گیرد.

سرفصل‌های درس:

- مقدمه‌ای بر مباحث شبکه، تهدیدات امنیتی، انواع حملات و راه‌های مقابله با آنها (DOS، بدافزارها، ویروس‌ها، کرم‌ها، شبکه‌های بات، جاسوس افزارها، فیشینگ و نظایر آن).
- معرفی اجمالی سیستم‌های رمزنگاری متقارن، نامتقارن، توابع چکیده ساز.
- امنیت لایه دسترسی به شبکه، سرویس‌های امنیتی ATM، پروتکل‌های PPP، PAP، CHAP، EAP، ECP و پرتکل‌های L2TP.
- امنیت لایه اینترنت، فیلترهای بسته، NAT، IPSec، VPN.
- دیوار آتش (firewall) و اصول طراحی آن، نحوه قرارگیری دیوار آتش در شبکه.
- سیستم‌های تشخیص نفوذ، محل قرارگیری آنها در شبکه، false positive/negative، NIDS وHIDS و ترکیب آنها، موتورهای همبستگی سنج.
- امنیت لایه حمل، Socks V5، SASL، ISAKMP.
- امنیت لایه کاربرد،فیلترهای محتوی، مجوزدادن و کنترل دسترسی، امنیت پست الکترونیکی، امنیت وب، SSL، SET، امنیت جاوا، امنیت مدیریت شبکه و SNMP
- مونیتورینگ، مراکز مدیریت امنیت (SOC).
- گمنامی در شبکه.
- پروتکل‌های امن درشبکه‌های کامپیوتری (رای‌گیری الکترونیکی، پرداخت الکترونیکی و ...).
- مفاهیم کلیدی forensics، مولفه‌ها و تکالیف.
- امنیت شبکه‌های بی سیم، WPA/WEP.
- امنیت VOIP.
- طرح و معرفی مباحث جدید و به روز در زمینه امنیت شبکه.

منابع:

[1] William Stallings,Network Security Essentials: Applications and Standards, 4th ed., Prentice Hall, 2011.
[2] William Stallings, Cryptography & Network Security: principles and practice, 5th ed., Pearson, 2011.
[3] B. Forouzan, Cryptography & Network Security, McGraw-Hill, 2008.

عنوان درس	فارسی	روش‌های آماری دررمزنگاری										
	انگلیسی	Statistical Methods in Cryptography										
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز		
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	رمزنگاری ۱		
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد										

هدف: هدف اصلی این درس آشنایی دانشجو با روش‌ها و ابزار موجود در علم آمار برای تجزیه و تحلیل سامانه‌های رمزنگاری است.

سرفصل‌های درس:

- یادآوری اصول اولیه آمار و احتمال بالاخص احتمال شرطی و قانون بیز.
- مولدهای شبه تصادفی و پیاده‌سازی آن‌ها. تحلیل آماری این مولدها. اصول طراحی آزمون‌های آماری و مسائل مرتبط. جهانی بودن Next Bit Test. آزمون‌های NIST و آزمون‌های آماری پیشرفته‌تر.
- استفاده از روش‌های بیزی در تجزیه و تحلیل سامانه‌های رمز. ارائه چند مثال در تحلیل و حمله (با نظر استاد). تأکید بر حمله‌های خطی و تفاضلی از این دیدگاه.
- ارائه اصول طراحی مدل‌های گرافیک، بالاخص روش HMM و مدل‌های پیشرفته‌تر. اصول نظری مرتبط و چگونگی نگرش و به کارگیری این مدل‌ها به عنوان مسائل بهینه‌سازی پیچیده. بررسی کارایی و پیاده‌سازی با ارائه چند مثال (با نظر استاد).

منابع:

[1] L. Chen and G. Gong, Communication System Security, CRC Press, 2012.
[2] J. E. Gentle, Computational Statistics, Springer 2009.
[3] D. Koller and N. Friedman, Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques, MIT Press, 2009.
[4] A.J. Menezes, P.C. van Oorschot, S.A. Vanstone, Handbook of Applied Cryptography, CRC Press 1996.
[5] S. Murphy, F. Piper, M. Walker, P. Wild, Likelihood Estimation for Block Cipher Keys, Technical Report, RHUL, 1995.
[6] D. Neuenschwander, Probabilistic and Statistical Methods in Cryptology, LNCS 3028, Springer 2004.
[7] H. Niederreiter, Random Number Generation and Quasi-Monte Carlo Methods, SIAM, 1992.
[8] M. Stamp, R.M. Low, Applied Cryptanalysis: Breaking Ciphers in the Real World, John Wiley and Sons Inc, 2007.

عنوان درس	فارسی	پنهان سازی اطلاعات									
	انگلیسی	Information Hiding									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه اطلاع و کاربرد، الگوریتم و محاسبه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد									

هدف: آشناسازی دانشجو با تکنیک‌ها و روش‌های پنهان‌سازی اطلاعات در داده‌ها و محتواها، همچنین معرفی بعضی از روش‌های نهان-کاوی و معرفی آخرین روش‌های مورد استفاده در پنهان‌سازی اطلاعات.

سرفصل‌های درس:

- مبانی پنهان‌سازی اطلاعات (information hiding) و کاربردهای اصلی آن: نهان نگاری (steganography) و نشان-گذاری (watermarking)
- بررسی ساختاری اطلاعات چندرسانه‌ای (ویدیو، تصویر ، صوت باند پهن و صحبت)
- تحلیل سیگنال‌های حامل (cover) و بررسی الگوریتمی آن‌ها در محیط فشرده به منظور درج پیام (covert)
- مطالعه تحلیلی روش‌های پنهان‌سازی شامل نهان نگاری و نشان‌گذاری (مقاوم، شکننده و نیمه شکننده)
- شناسائی و تحلیل حملات عمدی و غیرعمدی در نشان‌گذاری
- نهان‌کاوی (Steganalysis) و معرفی بعضی از روش‌های نهان‌کاوی مشهور نظیر ماشین‌های فراگیری و تحلیل‌های آماری
- آشکارسازی و استخراج پیام در نشان‌گذاری و نهان‌نگاری
- مطالعه اثر ویژگی‌های ادراکی انسان در پنهان‌سازی اطلاعات
- آخرین فنون نهان‌نگاری

منابع:

[1] M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich, T. Kalker and I. Cox, Digital Watermarking and Steganography, Elsevier, 2008.

[2] N.F. Johnson, S. Jajodia and Z. Duric, Information Hiding: Steganography and Watermarking - Attacks and Countermeasures, Kluwer, 2003.

[3] S. Katzenbeisser, P. Fabien,Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking, Artech House, 2000.

عنوان درس	فارسی	امنیت پایگاه داده									
	انگلیسی	Database Security									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	رمزنگاری ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد							

هدف: این درس به نکات منطقی در رابطه با امنیت پایگاه داده‌ها می‌پردازد. رویه‌های صحت و محرمانگی اطلاعات در زمینه پایگاه داده‌ها مرور شده و مدل‌سازی پایگاه‌های داده بررسی می شود. طراحی پایگاه داده امن، امنیت در پایگاه داده‌های آماری، رویکردهای امنیت برای پایگاه داده‌های شی گرا، و جمع‌آوری و استفاده از پایگاه داده‌های بازرسی همراه با تشخیص نفوذ معرفی می‌شوند.

سرفصل‌های درس:

- مقدمه‌ای بر پایگاه داده‌ها(مفاهیم،اجزا، معماری‌ها، انواع و ...)
- خواسته‌های امنیتی (یکپارچگی داده و صحت المان‌ها، قابلیت بازرسی، کنترل دست یابی، احراز اصالت کاربر، دسترس‌پذیری، قابلیت اعتماد)
- اطلاعات حساس (عوامل حساس‌سازی، تصمیم‌های مختلف در مورد دسترسی، دسترس پذیری داده‌ها، اطمینان از اصالت، انواع افشای اطلاعات)
- مدل‌های امنیتی: کنترل دسترسی، مسأله استنتاج و کانال‌های نهان، خط مشی باز در مقابل بسته و کنترل دسترسی اختیاری در مقابل اجباری
- مدل‌های کنترل دسترسی اختیاری: مدل‌های ماتریس مبنا، مدل‌های گراف مبنا و مدل‌های کنترل دسترسی اختیاری خاص پایگاه داده‌ها
- مدل‌های کنترل دسترسی اجباری: مدل‌های حفظ محرمانگی، مدل‌های حفظ صحت، مدل‌های کنترل دسترسی چندسطحی و معماری DBMS امن چند سطحی
- مدل‌های کنترل دسترسی نقش مبنا و انواع آنها
- امنیت در پایگاه داده آماری، راهکارهای مختلف
- مدل‌های امنیتی نسل‌های نو و بعدی پایگاه داده‌ها (کنترل دسترسی در پایگاه داده‌های شی گرا، مبتنی بر XML، آنتولوژی و ...)
- مدل‌های کنترل دسترسی قیدی و الزامی
- محصولات تجاری و نمونه‌های اولیه تحقیقاتی
- ارزیابی و تعبیر داده مطمئن
- ساز و کارها و مدل‌های صحت
- بازرسی در پایگاه داده رابطه‌ای
- امنیت اراکل
- تشخیص نفوذ در پایگاه‌های داده
- امنیت پایگاه‌های داده در فضای ابری (cloud) و فضای grid
- امنیت داده‌ها در حالت داده‌های حجیم (big data)

منابع:

[1] S. Castano, M. G. Fugini, G. Martella, and P. Samarati, "Database Security", Addison-Wesley, 1996.
[2] E. Bertino, R. Sandhu, "Database Security-Concepts, Approaches, and Challenges", IEEE Transaction on Dependable and Secure Computing, vol. 2, no. 1, 2005.
[3] M. Bishop, Computer Security: Art and Science, 2nd ed: Addison-Wesley, 2003.
[4] R. S. Sandhu, E. J. Coyne, H. L. Feinstein, and C. E. Youman, "Role-Based Access Control Models", IEEE Computer, vol. 29, pp. 38-47, 1996.

عنوان درس	فارسی	نظریه اعداد محاسباتی									
	انگلیسی	Computational Number Theory									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	نظریه اعداد، برنامه‌سازی C	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف: آشنایی با روش‌های محاسباتی در نظریه اعداد با هدف تحلیل عددی و کاهش پیچیدگی محاسبات برای الگوریتم‌ها در نظریه اعداد که کاربردهای متعددی در رمزنگاری و علوم کامپیوتر دارند.

سرفصل‌های درس:

- مروری کوتاه بر مقدمات نظریه اعداد و جبر چون قضیه باقیمانده چینی، قضیه کوچک فرما، تابع اویلر، دنباله Lucas، نماد Jacoby و ...
- الگوریتم‌های کارای ضرب، جمع، تقسیم، توان رساندن و نظایر آن در حلقه‌های متناهی و الگوریتم‌های مختلف پیمانه گرفتن مانند Montgomery reduction و Barrett reduction
- الگوریتم‌های غربالگری اعداد مرکب Table-Lookup، Bit-Array و Constructive Methods
- الگوریتم‌های آزمون اول بودن: آزمون‌های احتمالاتی Miller-Rabin، Solovay-Strassen، Ballie-PSW و آزمون قطعی Agrawal-Kayal-Saxena و مقایسه آنها از لحاظ پیچیدگی زمانی و حافظه مصرفی
- الگوریتم‌های تجزیه اعداد و مطالعه پیچیدگی محاسباتی آنها
- حساب خم‌های بیضوی
- بکارگیری کتابخانه اعداد بزرگ زبان C++ برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های ارائه شده در درس

منابع

[1] R. Crandall, C. Pomerance, Prime Numbers, A Computational Perspective, Springer, 2000.
[2] Victor Shoup, Computational Introduction to Number Theory and Algebra, Cambridge University Press, 2005.

عنوان درس	فارسی	پروتکل‌های رمزنگاری									
	انگلیسی	Cryptographic Protocols									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	رمزنگاری ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف: در این درس پروتکل‌های امنیتی مختلف توصیف شده، همچنین حملات و دفاع‌های مختلف در مقابل آنها مطرح می‌شود. پروتکل‌های مختلف مانند پروتکل‌های احراز اصالت و امضا، مدیریت حقوق دیجیتال، پروتکل‌های امنیتی در شبکه‌های توزیع شده، بی‌سیم و باسیم، رای‌گیری الکترونیکی، پروتکل‌های پرداخت الکترونیکی، راهکارهای رمزنگاری بصری و ...

سرفصل‌های درس:

- مقدماتی بر پروتکل‌ها، پروتکل‌های امن و انواع آن، کلاس‌های حملات به پروتکل‌های امن و مدل‌های امنیتی، امضا و احراز اصالت و هویت، پروتکل‌ها و سازوکارها، مدیریت و برقراری کلید و صدور گواهی
- مولفه‌های سازنده پروتکل(تعریف پروتکل، ارتباط امن با استفاده از رمزنگاری متقارن، توابع یک طرفه، ارتباط امن با استفاده از رمزنگاری نامتقارن، امضاهای رقمی (digit)، چارچوبی برای سازوکارهای رقمی، RSA و طرح‌های امضای مربوطه، طرح امضای فیات شامیر، DSA و طرح‌های امضای مربوطه، طرح‌های امضای رقمی یکبار مصرف، طرح‌های امضای رقمی حکم-دار، طرح‌های امضای رقمی کور، طرح‌های امضای رقمی غیرقابل انکار، طرح‌های امضای رد-توقف)
- پروتکل‌های ساده (مبادله کلید، احراز اصالت، احراز اصالت و مبادله کلید، تحلیل صوری مبادله کلید و احراز اصالت، رمزنگاری با کلید عمومی چندگانه، رمزنگاری آستانه‌ای، تسهیم راز، محافظت رمزنگاشتی (cryptographic) از پایگاه‌های داده.
- پروتکل‌های متوسط (خدمات مهر زمانی، کانال نهان، امضای رقمی غیرقابل انکار، امضای با تاکید کننده مشخص، امضاهای وکالتی، امضاهای گروهی، محاسبه با اطلاعات رمزشده، طرح‌های تعهد بیتی، طرح‌های سکه اندازی منصفانه، پوکر ذهنی، جمع کننده‌های یک طرفه، افشای همه یا هیچ راز، برون سپاری کلید)
- پروتکل‌های پیشرفته(اثبات‌های هیچ دانشی، اثبات‌های هیچ‌دانشی، امضاهای کور، رمزنگاری کلید عمومی مبتنی بر شناسایی، انتقال بی خبر، امضاهای بی خبر (oblivious transfer)، امضای قرارداد توأمان، نامه رقمی سفارشی، مبادله همزمان رازها)
- مدیریت کلید (تولید کلید، فضای غیرخطی کلید، انتقال کلید، تایید کلید، استفاده از کلید، ذخیره کلید، تازه کردن کلید، ازبین بردن کلید، مدیریت کلیدهای عمومی، زیرساخت کلید عمومی، گواهی‌نامه‌ها، مدل‌های اعتماد)
- پروتکل‌های مبادله کلید (طرح دیفی هلمن، پروتکل‌های ایستگاه به ایستگاه، پروتکل‌های شامیر، مبادله کلید رمزشده، توزیع کلید کنفرانس و پخش راز)
- طرح‌های شناسایی
- پروتکل‌های خاص (انتخابات امن، محاسبات چندطرفه امن، پخش بدون نام پیام، اسکناس رقمی)

منابع:

[1] C. Boyd, A. Mathuria, Protocols for Authentication and Key Establishment, Springer, 2003.
[2] B.Schneier, Applied Cryptography: Protocols, Algorithms and Source Code in C, Wiley, 1996.
[3] P.Ryan, S.Schneider, M.Goldsmith, G.Lowe and B. Roscoe, modelling and Analysis of Security Protocols, Addison-Wesley, 2001.

عنوان درس	فارسی	روش‌های صوری دررمزنگاری										
	انگلیسی	Formal Methods in Cryptography										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	رمزنگاری ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				

هدف: استفاده از روش‌های صوری در مدل‌سازی و تحلیل پروتکل‌ها و الگوریتم‌های رمزنگاری

سرفصل‌های درس:

- نظریه مجموعه‌ها و منطق از مرجع [۱]
- سه روش‌صوری اصلی
- وارسی‌گر مدل (از جمله ابزار Scyther) از مرجع [۲]
- درستی‌یابی خودکار (از جمله منطق BAN)از مرجع [۳]
- جبر پردازه‌ای از مرجع [۴]
- مدل‌سازی و توصیف (description) چند پروتکل معروف امنیت و توزیع کلید (چون دیفی-هلمن) به وسیله یکی از روشهای صوری سه‌گانه معرفی شده در درس
- مشخص کردن(specification) چند خاصیت عمده امنیت چون احراز اصالت، محرمانگی، کنترل دسترسی، گمنامی، عدم انکار با یکی از روش‌های صوری سه‌گانه معرفی شده در درس
- درستی‌یابی (verification) ویژگی‌های امنیتی برای پروتکل‌های توصیف‌شده

منابع:

[1] Michael Huth and Mark Ryan, Logic in Computer Science modeling and reasoning about systems, Cambirdge University Press, 2004.
[2] C. Cremers, S. Mauw, Operational Semantics and Verification of Security Protocols, Springer, 2012.
[3] G. Bella, Formal Correctness of Security Protocols, Springer, 2007.
[4] Wan Fokkink, Introduction to Process Algebra, Springer, 2007.

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه در رمزنگاری									
	انگلیسی	Special topics in Cryptography									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: با نظر استاد						نیاز به اجرای پروژه عملی: با نظر استاد				

درسی است در سطح کارشناسی ارشد یا بالاتر در زمینه تخصصی رمزنگاری که بر حسب امکانات و نیاز برای اولین بار ارائه می‌شود. ریز مواد درسی مربوطه قبل از ارائه، باید به تصویب شورای تحصیلات تکمیلی گروه و دانشکده برسد.

عنوان درس	فارسی	کدگذاری ۱										
	انگلیسی	Coding I										
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه اطلاع و کاربرد، الگوریتم و محاسبه	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				

هدف: شناخت مفاهیم اساسی ساخت کد و انتقال اطلاعات از کانال نویزدار، روش‌های تشخیص و تصحیح خطا، آشنایی با چند کد مهم و دارای ساختار.

سرفصل‌های درس:

- کدهای بلوکی، کدهای بلوکی خطی، تعریف، مفاهیم، پارامترهای کلیدی، ماتریس مولد و ماتریس بررسی توازن، کانال‌های مخابراتی و معرفی مختصر بعضی از مدولاسیون‌های معروف
- طرح تصمیم، احتمال‌های کشف و تصحیح خطا
- کدگشایی مینیمم فاصله، کدگشایی بیشترین درستنمایی
- میدان‌های متناهی، روش ساخت و توسیع، چندجمله‌ها و محاسبات روی میدان‌های متناهی
- به‌دست آوردن کدهای جدید از یک کد مفروض، دوگان یک کد خطی
- کدگشایی بر اساس مشخصه
- کدهای با خاصیت بیشترین جدایی پذیریMDS
- کدهای همینگ، ساخت، خواص و پرامترها
- کدهای دوری و نحوه ساخت آنها با کمک میدان‌های متناهی
- کدهای BCHدودویی و غیر دودویی، کدگذاری و کدگشایی، خواص و پارامترها
- کدهای ریدسالمون، کدگذاری و کدگشایی، خواص و پارامترها
- کدهای ریدمولر و انواع آنها
- کدهای آلترننت، کدهای گوپا و کدهای BCH تعمیم یافته
- روش‌های ترکیب کدها(ضرب کدها، تعمیم کدها، الحاق کدها، کوتاه کردن کدها و ...)
- کدهای ساخته شده با هندسه متناهی و کدهای Majority-Logic decodable

منابع:

[1] S.B.Wicker, Error control systems for digital communication and storage, Prentice-Hall Englewood cliffs, NJ, 1995.
[2] S.Roman, Coding and Information Theory,Springer-Verlag,1992.
[3] Shu Lin and Daniel Castello, Error Control Coding, Pearson Pr. Hall, NJ, 2004.
[4] T.K. Moon, Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms, Wiley-Interscience, 2005.
[5] J.H. van Lint. Introduction to coding theory, Springer, 1999.

عنوان درس	فارسی	کدگذاری۲									
	انگلیسی	Coding II									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	کدگذاری ۱	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف: ارائه مفاهیم پیشرفته در نظریه کدگذاری نظیر بررسی و تحلیل پارامترهای ریاضی و کلیدی کدها، تکنیک‌های کدگشایی و کدگذاری کدهای جدید و بررسی خواص آنها، معرفی آخرین دستاوردها در خصوص کدهای جدید و بررسی خواص آنها.

سرفصل‌های درس:

- کدهای کلاسیک، کدهای جبری و هندسی و کدهای غیر خطی مشهور و اشراف کلی بر پارامترها و خواص کلیدی آنها شامل:
- کران روی اندازه کدها مفاهیم و قضایا، توزیع وزن مفاهیم و قضایا، دوگان و خوددوگانی کدها، خواص و پارامترها، مباحث مربوط به شعاع پوششی (مطالعه موردی برای بعضی از کدها)
- کدهای روی Z_m (مطالعه موردی برای Z_4)، معرفی کدهای دارای ساختار هندسه جبری (خواص و پارامترها)
- معرفی کدهای غیر خطی مشهور و پارامترهای آنها
- کدهای تصحیح کننده خطای پاک کننده کپه‌ای
- کدهای مبتنی بر گراف، Expansion گرافی و ... (معرفی آنها)
- کدهای پیچشی
- انواع و روش‌های ساخت
- کدگذاری
- کدهای پیچشی و کانال‌های خطای پاک کننده کپه‌ای
- ارائه یک نوع روش کدگشایی (به عنوان مثال، روش‌های کدگشایبر داربست-مبنا و الگوریتم ویتربی).
- کدهای توربو
- انواع و روش‌های ساخت
- معرفی جایگشت دهندها
- ارائه یک نمونه الگوریتم کدگشای مشهور برای این دسته از کدها
- تحلیل کارایی کدهای توربو
- کدهای LDPC
- انواع و روش‌های ساخت دارای ساختار منظم و نامنظم، دوری، شبه دوری و دودویی و غیر دودویی (با استفاده از ماتریس‌های جایگشت دوری، با استفاده از طرح‌های ترکیبیاتی، با استفاده از هندسه متناهی، پورتوگراف‌ها وRA ....)و شبه تصادفی (مک کی،PEG، گلگر)
- کدگذاری کدهای LDPC و QC-LDPC

- ارائه دو نمونه الگوریتم کدگشای تکراری تصمیم سخت و نرم (برای نمونه الگوریتم جمع-ضرب) برای این دسته از کدها در حالت دودویی (توانایی و درک کدگشایی کدهای LDPC بر روی سه کانال BSC، BEC، AWGN)
- تحلیل کارایی کدهای LDPC
- تکامل چگالی Density Evolution
- روش ساخت کدهای LDPC با استفاده از تکامل چگالی
- خواص کدهای ساخته شده و تحلیل کارایی آنها
- الحاق کدها، ضرب کدها،بر هم نهش کدها (Superposition) و ... با استفاده از کدهای توصیف شده بندهای فوق (پیچشی، توربو، LDPC)، نحوه کدگشایی، مزایا و معایب
- معرفی کدهای قطبی، کدهای جدید (رپتور، فواره‌ای و ....)، معرفی مقدماتی از کدگذاری شبکه، کدهای جدید

منابع:

[1] T. Richardson, R. Urbanke, Modern Coding Theory, Cambridge University Press, 2008.
[2] S. Lin, D.J. Costello, Error Control Coding, 2004.
[3] J.H Van Lit, Introduction to Coding Theory (Graduate Texts in Mathematics), Springer, 1998.
[4] W.C. Huffman, V. Pless, Fundamentals of Error-Correcting Codes, Cambridge, 2003.
[5] Handbook of Coding Theory, Volume I, Volume II, North Holland; 1 edition, 1998.
[6] William E. Rayan and Shu Lin, Channel Codes, Classical and Modern, Cambridge University Press, 2009.

عنوان درس	فارسی	کدگذاری شبکه									
	انگلیسی	Network Coding									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	کدگذاری۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف: هدف این است که دانشجو به توان تحلیل شبکه و کدگذاری آن دست یابد و بتواند با توجه به کاربرد زیادی که کدگذاری شبکه در مسائل اقتصادی، طراحی ارتباط همتا-به-همتا، شبکه‌های بیسیم و ... دارد دانش و توان علمی خود را مورد استفاده قرار دهد.

سرفصل‌های درس:

- تعریف و مقدمات ریاضی مورد نیاز، شبکه پروانه‌ای، ارتباطات بیسیم و ماهواره‌ای، شبکه‌های ارتباطی نقطه به نقطه، کران برای بیشترین جریان
- کدگذاری شبکه برای شبکه‌های منبع منفرد چند-پخشی، مدل شبکه‌های ارتباطی، شبکه‌های غیردوری، تعریف کدهای شبکه، نظریه کدگذاری برای شبکه‌های منبع منفرد چند-پخشی، بهره (gain)کدگذاری شبکه برای شبکه‌های ترکیبی
- کدگذاری شبکه به‌صورت خطی، تعاریف کدهای شبکه خطی، قضیه Koetter و Medart برای کدهای شبکه خطی، خواص مطلوب برای کدهای شبکه خطی
- تکنیک‌های کدگذاری شبکه، کدگذاری متمرکز (localized)، کدگذاری تصادفی
- کدگذاری شبکه منبع-منفرد به‌صورت خطی، شبکه‌های دوری، شبکه‌های دوری بدون تاخیر، کدهای پیچشی (convolutional) شبکه، کدگذاری و کدگشایی

منابع:

[1] R. W. Yeung, Information Theory and Network Coding, Springer; 1st edition, 2008.
[2] R. Yeung, S-Y Li, N Cai, Network Coding Theory, Now Publishers Inc, 2006.
[3] Tracey Ho, Network Coding, Cambridge Univ. Press, 2008.
[4] C. Fragouli , E. Soljanin, Network Coding Applications, 2008.

عنوان درس	فارسی	الگوریتم‌های کدگشایی تکراری									
	انگلیسی	Iterative Decoding Algorithms									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	کدگذاری ۲	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف: این درس به بررسی و تحلیل الگوریتم‌های کدگشایی کدهای خطی می‌پردازد که برای کدگشایی از روش‌های تکراری و گراف‌ها بهره می‌برند. این رده از کدها از جدیدترین خانواده‌های کدها بوده و دارای کاربردهای فراوانی در سیستم‌های مخابراتی فعلی هستند.

سرفصل‌های درس:

- مقدمه‌ای بر کدها، کانال‌ها، ظرفیت و مفاهیم گرافی مورد نیاز (آنتروپی، ظرفیت، انواع کانال، کدها و کدگشایی و اندازه گیری کارایی)
- کدهای LDPC:
- معرفی مختصر (روش‌های ساخت دارای ساختار، شبه تصادفی)
- کدگذاری (اختیاری)
- کدگشایی (انواع روش‌های تکراری نرم و سخت برای کدهای دودویی و غیر دودویی و برای انواع کانال‌های مخابراتی)، بررسی پیچیدگی محاسباتی
- معرفی مجموعه‌های ترکیبیاتی اثر گذار بر کدگشایی تکراری، کمرگراف، دور در گراف
- تحلیل نمودارهای کارایی،
- معرفی کدهای خوب LDPC و قواعد تولید آنها مبتنی بر نتایج کدگشایی
- کدهای پیچشی
- معرفی مختصر و نحوه ساخت
- کدگذاری کدهای پیچشی (اختیاری)
- کدگشایی BCJR ، کدگشایی Log MAP، Viterbi برای انواع کانال‌های مخابراتی، بررسی پیچیدگی محاسباتی
- کدهای توربو
- معرفی مختصر و نحوه ساخت
- کدگذاری کدهای توربو (اختیاری)
- کدگشایی کدهای توربو برای انواع کانال‌های مخابراتی، بررسی پیچیدگی محاسباتی
- الحاق سریالی و کدهای RA
- الحاق سریالی کدهای توربو
- کدهای Repeat-accumulate(RA)
- کدگذاری کدهای RA (اختیاری)
- کدگشایی کدهای RA

- طراحی کد
- نمودارهای EXIT
- نمودارهای EXIT برای کدهای توربو (اختیاری)
- نمودارهای EXIT برای کدهای RA (اختیاری)
- نمودارهای EXIT برای کدهای LDPC
- طراحی و آنالیز کد بر اساس نمودارهای EXIT
- تحلیل خطای کف
- معرفی
- تحلیل بیشترین درست نمایی
- تحلیل خطای کف برای کدهای LDPC
- ملاک‌ها و معیارهای طراحی کدها برای غلبه بر خطای کف و پارامترهای موثر

منابع:

[1] S.B. Wicker, S. Kim, Fundamentals of codes, graphs, and iterative decoding, Kluwer Academic Publishers, 2003.

[2] S. J. Johnson, Iterative Error Correction Turbo, Low-Density Parity-Check and Repeat–Accumulate Codes, Cambridge University Press, 2010.

[3] T. Richardson , R. Urbanke, Modern Coding Theory, Cambridge University Press, 2008.

[4] S. Lin, D.J. Costello, Error Control Coding, Pearson-Prentice Hall, 2004.

[5] Handbook of Coding Theory, Volume I, Volume II, North Holland; 1 edition, 1998.

[6] William E. Rayan and Shu Lin, Channel Codes, Classical and Modern, Cambridge University Press, 2009.

عنوان درس	فارسی	کدگذاری فضا- زمان								
	انگلیسی	Space-Time Coding								
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	کدگذاری۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		

هدف: مطالعات بنیادی درخصوص ظرفیت کانال‌های MIMO[1] برای مخابرات بدون سیم و دست یابی به حداکثر کارایی پیش بینی شده توسط نظریه‌های مختلف ریاضی. معرفی مفاهیم آنتن‌های انتقال/دریافت چندگانه، معرفی فنون کدگذاری فضا-زمان، مطالعه فنون آنالیز کدهای فضا-زمان و معرفی الگوریتم‌های مختلف کدگشا برای کدهای فضا-زمان

سرفصل‌های درس:

- مرور دوره،
- معرفی کانال‌های بی سیم، ظرفیت کانال‌های MIMO،
- محک طراحی کد فضا-زمان، کدهای بلوکی متعامد فضا-زمان، کدهای بلوکی شبه متعامد فضا-زمان، کدهای ترلیس[2] فضا زمان و انواع آن،
- کدگشایی کدهای فضا-زمان، مدلولاسیون مختلف فضا-زمان،
- روش‌های مختلف تشخیص برای آنتن‌های چندگانه،
- روش‌ها و فنون جدید و بروز دنیا درخصوص کدهای فضا-زمان،
- کدهای پیچشی، توربو و LDPC و ... و کاربرد آنها در کدهای فضا-زمان،
- سایر مفاهیم جدید در کدهای فضا-زمان

منابع:

[1] H. Jafarkhan, Space-Time Coding: Theory and Practice, Cambridge University Press, 2005.
[2] Branka Vucetic, Jinhong Yuan,Space-Time Coding, John Wiley, 2003.

[1]Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)
[2]Trellis

عنوان درس	فارسی	کدگذاری منبع									
	انگلیسی	Source Coding									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه اطلاع و کاربرد
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف: فناوری‌های دیجیتال کنونی به مرحله ای از رشد رسیده اند که به خلق، تبادل و مصرف اطلاعات می‌پردازند. این دامنه وسیع استفاده از داده و اطلاعات، پهنای باند مورد استفاده در ارتباطات را با مسائل جدی روبرو نموده است و هسته اصلی این فناوری‌ها برای مدیریت داده، اطلاعات و نرخ آن روش‌های کدگذاری منبع است که موضوع این سرفصل درسی است. مبتنی بر اصول نظریه اطلاع و نرخ اعوجاج[3] مواردی نظیر کدگذاری آنتروپی، تدریج[4]، کدگذاری تبدیل[5] و کدگذاری پیشگویانه[6] در این درس مورد توجه قرار خواهند گرفت. گرفت. همچنین الگوریتم‌های کدگذاری صوت و ویدئو بررسی و مطالعه خواند شد.

سرفصل‌های درس:

- مقدماتی بر نظریه اطلاع، آنتروپی، نامساوی کرفت، آنتروپی نسبی،شرطی، نرخ افزونگی، اطلاعات متقابل و ..
- کدکذاری بدون اتلاف، کدهای نامنطبق: شانون، هافمن، کدهای حسابی. کدهای فراگیر و منطبق. کدهای Ziv-Lempel
- نظریه نرخ-اعوجاج، تابع نرخ-اعوجاج، کران پایین شانون، توزیع نرخ روی متغیرهای مستقل، معکوس آبشار، الگوریتم بالاهوت
- کوانتیزاسیون نرخ-بالا، تدریجConstrained-resolution و constrained-entropy. تدریج بردار در مقابل اسکالر. Practical high-rate-theory-based quantizers
- تدریج نرخ-پایین، الگوریتم Lloyd training (k-means)برای حالت‌های constrained-resolution و constrained-entropy. تدریج برداری دارای ساختار و انواع آن، روش‌های جستجوی سریع بانک‌های تبدیل و فیلتر
- پیشگویی خطی

منابع:

[1] T. Wiegand and H. Schwarz, Source Coding: Part I of Fundamentals of Source and Video Coding, Now Publishers, 2011.
[2] T.M. Cover and J.A. Thomas: Elements of Information Theory, 2nd Edition, John Wiley & Sons, NJ, 2006.
[3] R.M. Gray: Source Coding Theory, Springer, 1989.

[3]Distortion
[4]Quantization
[5]Transform
[6]Predictive

عنوان درس	فارسی	نظریه اطلاع وکدگذاری کوانتومی										
	انگلیسی	Information Theory and Quantum Coding										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	کدگذاری ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				

هدف: دانشجو در این درس با مکانیزم‌های کوانتومی، الگوریتم‌های کوانتومی و کدهای تصحیح کننده خطای کوانتومی آشنا می‌شود.

سرفصل‌های درس:

- مرور جبرخطی و نماد دیراک (ضرب داخلی فضاها، ماتریس‌های نرمال، ضرب تنسوری فضاهای برداری، تجزیه مقدار تکین، تجزیه اشمیت و ...)
- فرض‌های مکانیزم‌های کوانتوم (فضای حالت، تکامل یکتایی، اندازه‌گیری، ماتریس‌های چگالی، رد جزئی)
- اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، پارادوکس ERPو نامساوی‌های بل
- بعضی از پروتکل‌ها و و الگوریتم‌ها شامل کدگذاری فوق چگال، teleportation، الگوریتم Duetsch-Jozsa، الگوریتم تجزیه شور، الگوریتم گرورز، پروتکل توزیع کلید BB84
- فاصله‌ها روی فضاهای حالت
- نقشه‌های کوانتوم (نقشه‌های حفاظت-رد به طور کامل مثبت، بازنمایش Kraus، بازنمایش Choi-Jamiolkowski)
- نظریه تصحیح خطای کوانتومی کدها و محاسبه کوانتومی (کد شور، قضیه Knill-Laflame، کدهای CSS،کدهای پایدارساز)

منابع:

[1] Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, 2011.

[2] Ivan Djordjevic, Quantum Information Processing and Quantum Error Correction, Academic Press, 2012.

عنوان درس	فارسی	کدهای حلقه مبنا									
	انگلیسی	Ring-Based Coding									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	جبر ۳ وآشنایی بامفاهیم نظریه حلقه‌ها، کدگذاری ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد									

هدف: شاخه جدیدی از نظریه کدگذاری در زمینه ساخت کدهای خطی رو جدید این حلقه‌های متناهی ایجاد شده است که هدف این درس آشنایی دانشجو با نظریه‌های حوزه است.

سرفصل‌های درس:

- حلقه چندجمله‌ای‌ها و الگوریتم تقسیم اقلیدس
- تجزیه چندجمله‌ای‌ها روی میدان‌های متناهی و خواص چندجمله‌ای‌ها نظیر تحویل ناپذیری، ارائه محک‌های بررسی تحویل ناپذیری، بررسی وجود ریشه و ...
- لم هنسل و قضیه ترفیع هنسل[7]
- حلقه‌های گالوا شامل ارائه مثال‌هایی از حلقه‌های گالوا، ارائه ساختار و بررسی قضایای کلیدی، بررسی شباهت‌های میان حلقه‌های گالوا و میدان‌های گالوا و ...
- معرفی حلقه‌هایی که شرایط طراحی کد روی آنها وجود دارد نظیر حلقه‌های آرتینی و نوتری، حلقه‌های فروبنیوس، حلقه‌های زنجیری[8] و ... (اختیاری)
- کدهای خطی روی $\mathbb{Z}_4$ و ارائه ماتریس مولد
- چندجمله‌ای‌های شمارنده وزن، تعریف تابع وزن روی یک حلقه و ارائه وزن‌های مختلفی که روی کدهای حلقه مبنا تعریف می‌شود نظیر وزن همینگ، وزن لی و ...
- معرفی نگاشت گری[9] که رابطه میان کدهای حلقه مبنا و کدهای مبتنی بر میدان‌ها را بیان می‌کند.
- کدهای دوری روی حلقه‌ها و بررسی رده‌های خاص نظیر کدهای کردوک و پریپرتا و تعمیم‌های آنها
- ارتباط میان کدهای چهارتایی[10] و مشبکه‌ها، بررسی کدهای چهارتایی خود دوگان و ارائه چندجمله‌ای شمارنده وزن برای آنها (اختیاری)
- ارائه کدهای مبتنی بر حلقه‌های فروبنیوس و حلقه‌های زنجیری

منابع:

[1] Zhe-Xian Wan, Quaternary Codes, Series on Applied Mathematics, World Scientific Pub Co Inc, 1997.
[2] Zhe-Xian Wan, Lectures on finite fields and Galois rings, World Scientific Pub Co Inc, 2003
[3] Bernard R. McDonald, Finite Rings with Identity, Pure and Applied Mathematics, a series of monograph and textbooks, 1974.

[7] Hensel Lift
[8] Chain ring
[9] Gray isometry
[10] Quaternary Codes

عنوان درس	فارسی	کد شبکه خطی تصحیح کننده خطا									
	انگلیسی	Linear Error Correcting Network Codes									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	کدگذاری شبکه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف: با توجه به اینکه در بسیاری از موارد کاربردی کانال‌های یک شبکه ارتباطی خطا دار هستند لازم است در طراحی کدهای مورد نیاز در شبکه به قابلیت تصحیح خطای کد نیز توجه نمود و از این جهت طراحی کدهای با قابلیت تصحیح خطا اجتناب ناپذیر است.

سرفصل‌های درس:

- مدل شبکه تصحیح خطا
- وزن و فاصله، توانایی کشف تصحیح و تصحیح خطا
- توصیف موضعی کدشبکه تصحیح خطا، وزن و فاصله، کدگشایی
- کران همینگ، کران یکانی و کدهای MDS
- ساخت کدهای MDS
- کدشبکه‌های تصادفی تصحیح خطا

منبع:

[1] Xuan Guang and Zhen Zhang, Linear Network Error Correction Coding, Springer, 2014.

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه درکد گذاری									
	انگلیسی	Special Topics in Coding									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: با نظر استاد								نیاز به اجرای پروژه عملی: با نظر استاد			

درسی است در سطح کارشناسی ارشد یا بالاتر زمینه تخصصی کد که بر حسب امکانات و نیاز برای اولین بار ارائه می‌شود. ریز مواد درسی مربوطه قبل از ارائه، باید به تصویب شورای تحصیلات تکمیلی گروه و دانشکده برسد.

ریاضی کاربردی- گرایش معادلات دیفرانسیل و دستگاه های دینامیکی

فصل اول

مشخصات دوره کارشناسی ارشد گرایش معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی

مقدمه

دستگاه‌های دینامیکی به بررسی پدیده‌هایی می‌پردازد که با زمان تحول می‌یابند، که در آن زمان می‌تواند پیوسته و یا گسسته باشد. این پدیده‌ها معمولا با معادلات دیفرانسیل (عادی، جزیی، تاخیری، تحولی، تصادفی و یا تابعی) و معادلات تفاضلی مدل می‌شوند. با توجه به اینکه اکثر مدل ها پدیده‌های غیر خطی را مدل می‌کنند، بدست آوردن جواب صریح آنها معمولا امکان پذیر نیست. در اینجا بررسی خوش تعریف بودن مدل‌ها(وجود یکتایی و وابستگی پیوسته جواب‌ها به داده‌های اولیه)، تجزیه و تحلیل کیفی جواب‌ها و بررسی رفتار هندسی و مجانبی جواب‌ها در فضای فاز از اهمیت بسزایی برخوردار است. رفتار بسیاری از این مدل‌ها وابسته به پارامترهایی در مساله هستند که با گذر پارامتر از یک مقدار بحرانی رفتار کیفی جواب تغییر می‌کند(انشعاب رخ می دهد). تعیین و شناسایی این مقدار بحرانی و نحوه تغییر جواب‌ها نیز از اهمیت بسزایی برخورداراست.

تعریف

دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی یکی از دوره‌های آموزشی – پژوهشی در نظام آموزش عالی است که پس از دوره کارشناسی آغاز و به اعطای مدرک رسمی دانشگاهی می انجامد. این دوره از نظر اجرا تابع ضوابط و مقررات و آیین نامه های مصوب شورای برنامه ریزی آموزش عالی وزارت علوم تحقیقات و فناوری است.

اهداف

- تامین نیروهای کار آمد در زمینه تجزیه و تحلیل کیفیرفتار جواب‌های معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی
- تربیت نیروی متخصص در زمینه مدل سازی مسایل کاربردی

نقش و توانایی

دانش آموختگان دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی قادرند که:

- به عنوان مطلع در زمینه‌های نظری و عملی به تجزیه و تحلیل کیفی رفتار جواب‌های معادلاتی بپردازند که از علوم، مهندسی، اقتصاد و پزشکی نشات می‌گیرد.
- خوش تعریف بودن مدل‌های ارائه شده برای پدیده‌های مختلف را بررسی نمایند
- تغییرات کیفی رفتار جواب‌ها را با تغییر پارامتر های سیستم شناسایی و پیش بینی کنند.
- مدل‌های جدید برای پدیده‌های فیزیکی، اقتصادی، مهندسی و زیستی ارایه کرده و رفتار دراز مدت جواب‌ها را پیش بینی کند.

- با تسلط بر نرم افزارهای سیستم‌های دینامیکی جواب‌ها را شبیه‌سازی کرده و تغییر در رفتار جواب‌ها را با تغییر در مقادیر پارامتر ها را تجزیه و تحلیل و پیش بینی کند.

ضرورت و اهمیت

گرایش معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی یکی از فعال ترین شاخه‌های علوم ریاضی است که در دانشگاه‌های معتبر سراسر جهان به تحقیق و تدریس در آن می‌پردازند. جهت خودکفایی در حل مسائلی که در تحقیقات پایه و کاربردی با آن‌ها مواجه هستیم، کسب دانش نظری و تسلط بر روش‌های تجزیه و تحلیل کیفی مدل‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. تربیت نیروی متخصص در زمینه معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی می‌تواند پاسخگوی نیازهای کشور در این زمینه و همچنین به پیشبرد مرزهای دانش کمک می کند.

کلیات برنامه

عنوان دوره: کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی

پیش نیاز ورود: دارا بودن مدرک کارشناسی در یکی از رشته های مجموعه علوم ریاضی، فیزیک و مهندسی.

فصل دوم

جدول دروس گرایش معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی

درس اصلی زمینه تخصصی معادلات دیفرانسیل عادی: معادلات دیفرانسیل عادی ۱

درس اصلی زمینه تخصصی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای: معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱

درس اصلی زمینه تخصصی دستگاه‌های دینامیکی: دستگاه های دینامیکی ۱

جدول شماره ۲: جدول دروس تخصصی - انتخابی

شماره ردیف	نام درس	نام درس لاتین	تعداد واحد	پیشنیاز (ها) و همنیاز(ها)
۱	معادلات دیفرانسیل عادی ۲	Ordinary Differential Equation 2	۳	معادلات دیفرانسیل عادی ۱
۲	معادلات دیفرانسیل پاره ای۲	Partial Differential Equations 2	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
۳	دستگاه های دینامیکی گسسته ۱	Discrete Dynamical Systems1	۳	مبانی سیستم های دینامیکی(کارشناسی)
۴	نظریه انفراد ۱	Singularity Theory 1	۳	نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل (کارشناسی)
۵	دستگاه های دینامیکی ۲	Dynamical systems 2	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۶	روش های تغییراتی درمعادلات دیفرانسیل	Variational Methods in differential equations	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱

دانشجو باید دست کم یک درس از میان دروس جدول فوق انتخاب نماید.

جدول شماره ۳: درس های تخصصی- اختیاری (زمینه تخصصی معادلات دیفرانسیل عادی)

شماره درس	نام درس	نام درس لاتین	تعداد واحد	پیشنیاز(ها)و همنیاز (ها)
۱	نظریه اشتورم و لیوویل	Sturm Liouville Theory	۳	معادلات دیفرانسیل عادی ۱
۲	معادلات انتگرال	Integral Equations	۳	معادلات دیفرانسیل عادی ۱
۳	آنالیز مجانبی	Asymptotics Analysis	۳	توابع مختلط و معادلات دیفرانسیل عادی ۱
۴	حساب تغییرات	Calculus of Variations	۳	
۵	دستگاه های دینامیکی با بعد نامتناهی	Infinite dimensional Dynamical systems	۳	معادلات دیفرانسیل عادی۱
۶	معادلات دیفرانسیل کسری	Fractional differential equations	۳	توابع مختلط (کارشناسی)
۷	معادلات دیفرانسیل تاخیری	Delay differential equations	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۸	ابزارهای اساسی در معادلات دیفرانسیل	Basic tools in differential equations	۳	آنالیز حقیقی ۱
۹	مباحث ویژه در معادلات دیفرانسیل عادی	Special Topics in ODE	۳	اجازه گروه

جدول شماره۴: درس های تخصصی اختیاری (زمینه تخصصی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای)

شماره درس	نام درس	نام درس لاتین	تعداد واحد	پیشنیاز(ها)و همنیاز (ها)
۱	معادلات بیضوی	Elliptic equations	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای۱
۲	کاربرد های گروه لی در معادلات دیفرانسیل	Applications of Lie group in differential equation	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای۱
۳	معادلات تحولی و نیم گروه ها	Semi-groups and evolution equations	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
۴	مسائل وارون	Inverse Problems	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
۵	معادلات هذلولوی	Hyperbolic functions	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
۶	ریاضیات زیستی	Mathematical Biology	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۷	نظریه کنترل	Control Theory	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۸	ریاضی فیزیک ۱	Mathematical Physics1	۳	آنالیزحقیقی ۱
۹	ریاضی فیزیک ۲	Mathematical Physics2	۳	آنالیزحقیقی ۱
۱۰	مباحث ویژه در معادلات دیفرانسیل پاره ای	Special Topics in PDE	۳	اجازه گروه

عنوان درس	فارسی	حساب تغییرات و کنترل بهینه									
	انگلیسی	Varitional Calculus and Optimal Control									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد									

هدف:

سرفصل درس:

۱- معرفی شکل کلی مسائل حساب تغییرات

۲- اکسترممهای تابعی و قضیه اساسی حساب تغییرات

۳- تغییر دوم و شرایط لازم لژاندر و ژاکوبی برای ساده‌ترین مساله تغییراتی

۴- مسایل تغییراتی با نقطه انتهایی آزاد و نقطه نهایی ثابت

۵- مسایل تغییراتی با تابع مجهول دو یا چند متغیره

۶- معرفی اشکال کلی مسئله کنترل بهینه

۷- شرایط لازم بهینگی و اصل پونتریاگین

۸- مسایل کنترل بهینه بنگ-بنگ

مراجع پیشنهادی:

1- **Bruce Van Brunt, Calculus of Variations, Springer, 2004**
2- **R. Weinstock, Calculus of variations with applications to physics & engineering, Dover Publications, 1974.**
3- **B. Dacorogna, Introduction to the calculus of variations, Imperial College Press, 2004.**
4- **Lecture Notes: I. B. Russak, Calculus of variations, 2002.**
5- **Lecture Notes: Andrej Cherkaev and Elena Cherkaev Calculus of Variations and Applications, 2003.**
6- **Jr. Arthur E. Bryson and Yu-Chi Ho Applied Optimal Control: optimization, estimation, and control, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1975.**
7- **Kirk D. Optimal Control Theory. An Introduction, Dover, 2004**

عنوان درس	فارسی	روش‌های نقطه‌درونی									
	انگلیسی										
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد							

هدف:

سرفصل درس :

- مروری بر بهینه سازی خطی و دوگانگی
- معرفی مساله خود-دوگان و ارائه یک روش نقطه درونی با پیچیدگی چندجمله‌ای برای حل آن
- معرفی روش‌های نقطه درونی، تابع مانع لگاریتمی، مسیر مرکز و روش نیوتن
- روش‌های نقطه درونی برای مسائل بهینه‌سازی خطی به شکل کانونی و استاندارد
- روش‌های نقطه درونی برای مسائل بهینه‌سازی خطی به کمک تابع مانع لگاریتمی و اثبات پیچیدگی چندجمله ای این دسته از روش‌ها
- روش‌های نقطه درونی اولیه-دوگان برای مسائل بهینه‌سازی خطی که شامل روش‌های نقطه درونی با گام‌های کامل نیوتن، گام‌های کوتاه نیوتن، گام‌های ناقص نیوتن و روش‌های نقطه درونی تطبیقی و پیشگو-اصلاح‌گر و اثبات پیچیدگی چند جمله‌ای برای تمامی این روش‌ها.
- معرفی کوتاهی از مسائل بهینه‌سازی خطی درجه دو، مسائل مکمل خطی و بهینه‌سازی نیمه‌معین مثبت و توسعه روش‌های نقطه درونی برای این دسته از مسائل بهینه‌سازی

مرجع پیشنهادی:

1. **Roos, Cornelis, Tamás Terlaky, and Jean-Philippe Vial. Interior point methods for linear optimization. Springer Verlag, Second Edition, 2006.**

عنوان درس	فارسی	شبیه‌سازی پیشرفته										
	انگلیسی											
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	-
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد					نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

سرفصل درس :

مروری بر ادبیات شبیه سازی و مفاهیم پیش نیاز، مدل سازی عملیات پایه‌ای (توسعه مدل یک رویکرد، ساخت مدل، اجرای مدل، مشاهده و بررسی نتایج)، شبیه سازی و انیمیشن (صف، تصویر و طرح)، آنالیز داده ها (تعیین پارامترهای مدل، داده های تصادفی، جمع اوری داده ها، کاربرد داده ها، فرایند های ورود غیر ثابت، داده های ورودی وابسته و چند متغیره)، مدل سازی دقیق و تجزیه و تحلیل اماری ورودی و خروجی (ساخت زیر مدل، افزایش زمان دوره مدل، خطایابی مدل، اجرای شرایط، پایین و بالا بردن سرعت اجرا، بررسی کارایی اندازه ها و مترها، انالیز تصادفی خروجی ها، بررسی قالب زمانی شبیه سازی، تعیین استراتژی برای جمع اوری و آنالیز داده ها، مقایسه و ارزیابی دو و یا چند جایگزین، جستجو برای جایگزین بهینه)، مدل سازی و انالیز تصادفی حالت پایدار، مدل های پیوسته، گسسته و ترکیبی (پیوسته/گسسته)، شبیه سازی انتقال جریان(فرمول بندی مساله، متدولوژی جواب، سیستم و مشخصات شبیه سازی، ساختمان و فرمول بندی مدل، تایید و اعتبار، اجرا و آنالیز، ارایه ونتایج ، انتشار مدل)، پیاده سازی (زبانهای برنامه نویسی ویژه شبیه سازی، استفاده از نرم افزارهای کاربردی).

مراجع پیشنهادی:

1. L. G. Birta, G. Arbez, in: Modeling and Simulation: Exploring Dynamic System Behavior, Springer, 2007.

2. S. Robinson, Simulation: The Practice of Model Development and Use, John Wiley & Sons, Chichester, 2004.

3. W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Deborah A. Sadowski, Simulation with Arena, McGraw Hill.

4. J. Banks, J. S. Carson and L. Nelson, Discrete-Event System Simulation, Prentice Hall, 1996.

5. P. Bratley, B. L. Fox and L. E. Schrage, A Guide to Simulation, Springer-Verlag, 1987.

6. P. A. Fishwick, Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds, Prentice-Hall, 1995.

7. J. P. C. Kleijnen, Statistical Tools for Simulation Practitioners, Marcel Dekker, New York, 1987.

8. A. M. Law and W. D. Kelton, Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, 1991.

9. I. R. Wilmink and L. H. Immers, Deriving Incident Management Measures Using Incident Probability Models and Simulation, TNO Research Report 95/NV/172, The Netherlands, 1995.

10. J. Abou-Kassem, Engineering Approach vs the Mathematical Approach in Developing Reservoir Simulation, J. Nature Science and Sustainable Technology, Vol. 1, No. 1. pp 35-68, 2007.

عنوان درس	فارسی	کنترل بهینه تصادفی									
	انگلیسی										
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

سرفصل درس :

مراجع پیشنهادی:

عنوان درس	فارسی	کنترل خطی و غیرخطی										
	انگلیسی											
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۳۸	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد								

هدف:

سرفصل درس :

مراجع پیشنهادی:

عنوان درس	فارسی	مدل‌سازی ریاضی											
	انگلیسی												
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد										

هدف:

سرفصل درس :

- تعریف مدل ریاضی، فرایند مدل‌سازی، دسته بندی مدل‌های ریاضی
- مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، شامل تولید ترکیبی، موازنه مونتاژ، زمان بندی تولید، تولید چند دوره ای، مسایل برش و غیره.
- مدل‌های ریاضی در سهام، سرمایه گذاری چند دوره ای و اوراق قرضه
- مدل‌سازی صحیح و صفر ویک، شامل هزینه ثابت، تقریب منحنی، توزیع و حمل و نقل، انتخاب و زمان بندی پروژه و غیره.
- مدل‌سازی غیرخطی، شامل کنترل بهینه گسسته، مساله تولید-انبار، مساله ساخت بزرگراه، مساله طراحی ساختاری، طراحی مکانیکی، شبکه های الکتریکی، مساله مدیریت منابع آب، تخصیص منابع و غیره
- مدل‌سازی تصادفی
- مدل‌سازی و تکنیک‌های تحلیل عملکرد، شامل تحلیل پوششی داده ها و روش مرز تصادفی

مراجع پیشنهادی:

1. **M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty, Nonlinear programming: theory and algorithms. Wiley, New York, 2009.**
2. **Junger et al., 50 Years of Integer Programming 1958–2008, Springer, 2010.**
3. **M.S. Bazaraa, J.J. Jarvis, H.D. Sherali, Linear programming and network flows, John Wiley, New York 1990.**
4. **Hamdy Taha, Integer Programming: Theory, Application, and Computations, Academic Press, New York, 1975.**
5. **W.W. Cooper, L.M. Sieford, K. Tone, Data Envelopment Analysis, Kluwer Academic Publishers, 2007.**

عنوان درس	فارسی	نظریه بازی و کاربردها									
	انگلیسی	Game Theory and its Applications									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی:ندارد									

هدف:

سرفصل درس:

بازیهای ائتلافی با سود قابل انتقال، هسته (core)، ناتهی بودن هسته، قضیه Bondareva – Shapley ، بازیهای ائتلافی بدون سود قابل انتقال.

مجموعه‌های پایدار ون نیومن و مورگنسترن، مجموعه چانه‌زنی، k (kernel)هسته، N هسته(Nucleolus)- ارزش شیپلی.

مسأله چانه زنی – جواب نش و رده بندی آن - تعریف اصل موضوعی جواب نش

بازیهای ماتریسی، محاسبه تعادل های مخلوط، بازیهای توسعه یافته تک مرحله ای، بازیهای توسعه یافته چندمرحله ای،

بازیهای مجموع صفر با حرکات تصادفی، تعمیم هائی از فرم توسعه یافته بازیهای مجموع صفر متناهی، مجموعه های اطلاعاتی وابسته به عمل

مراجع پیشنهادی:

1) Martin J. Osborne, Ariel Rubinstein, A Course in Game Theory (1994).

2) G. Owen, Game Theory (1995).

3) R. B. Myerson, Game Theory: Analysis of Conflict (1991).

4) R. Gibbons, Game Theory for Applied Economists (1992).

عنوان درس	فارسی	نظریه مکان‌یابی									
	انگلیسی	Location Theory									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه	اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

سرفصل درس:

معرفی مساله فرما وبر

معرفی مسائل مکانیابی پیوسته: شامل مکانیابی تک وسیله ای، چندوسیله ای و مسائل بدون ظرفیت

معرفی و روشهای حل مسائل مکانیابی در حضور موانع (Location problem with barriers)، معرفی مدلهای مکانیابی گسسته و شبکه، معرفی مساله پوشش (Covering) و مساله مکانیابی هاب(Hub location)، معرفی مدلهای ناخوشایند (Obnoxious)، نیمه ناخوشایند (Semi-obnoxious)و مدلهای گلوگاه(Bottleneck)، معرفی مدلهای مکانیابی احتمالی، معرفی مدلهای مکانیابی معکوس و وارون(Reverse and Inverse models)

روشهای حل مدلهای مکانیابی شامل : روشهای تقریبی، روشهای ابتکاری و فراابتکاری، روشهای رهاسازی لاگرانژین و نیمه لاگرانژین، روشهای دقیق

مراجع پیشنهادی:

1. M.S. Daskin, Networks and discrete location: models, algorithms and applications, 2th edition 2013, Wiley.
2. Z. Drezner, H.W. Hamacher, Facility location: applications and theory, 2nd edition 2004, Springer.
3. R.L. Francis, F. McGinnis and J.A. White, Facility layout and location: an analytical approach, 2nd edition 1991, Pearson.
4. K. Klamroth, Single facility location problems with barriers, 2002, Springer
5. H.W. Kuhn, On a pair of dual nonlinear problems, in Nonlinear programming, Chapter 3, J. Abadie, 1967, North Holland.
6. R.F. Love, J.G. Morris and G.O. Wesolowsky, Facility location: models and methods, 1988, Appleton&Lange.
7. P.B. Mirchandani, R.L. Francis, Discrete location theory, 1990, Wiley-Interscience.

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه در بهینه‌سازی									
	انگلیسی	Special topics in Optimization									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: با نظر استاد						نیاز به اجرای پروژه عملی: با نظر استاد					

درسی است در سطح کارشناسی ارشد یا بالاتر در زمینه بهینه سازی که بر حسب امکانات و نیاز برای اولین بار ارائه می گردد. ریز مواد درسی مربوطه قبل از ارائه بایستی به تصویب شورای تحصیلات تکمیلی گروه و دانشکده برسد.

ریاضی کاربردی- گرایش رمز و کد

جدول شماره۵: درس‌های تخصصی اختیاری (زمینه تخصصی دستگاه‌های دینامیکی)

شماره درس	نام درس	نام درس لاتین	تعداد واحد	پیشنیاز(ها)و همنیاز (ها)
۱	نظریه ارگودیک	Ergodic Theory	۳	آنالیز حقیقی ۱
۲	دینامیک مختلط	Complex Dynamics	۳	توابع مختلط (کارشناسی) یا اجازه استاد
۳	نظریه سیکل های حدی	Theory of Limit Cycles	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۴	نظریه سیستم های کند-تندوسیکل های کانارد درصفحه	Slow-Fast Systems and Canard Cycles in Plane	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۵	انشعاب در سیستم های هامیلتونی	Bifurcations in Hamiltonian systems	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۶	نظریه معدل گیری و فرم های نرمال	Averaging and Normal form Theory	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۷	روش های محاسباتی در دستگاه های دینامیکی	Computational methods in Dynamical Systems	۳	دستگاه های دینامیکی ۱
۸	نظریه انفراد ۲	Singularity theory 2	۳	نظریه انفراد ۱
۹	دینامیک هم پایا	Equivariant Dynamics	۳	نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل(کارشناسی) و مبانی جبر(کارشناسی)
۱۰	مباحث ویژه در دستگاه های دینامیکی	Special Topics in Dynamical Systems	۳	اجازه گروه

دانشجو موظف است دست کم یک درس از مجموعه درس های جداول شماره ۴،۳ و ۵ را اختیار کند.

تبصره: دانشجو باید با نظر گروه حداکثر یک درس از درس‌های کارشناسی ارشد مرتبط خارج از جداول ۲ الی ۵ را اختیار کند.

فصل سوم

سرفصل دروس دوره کارشناسی ارشد گرایش معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی

عنوان درس	فارسی	دستگاه های دینامیکی ۱
	انگلیسی	Dynamical Systems 1

نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

ریز مواد

دستگاه های خطی و پایداری خطی شده: هندسه جریان ها، معادل بودن جریان ها، زیر فضاهای پایدار، ناپایدار و مرکزی، پایداری نقاط تعادل قضیه هارتمن گرابمن،

پایداری و دامنه جاذبه: توابع لیاپانف، اصل پایایی لاسال، دامنه جاذبه نقطه تعادل، قضایای منیفلد پایدار و ناپایدار، دستگاه های هامیلتونی و گرادیانی در صفحه

انشعابات مقدماتی، انشعاب گره زینی، چنگال، تبادل پایداری، هیسترسیس و گوشه. انشعابات دستگاه های خطی، انشعابات در دستگاه های گرادیانی و همیلتونی. شکافت انشعابات در دستگاه های خطی. پایداری ساختاری . قضیه پیکشتو، دسته بندی نقاط تعادل در صفحه، قطاع های هذلولوی، سهموی و بیضوی.

انشعابات در دستگاه های با بعد n.قضایای منیفلد مرکزی دردستگاه های وابسته به پارامتر. قضیه فرم نرمال بیرکهف. انشعاب پوانکاره-آندرونف-هاپف.

وجود و عدم وجود سیکل های حدی :قضیه پوانکاره بندیکسون در صفحه، شرط بندیکسون و دولاک. نظریه اندیس. پایداری و انشعابات موضعی سیکل های حدی.

مراجع پیشنهادی:

1. Hale, J., Kocak, H., *Dynamics and Bifurcations*, Springer-Verlag, New York, 1991

2. Perko, L., *Differential Equations and Dynamical systems*, 3rd edition, Springer-Verlag, 2001

3. Hirsch, M. W., Smale, S., Devaney, R. L. *Differential equations, Dynamical Systems and an introduction to Chaos,* Second edition, Elsevior, Academic Press, 2004

4. Guckenheimer, J.; Holmes, P, *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems and Bifurcations of Vector Fields*, Springer-Verlag, New York, 1988

5. Wiggins, S.; *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*, Springer-Verlag, NewYork, 1990

عنوان درس	فارسی	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱									
	انگلیسی	Partial Differential Equations 1									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزیی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

ریزموادرس:

مدل های فیزیکی برای معادلات(معادلات ازکجا می آیند؟)

پیچش و تنظیم در فضاهای L^p، دنباله های تنظیم کننده، فضای توابع تعمیم یافته، تابع دلتای دیراک، جواب اساسی معادلات، نمایش جواب ها برای معادلات با استفاده از جواب اساسی، تابع گرین برای مسایل مرزی دیریکله، معادلات مرتبه دوم شامل معادله گرما و انتشار، معادله موج، معادله لاپلاس و پواسون، روش های حل شامل جداسازی متغیرها، تابع و مقدارویژه، روش های انرژی و اصل ماکزیمم، معادلات خطی وغیرخطی مرتبه اول، روش منحنی مشخصه، جواب های ضعیف و امواج شوک، مساله ریمان، تبدیل فوریه و لاپلاس.

مراجع پیشنهادی:

1. L. C. Evans, *Partial Differential Equations*, Graduate Studies in Mathematics, 19. American Mathematical Society, 1998

2. W. Strauss, *Partial Differential Equations: An Introduction,* 2nd Edition, John Wiley and Sons. New York, 2008

3. J. Jost, *Partial Differential Equations,* 2nd edition. Graduate Texts in Mathematics 214. Springer, New York, 2007.

4. S. Salsa, Partial Differentail Equations in Action, from modeling to theory, Springer-Verlag Italia, Milano, 2008.

عنوان درس	فارسی	معادلات دیفرانسیل عادی ۱									
	انگلیسی	Ordinary Differential Equations1									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریزمواد:

دستگاه‌های معادلات خطی با ضرایب ثابت:دستگاه‌های خطی جفت‌نشده، قطری‌سازی، توان‌های عملگرها، قضیهٔ اساسی حل دستگاه‌های خطی، دستگاه‌های خطی در صفحه، یادآوری فرم‌های ژردان، محاسبهٔ نمای عملگری، پایداری دستگاه‌های خطی.

دستگاه‌های معادلات خطی با ضرایب متغیر:ماتریس اساسی، قضیهٔ وجود و یکتایی، دستگاه معادلات همگن، الحاقی دستگاه معادلات خطی همگن، دستگاه معادلات خطی ناهمگن.

قضیه‌های وجود و یکتایی: وجود و یکتایی با شرط لیپ‌شیتز، وجود با شرط پیوستگی و قضیهٔ پئانو، ادامهٔ جواب بازهٔ ماکسیمال وجود، جواب‌های سرتاسری،جریان وابسته به یک معادلهٔ دیفرانسیل، وابستگی پیوسته نسبت به شرایط اولیه، وابستگی مشتق‌پذیر نسبت به شرایط اولیه، خطی‌سازی.

دستگاه‌های خودگردان: ویژگی‌های کلی جواب‌های دستگاه‌های خودگردان، مجموعهٔ می‌نیمال وابسته به یک معادلهٔ دیفرانسیل، جواب‌های تناوبی، سیکل های حدی، رفتار جواب‌ها نزدیک نقطهٔ تعادل

نظریهٔ پایداری: پایداری، پایداری مجانبی، دامنهٔ جذب، پایداری دستگاه‌های خطی، اختلال و پایداری دستگاه‌های غیرخطی، پایداری و ناپایداری به روش تابع لیاپانف، کاربردهای روش لیاپانف.

مراجع پیشنهادی:

1. Coddington, E. A., and Levinson. N., *Theory of ordinary differential equations*, Mc-Graw Hill, 1955.

2. Perko. L., *Differential equations and dynamical systems*, 3rd Ed., Springer-Verlag, NewYork, 2006.

عنوان درس	فارسی	معادلات دیفرانسیل عادی ۲									
	انگلیسی	Ordinary Differential Equations2									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل عادی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریزمواد:

سیستم معادلات دیفرانسل خطی غیر همگن، سیستم معادلات دیفرانسل خطی و متناوب، معادلات خطی با ضرایب تحلیلی، رفتار مجانبی بعضی جوابهای سیستم خطی، سیستم های خطی با نقاط منفرد از نوع اول، جوابهای صوری، نقاط منفرد در بینهایت، روش فربنیوس، سیستم های خطی با نقاط منفرد از نوع دوم، سریهای مجانبی، جوابهای صوری در حالت مختلط، انتگرال لاپلاس و سری مجانبی، مساله خودالحاق روی بازه متناهی، قضیه بسط کامل، قضیه نوسان و مقایسه ای اشتورم – لیوویل، شرایط مرزی متناوب، مساله مقدار اولیه خود الحاق منفرد برای معادلات مرتبه دوم، حالات نقاط حدی و دوایر حدی، قضیه کامل و بسط در حالت نقطه حدی در بی نهایت، رفتار منظم در دو نقطه یک بازه.

مراجع پیشنهادی:

1. E. Coddington & N. Levinson, *Theory of Ordinary Differential Equations*, McGraw Hill, 1955

2. A. Kirsch, *An Introduction to the Mathematical Theory of Inverse Problems*, Springer, 2011

3. G.M.L. Gladwell, *Inverse problems in Vibrations*, Springer, 2005

4. J. Poschel and E. Trubowitz, Inverse Spectral Theory, Academic Press, 1987

عنوان درس	فارسی	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۲									
	انگلیسی	Partial Differential Equations 2									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱، آنالیز حقیقی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

ریزموادرس:

همگرایی ضعیف در فضاهای L^p، اپراتورهای فشرده و نظریه فرد هلم. فضای توابع تعمیم یافته، تابع دلتای دیراک، فضاهای سوبولف،مشتق های ضعیف، تعریف فضاهای سوبولف، قضایای تقریب، قضیه اثر، نامساوی های سوبولف/ نشاندن، نامساوی ها ازنوع پوانکاره، نشاندن های فشرده. جواب های تعمیم یافته، مفهوم جواب های اساسی برای معادلات. معادلات بیضوی مرتبه دوم، وجود جواب های ضعیف، قضیه لکس- میلگرم، تحمین های انرژی، جایگزین فرد هلم، منظم بودن، اصل ماکزیمم، مسایل مقدار ویژه برای عملگر های بیضوی. معادلات مرتبه دوم سهموی، وجود جواب های ضعیف، روش گالرکین، منظم بودن، اصل ماکزیمم ضعیف و قوی. معادلات هذلولوی مرتبه دوم، وجود جواب های ضعیف، منظم بودن، انتشاراختلال ها، نظریه نیمگروه ها، روش های نقطه ثابت.

مراجع پیشنهادی:

1. L. C. Evans, *Partial Differential Equations,* Graduate Studies in Mathematics, 19. American Mathematical Society, 1998

2. J. Jost, *Partial Differential Equations,* Second edition. Graduate Texts in Mathematics, 3. Adams, R. A., and Fournier, J. F., Sobolev spaces, 2nd ed., Academic press, 2003

4. Brezis, H., Functional Analysis, *Sobolev spaces, and Partial Differential Equations,* University text, Springer-Verlag, Berlin, 2011

عنوان درس	فارسی	روش های تغییراتی در معادلات دیفرانسیل									
	انگلیسی	Variational methods in differential equations									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

آشنایی با روش های تغییراتی برای حل معادلات و سیستم های بیضوی غیر خطی و همچنین آشنایی با روش های اثبات انتظام (regularity)این معادلات ،که یکی از زمینه های اصلی پژوهش درحوزه معادلات دیفرانسیل پاره ای است.

ریزموادرس:

روش مستقیم در حساب تغییرات، نیم پیوستگی ضعیف و رابطه اش با تحدب، قضیه وجود و یکتایی، جواب ضعیف معادله اویلر- لاگرانژ، تخمین مشتق دوم جواب، انتظام از مراتب بالاتر، مسائل مقید، انتظام مسائل مقید، شبه تحدب در مسائل برداری و سیستم ها، انتظام پاره ای برای مسائل برداری و سیستم ها، شرط پالاس-اسمیل و لم گذر از کوه، کاربرد در حل معادلات بیضوی نیم خطی، روش های خاص برای اثبات و جود رویه های مینیمال

مراجع پیشنهادی:

1. L.C. Evans, Partial Differential Equations, AMS, 2010

2. D. Gilbarg, N. Trudinger, Elliptic Partial Differential Equations of Second Order, Springer, 1998

3. B. Dacorogna, Direct Methods in the Calculus of Variations, Springer, 2008

4. E. Giusti, Direct Methods in the Calculus of Variations, World Scientific, 2003

5. M. Struwe, Variational Methods, Springer, 2008

6. M. Giaquinta, Multiple Integrals in the Calculus of Variations and Nonlinear Elliptic Systems, Princeton University Press, 1983

عنوان درس	فارسی	دستگاه های دینامیکی گسسته ۱										
	انگلیسی	Discrete Dynamical Systems 1										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	مبانی سیستم های دینامیکی (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد										

هدف:

ریزموادرس:

دستگاه های دینامیکی گسسته یک بعدی شامل معادلات تفاضلی خطی باضرایب ثابت ومتغیر، پایداری نقاط ثابت هذلولوی وغیرهذلولوی ونوع پایداری آنها. مشتق شوارتزی، قضیه شارکوسکی و معکوس آن، انشعابات مضاعف سازی دوره تناوب، دینامیک نمادین، مجموعه کانتور، آشوب ازدیدگاه دیوینی، مزدوج بودن، حساسیت نسبت به شرط اولیه و نماهای لیاپانف، آشوب ازدیدگاه لی-یورک. دستگاه های دینامیکی درصفحه شامل دستگاه های خطی، معادلات تفاضلی مرتبه۲، نمای فاز، توابع لیاپانف، قضیه هارتمن- گرابمن، قضیه منیفلدپایدار، اتومورفیسم هذلولوی تورال آنوسف، نگاشت های نعل اسبی وهنان، انشعاب نیمارک سکر. رباینده بودن وتحلیل نیم سیکل. دیگرتعاریف آشوب، قضیه ماروتو، ارتباط بین آشوب ازدیدگاه دیوینی و لی- یورک. نظریه ارگودیک، انتروپی، انشعابات وفرم های نرمال نگاشت ها، محاسبه نما های لیاپانف، کنترل و هماهنگ‌سازی آشوب. مدل های کاربردی شامل برخی مدل ها در بیولوژی، اقتصاد، علوم اجتماعی، شبکه های عصبی، اتوماتای سلولی، رمزنگاری آشوبناک، تعامل بین آشوب ونظریه کدگذاری.

مراجع پیشنهادی:

1. S. N. Elaydi, *Discrete Chaos, with Applications in Science and Engineering*, Second Edition, Boca Raton: Chapman and Hall/CRC, 2008.

2. K. T. Alligood, T. D. Sauer, J. A. Yorke, *Chaos: An Introduction to Dynamical Systems*, Springer, 2000 .

3. R. L. Devaney, *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems*, Second Edition, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989 .

عنوان درس	فارسی	نظریه انفراد ۱									
	انگلیسی	Singularity Theory 1									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریز مواد درس:

ساده سازی لیاپانف-اشمیت، روابط هم ارزی و انشعاب فضا های مماسی محدود شده، تعین متناهی، ایده آل های ذاتی. نظریه شکافت، انشعابات ماندگار و غیرماندگار. دسته بندی براساس هم بعد، شکافت جهانی انشعابات مقدماتی. معادل بودن توپولوژیکی در مقابل معادل بودن هموار، انشعاب با تقارن **Z2**

مراجع پیشنهادی:

1. M. Golubitsky, *D.J. Schaefer, Singularities and Groups in Bifurcation Theory,* Volume I, Springer-Verlag, 1985 .

2. M. Golubitsky, I. Stewart, D.J. Schaefer, *Singularities and Groups in Bifurcation Theory,* Volume II, Springer-Verlag, 1988.

3. V. I. Arnold, *Dynamical Systems, Chatasrophe Theory*, Springer-Verlag, 1993

عنوان درس	فارسی	دستگاه های دینامیکی ۲									
	انگلیسی	Dynamical Systems 2									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	دستگاه های دینامیکی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریزموددرس:

تقارن درفرم های نرمال، فرم های نرمال دستگاه های وابسته به پارامتر،

انشعابات موضعی از هم بعد ۲: انشعابات تاکنز-باگدانف (درحضور ۲ مقدارویژه صفر)، انشعاب در حضور یک جفت مقدار ویژه موهومی ویک مقدارویژه صفر. روش معدلگیری، روش ملنیکف، اختلال درمدارهای تناوبی و هموکلینیک درصفحه، انشعاب هموکلینیک، انشعابات سراسری ناشی از انشعابات موضعی ازهم بعد ۲. انشعاب تاکنز- باگدانف، انشعابات سراسری درصفحه، نعل اسب اسمیل، دینامیک نمادین، نگاشت انتقال، مجموعه های هذلولوی، افراز مارکف و رباینده های غریب. مدارهای هموکلینیک به نقاط تعادل هذلولوی دردستگاه های خودگردان درانشعابات لورنز و شلنیکف. معادلات دیفرانسیل روی چنبره، عدد دوران، شبه تناوبی بودن، انشعابات مدارهای تناوبی روی چنبره

مراجع پیشنهادی:

1. Guckenheimer, J., Holmes, P, *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems andBifurcations of Vector Fields*, Springer-Verlag, New York, 1988

2. Wiggins, S., *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*, Springer-Verlag, NewYork, 1990.

3. Kuznetsov, Y. A., *Elements of Applied Bifurcation Theory*, Springer-Verlag, NewYork, 1995

4.Hirsch, M. W., Smale, S., Devaney, R. L., *Differential equations, Dynamical Systems and an introduction to Chaos*, Second edition, Elsevior, Academic Press, 2004

4. S. Wiggins, *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*, Springer, Second Edition, 2003.

عنوان درس	فارسی	نظریه ارگودیک									
	انگلیسی	Ergodic Theory									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	آنالیز حقیقی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد								نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف:

ریزموادرس:

نگاشت های اندازه نگهدار (مثال های مهم، بازگشت، ارگودیک، آمیزنده ضعیف، آمیزنده قوی، قضایای همگرایی)، ایزومرفیسم - تزویج - ایزومرفیسم طیفی (مقادیر ویژه، توابع ویژه، طیف گسسته)، آنتروپی (تعاریف و ویژگی ها، روش های محاسبه آنتروپی)، دینامیک توپولوژیک (مجموعه مینیمال، ترایایی توپولوژیک)، اندازه های ناوردا برای نگاشت های پیوسته (اندازه روی فضای توپولوژیک، یکتایی ارگودیک)، آنتروپی توپولوژیک (اصل وردشی)

مراجع پیشنهادی:

1. P. Walters, *An Introduction to Ergodic Theory*, Graduate Texts in Mathematics, Vol. 79, 1982

2. M. Viana, K. Oliveira, Foundations of Ergodic Theory, Cambridge University Press, 2016.

عنوان درس	فارسی	دینامیک مختلط									
	انگلیسی	Complex Dynamics									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	توابع مختلط یا اجازه استاد
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

ریز مواد درس:

مقدمه و یاد اوری (توابع تحلیلی – توابع همدیس)، مفاهیم اولیه روی کره ریمان، نقاط ثابت – نقاط بحرانی – قضیه ریمان هرویتز، هم پیوستگی- خانواده نرمال – مجموعه ژولیا – مجموعه فاتو و خواص آن ها، مدار- مدار ناوردا- نقاط استثنایی - دسته بندی نقاط ثابت و تناوبی-پهنه های جذب، مولفه های فاتو – مولفه های ژولیا – شاخص اویلر- خواص مولفه های فاتو و ژولیا، بررسی موضعی دینامیک نقاط ثابت – قضیه خطی سازی کونیکس – قضیه بوتخر– قضیه گلبرگ لئو و فاتو، دسته بندی مولفه های ناوردا

منابع پیشنهادی:

1. A. F. Beardon, *Iteration of rational functions, Complex analytic dynamical systems.* Springer-Verlag, 1991.
2. J. Milnor, *Dynamics in One Complex Variable.* 3rd edition, Princeton University Press, 2006.
3. L.Carleson, and T. W. Gamelin ,*Complex Dynamics.* Springer-Verlag, 1992.

عنوان درس	فارسی	نظریه سیکل های در صفحه									
	انگلیسی	Theory of Limit Cycles									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه معادلات دیفرانسیل عادی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

ریزموادرس:

نتایج پایه در نظریه کیفی معادلات دیفرانسیل: مروری برنمای فاز میدان های برداری و جریان ها، معادل بودن و مزدوج بودن توپولوژیک، مجموعه های α-حدی و ω-حدی، ساختار موضعی نقاط تکین، قضیه پوانکاره بندیکسون

فرم های نرمال و نقاط تکین مقدماتی: قضیه فرم های نرمال، نقاط تکین جاذب و دافع، نقاط زینی هذلولوی و مطالعه توپولوژیک آن ها، نقاط تکین مقدماتی

تکین زدایی از نقاط تکین غیر مقدماتی: بزرگ نمایی همگن و شبه همگن، تکین زدایی و خاصیت لوجاسیویچ، نقاط تکین پوچ توان

مرکز و ثابت های لیاپانف: فرم های نرمال مرکزهای خطی، نتایج پایه و اصلی، الگوریتم و کاربردها

فشرده سازی پوانکاره و پوانکاره لیاپانف: چارت های موضعی، نقاط تکین نامتناهی، فشرده سازی پوانکاره لیاپانف و بندیکسون، جریان سراسری یک میدان برداری چند جمله ای

اندیس های نقاط تکین درصفحه: اندیس یک مسیر حول یک نقطه، تغییر شکل مسیرها، اندیس نقاط تکین یک میدان برداری، میدان های برداری روی کره، فرمول اندیس پوانکاره، رابطه اندیس و چند گانگی

سیکل های حدی و پایداری ساختاری: چند گانگی و پایداری سیکل های حدی، میدان های برداری دوران یافته، پایداری ساختاری

مراجع پیشنهادی:

1. **Y. Yan et al, *Theory of Limit Cycles,* Translations of Mathematical Monographs, Vol66, American Mathematical Society, 1986.**
2. **F. Dumortier, J. Llibre, J. C. Artés, *Qualitative Theory of Planar Differential equations,* Universititex, Springer, 2006**
3. **Perko, L., *Differential Equations and Dynamical systems*, 3rd Edition, Springer - Verlag , 2001**

عنوان درس	فارسی	نظریه سیستم های کند-تند و سیکل های کانارد درصفحه										
	انگلیسی	Slow-Fast Systems and Canard Cycles in Plane										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	دستگاه های دینامیکی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد										

هدف:

ریزموادرس:

مقدمه: مدل های تصادفی و شبه پایداری، مقیاس های زمانی و سیستم های کند-تند،
سیستم های کند-تند قطعی: منیفلدهای کند، تعاریف و مثال ها، همگرایی به یک منیفلد کند پایدار، نظریه هندسی اختلال تکین (وجود یک منیفلد آدیاباتیک)، انشعابات دینامیکی (پویا)، کاهش منیفلد مرکزی، انشعاب گره-زینی، انشعاب چنگال متقارن و تاخیر انشعاب، چگونگی بدست آوردن قوانین مقیاس گذاری، انشعاب هاپف و تاخیر در انشعاب، مدارهای تناوبی و معدل گیری، همگرایی به یک مدار تناوبی پایدار، منیفلدهای پایا،
سیستم های وابسته به زمان کند ۱-بعدی: شاخه های تعادل پایدار، حالت خطی، حالت غیر خطی، تخمین های لحظه ای، شاخه های تعادل ناپایدار، انشعاب چنگال نامتقارن،
سیستم های دینامیکی کند-تند چند بعدی: منیفلدهای کند و کاهش به متغیرهای کند، مدارهای تناوبی، دینامیک در نزدیکی یک مدار تناوبی ثابت، دینامیک در نزدیکی یک مدار تناوبی آرام، انشعابات،
کاربردها: نوسانگرهای غیر خطی، معادله لانگوین میرا شده، نوسانگر وندرپل، مدل های ساده آب و هوا

مرجع پیشنهادی:

1. N. Berglund and B. Gentz, Noise-*Induced Phenomena In slow-Fast Dynamical Systems*, Springer- Verlag, 2006.

عنوان درس	فارسی	انشعاب در سیستم های هامیلتونی									
	انگلیسی	Bifurcations in Hamiltonian Systems									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	دستگاه های دینامیکی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریز مواد درس:

ساختارپواسون، تبدیل های سیمپلکتیک، روش کاهش مسطح، نگاشت انرژی گشتاور، پایه های استاندارد، نرمال‌سازی بیرکهف والگوریتم های دپریت نگاشت نمایی، کاهش به تکینگی مرکزی، شکافت جامع، نوسانگر، میدان های برداری دایره- هم پایا، انشعاب و دینامیک های رزنانس قوی، نظریه انفراد، فضاهای مماسی، لم مورس گاما-پایا، پایه گروبنرو استاندارد، الگوریتم ها و محاسبات، الگوریتم های کس و شلزینگر.

مراجع پیشنهادی:

1. H. Broer, I. Hoveijn, G. Lunter, G. Vegter, *Bifurcations in Hamiltonian Systems, Computing singularities by Grobner basis*, Springer-Verlag Berlin 2003

2. J. P. Dufour, N. T. Zung, *Poisson Structures and their normal forms*, Birkhauser Verlag, 2005

3. S. Wiggins, *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*, Springer-Verlag, 2003

عنوان درس	فارسی	نظریه معدل‌گیری و فرم های نرمال									
	انگلیسی	Averaging and Normal Form Theory									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	دستگاه های دینامیکی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

ریزموادرس:

معدل گیری استاندارد، معدل گیری دوره ای، تداوم نقطه ثابت، حفظ خاصیت هذلولوی بودن، تزویج موضعی، سایه ولم سایه، حالت های منظم و معدل، معدل گیری روی زمان و روی زاویه، معدل گیری و ارتباط آن با فرم های نرمال، فرم های نرمال هامیلتونی، فرم های نرمال مرتبه اول، فرم های نرمال پوچتوان، فرم های نرمال ازمرتبه های بالاتر، کاربرد هایی از نظریه معدل گیری و فرم های نرمال، خمینه مرکزی و فرم های نرمال

مراجع پیشنهادی:

1. J. A. Sanders, F. Verhaulst, J. Murdock, *Averaging methods in nonlinear dynamical systems*, Springer, 2007.

2. M. Haragus, G. Iooss, *Local Bifurcations, Center Manifolds, and Normal Forms in Infinite-Dimensional Dynamical Systems*, Springer, 2010

3. J. Guckenheimer & Ph. Holmes, *Nonlinear oscillation, dynamical systems and bifurcation of vector fields*, Springer, 1990.

4. Y. Kuznetsov, *Elements of Applied bifurcation theory*, Springer, 1998.

عنوان درس	فارسی	روش های محاسباتی در دستگاه های دینامیکی										
	انگلیسی	Computation methods in Dynamical Systems										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	دستگاه های دینامیکی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد					نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

ریزموادرس:

مبانی محاسباتی مربوط به نگاشتها و میدان های برداری، پایداری، انشعاب، مجموعه های حدی، ناورداها، رباینده ها، آشوب.

مسئله مقدار اولیه و روشهای محاسباتی، مرتبه و همگرایی، مرتبه خطی و غیر خطی، مسئله های خطی استیف، مسئله های غیر خطی استیف، روشهای عددی به عنوان دستگاه های دینامیکی، شرط های لیپ شیتس، دستگاه های اتلافی، دستگاه های گرادیان، پایداری سراسری، انقباض، دستگاه های خطی، دستگاه های اتلافی، دستگاه های گرادیان، همگرایی مجموعه های ناوردا، تعادل ها، مدار ها، خمینه ها، پاسخ های دوره ای، نمودار حالت، تاثیر گسسته سازی بر رباینده ها و خواص سراسری، دستگاه های هامیلتونی، دستگاه های پایستار

مراجع پیشنهادی:

1. A. M. Stuart and A. M. Humphries, *Dynamical systems and numerical analysis*, Cambridge University Press, 1998

2. J. Guckenheimer & Ph. Holmes, *Nonlinear oscillation, dynamical systems and bifurcation of vector fields*, Springer, 1990

3. Y. Kuznetsov, *Elements of Applied bifurcation theory*, Springer, 1998.

عنوان درس	فارسی	معادلات دیفرانسیل تاخیری۱									
	انگلیسی	Delay Differential Equations1									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	دستگاه های دینامیکی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

ریزموادرس:

مثال هایی ازمعادلان دیفرانسیل تاخیری، نوسان در جواب ها، قضایای وجود، یکتایی و پیوستگی جواب ها به داده های اولیه و پارامتر، نظریه پایداری، تعاریف، روش تابعک های لیاپانف، تابعک های لیاپانف برای دستگاه های خودگردان، معادلات خطی خود گردان، نیم جریان، مجموعه های α-حدی و ω-حدی. دستگاه های دینامیکی تولید شده توسط معادلات تاخیری

نیم گروه های قویا پیوسته، طیف یک تولیدکننده، تجزیه فضای C، ماتریس های مشخصه و معادل بودن، تجزیه فضای C توسط معادلات الحاقی، اصل پایداری خطی شده، نقاط تعادل هذلولوی و غیر هذلولوی، مدارهای تناوبی هذلولوی، منیفلدهای پایدار، ناپایدار و مرکزی، مقدمهای بر نظریه انشعاب هاپف برای معادلات تاخیری، ساده سازی منیفلد مرکزی، تخمین منیفلد مرکزی موضعی

مراجع پیشنهادی:

1. Hale, J., Verduyn Lunel, S., *Introduction to Functional Differential Equations.*

Springer-Verlag, 1993

2. Diekmann, O., van Gils, S.A., Verduyn Lunel, S. M., Walther, H.O., *Delay Equations, Functional-, Complex- and Nonlinear Analysis,* Springer-Verlag, NewYork, 1995

3. Arino, O., Hybid, M. L. and Ait Dads, E., *Delay Differential Equations and Applications,* Springer, 2006

4. Smith, H., *An Introduction to Delay Differential Equations with Applications to the Life Sciences*, Springer, 2011

عنوان درس	فارسی	نظریه انفراد ۲										
	انگلیسی	Singularity Theory2										
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه انفراد۱	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

ریزموادرس:

ساده سازی لیاپانف-اشمیت با تقارن بابعد نامتناهی، انشعاب هاپف، جواب های تناوبی وساده سازی لیاپانف - اشمیت. وجودویکتایی

تقارن بادو درجه آزادی، انشعاب با n متغیرحالت، انشعابات هیلتاپ. انشعابات ماندگاردرانشعاب هیلتاپ

دسته بندی براساس هم بعد، شکافت جهانی انشعابات مقدماتی، تقارن Z2+Z2 بادو درجه آزادی، مساله انشعاب، نتیجه نظریه انفراد، پایداری خطی شده.

فرم های نرمال متقارن، مساله تشخیص، پایداری خطی و تقارن Γ.

نظریه شکافت متقارن، انشعاب متقارن، قضیه نظریه شکافت متقارن، شکست تقارن D3 درانشعاب هاپف.

مراجع پیشنهادی:

1. M. Golubitsky, D.J. Schaefer, Singularitties and Groups in Bifurcation Theory, Volume I, Springer-Verlag, 1985.

2. M. Golubitsky, Ian Stewart, D.J. Schaefer, Singularitties and Groups in Bifurcation Theory, Volume II, Springer-Verlag, 1988.

3. V. I. Arnold, Dynamical Systems, Chatasrophe Theory, Springer-Verlag, 1993.

عنوان درس	فارسی	دینامیک های هم پایا									
	انگلیسی	Equivariant Dynamics									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل، مبانی جبر (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریزموادرس:

کاهش لیاپانف – اشمیت دربعد نامتناهی، کاهش لیاپانف – اشمیت باتقارن و بدون تقارن، عملگرهای دیفرانسیل خطی - بیضوی، معادلات با تقارن، کنش متقابل مدها، نظریه گروه ها، کاهش ناپذیری، نگاشت های خطی و غیرخطی جابجاپذیر، توابع پایا، انشعابات حالت های تعادلی شکننده تقارن، زیرگروه های ایزوتروپی، زیرفضاهای ثابت وفرمول اثر، لم شاخه شدن هم پایا، نمودارانشعاب وتقارن Dn. دستگاه بنارد درصفحه، فرم های نرمال هم پایا. مساله تشخیص وفضاهای مماسی محدود شده، ایده آل های ذاتی و مدول ها،

قضیه شکافت جهانی هم پایا، انشعاب با تقارنD3، کنش مدها، کنش هاپف/حالت تعادل باتقارنZ2، کنش مدهای هاپف/حالت تعادلی با تقارن O2، کنش مدهای هاپف/هاپف، تحلیل انشعاب دردستگاه تیلور-کوات.

مراجع پیشنهادی:

1. M. Golubitsky, Ian Stewart, D.J. Schaefer, Singularitties and Groups in Bifurcation Theory, Volume II, Springer-Verlag, 1988.

2. Reiner Lauterbach, Pascal Chossat, Methods in Equivariant Bifurcations and Dynamical Systems, World Scientific publishing 2000.

3. M.J. Field, Dynamics and Symmetry, World Scientific publishing, 2007.

عنوان درس	فارسی	نظریه کنترل										
	انگلیسی	Control Theory										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	ندارد
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد										

هدف:

ریز مواد درس:

سیستم های کنترل خطی متناهی‌البعد: تعریف کنترل پذیری، یک محک انتگرال برای کنترل پذیری، شرایط کالمن برای کنترل پذیری، روش یکتایی هیلبرت،

معادلات دیفرانسیل پاره‌ای خطی: معادله انتقال، معادله کورتوگ- دوریز

سیستمهای کنترل خطی مجرد، معادله موج، معادله حرارت، معادله شرودینگر یک بعدی،

کنترل پذیری سیستم های غیر خطی در بعد متناهی: آزمون خطی، براکت‌های لی تکرار شونده و شرط رتبه جبر لی، نتایج سرتاسری

سیستم‌های کنترل خطی شده و روشهای نقطه ثابت: آزمون خطی در موارد منظم، آزمون خطی در موارد عدم وجود مشتق، کنترل پذیری سرتاسری برای اغتشاشات سیستم های کنترل خطی، روش بازگشتی، کنترل پذیری معادلات اویلر و نویه- استوکس .

پایدار سازی سیستم های کنترل خطی متناهی البعد و کاربرد در سیستم های کنترل غیر خطی، پایدار سازی سیستم های کنترل غیر خطی متناهی‌البعد

مراجع پیشنهادی:

1. F. Colonius and W. Kliemann, *the Dynamics of Control*, Birkhauser, 2000

2. Jean-Pierre Aubin, *Viability Theory*, Birkhauser, 1991

3. Jean-Michel Coron, Control and Nonlinearity, American Mathematical Society, 2007

عنوان درس	فارسی	ریاضیات زیستی									
	انگلیسی	Mathematical Biology									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	دستگاه های دینامیکی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد					نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

ریزموادرس:

خیزدرمدل های جمعیتی تک گون های، چندگون های و برهمکنش گونه ها.

سیستم بیولوژی و ساختن مدل های ریاضی برای پدیده های زیستی: خزندگان، خدمات اجتماعی-درمانی، برهم کنش های انسانی.

نوسان های بیولوژیکی، اختلال و اختلالت کیندر دستگاه های زیستی، تقابل ضعیف و قوی نوسانگرهای زیستی. مدل های دینامیکی بیماری ها شامل دستگاه دفاعی، تهاجم انگلی، تاخیردرعملکرد دستگاه ایمنی، گسترش بیماری ومدل های واگیر. مدل های دینامیکی واکنش های شیمیایی زیستی، معادلات نفوذ، مدل های فضایی، و ظهورالگوها، مدل های ریاضی تکامل.

مراجع پیشنهادی:

1. Kuang, Y., *Delay differential equations with applications in population dynamics*, Academic Press, 1993

2. Lewis, M. A., Chaplain, M. A. J., Keener, J. P., Maini, Ph. K. (editors), *Mathematical biology*, AMS, 2009

3. Murray, J. D., *Mathematical biology, I: An Introduction*, 3rd Ed., Springer, 2007

4. Murray, J. D., *Mathematical biology, II: Spatial models and biomedical applications*, 3rd Ed., Springer, 2003

5. Rocsoreanu, C., Georgescu, A., Giurgiteanu, N., *The Fitzhugh-Nagumo model, Bifurcation and Dynamics*, Kluwer, 2000.

6. Parker, Andrew, *In the blink of an eye: half a billion years ago*, Perseus Publishing, 2003

عنوان درس	فارسی	معادلات بیضوی									
	انگلیسی	Elliptic Equations									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف: آشنایی با معادلات بیضوی خطی، شبه خطی و جوابهای لزجی معادلات غیر خطی .

ریزموادرس:

روش های اثبات وجود جواب: روش پرون، روش وردشی، روش پیوستگی، روش های فشردگی، روش های پتانسیل لایه ای، روشهای نقطه ثابت.

اصول مقایسه و ماکسیمم: نامساوی هارنک، پیوستگی هولدر جواب ها و گرادیان آن ها.

معادلات غیرخطی: جواب های لزجی، اصل ماکسیمم الکساندروف، تخمین های شادر.

مراجع پیشنهادی:

1. Gilbarg, D., Trudinger N. S., Elliptic partial differential equations of second order, Springer 2001.

2. Han, Q., Lin, F., Elliptic partial differential equations, Courant Institute of Mathematical Sciences, 2011.

3. Ambrosetti, A., Arcoya, D., An introduction to nonlinear functional analysis and elliptic problems, Springer 2011.

عنوان درس	فارسی	معادلات تحولی و نیم گروه ها									
	انگلیسی	Evolution Equations and Semigroups									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۲
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

ریزموادرس:

یادآوری تعریف و ویژگی‌های-C_0نیم گروه‌ها، قضیهٔ هیله-یوشیدا، قضیهٔ لومر- فیلیپس، مولدC_0 نیم گروه‌ها، نیم گروه‌های دوگان،

انواع عملگرهای دیفرانسیلی که مولد C_0 نیم گروه‌اند مانند: عملگر لاپلاس با شرایط مرزی دیریشله، عملگر لاپلاس با شرایط مرزی نویمان، عملگر ماکسول، عملگر شرودینگر، عملگر موج. نیم گروه‌های تحلیلی و توانهای کسری عملگرهای بسته،

معادلهٔ انتقال حرارت، معادلهٔ استوکس، مسألهٔ کشی خطی ناهمگن، وجود و یکتایی جواب برای مسائل کشی خطی، فشردگی عملگر جواب، مسألهٔ کشی غیرخطی، قضیهٔ وجود موضعی پئانو، جواب اشباع، برخی کاربردها مانند معادلهٔ کلاین-گوردن، مسألهٔ کشی نیمه‌خطی، وجود و یکتایی جواب برای مسائل کشی نیمه‌خطی، رفتار مجانبی جواب‌ها، عملگرهای یکنوا، وجود جواب برای معادلات عملگری یکنوا، خانوادهٔ تحولی وابسته به زمان
و معادلات سهموی، منظم بودن جواب‌های معادلات سهموی

مراجع پیشنهادی:

1. **Tanabe, A., *Equations of evolution*, Pitman, London, 1979.**
2. **Vrabie, I. I., *C_0-semigroups and applications*, North-Holand, Amsterdam, 2003.**
3. **Cazenave, T., Haraux, A., *An introduction to semilinear evolution equations*, Oxford University Press, 1998**
4. **Pazy, A., *Semigroups of Linear operators and applications to partial differential equations*, Springer-Verlag, New York, Berlin, 1983.**

عنوان درس	فارسی	مسائل وارون									
	انگلیسی	Inverse Problems									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	ابزارهای اساسی در معادلات دیفرانسیل
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

ریزموادرس:

مثال ها (گراوی متری، تبدیل رادن و توموگرافی) خوش تعریف نبودن(مثال هایی در معادله حرارت و مسائل طیفی معکوس) مسائل بیضوی و نگرش کل درون(تعیین پتانسیل ها و رسانایی از طریق اندازه گیری مرزی)، کاربردها در تصویرسازی پزشکی، مسائل طیفی معکوس برای عملگر اشتورم – لیوویل، تعیین ضرائب از طریق داده ای طیف مرزی. مسائل معکوس در مسائل سهموی و معادله موج. معادله هلم هولتز و پراکندگی معکوس (تعیین موانع و ناهمگنی ها)

مراجع پیشنهادی:

1. Victor Isakov: Inverse Problems for Partial Di_erential Equations, Applied Math. Sciences, vol. 127, Springer, New York, 1998
2. Otared Kavian: Four lectures on parameter identi_cation in the book Three Courses on Partial Differential Equations, pp. 125{162, IRMA Lect. Math. Theor. Phys., 4, de Gruyter, Berlin, 2003
3. Andreas Kirsch: A. Kirsch: An Introduction to the Mathematical Theory of Inverse Problems, Applied Math. Sciences, vol. 120, Springer, New York, 1996
4. Frank Natterer: The Mathematics of Computerized Tomography, John Wiley & Sons and B.G. Teubner, Stuttgart, 1989

عنوان درس	فارسی	دستگاه های دینامیکی با بعد نامتناهی									
	انگلیسی	Infinite dimensional dynamical systems									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	دستگاه های دینامیکی ۱ و ابزارهای اساسی معادلات دیفرانسیل
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

معرفی ابزارهای اساسی از نظریه دستگاه های دینامیکی با بعد نامتناهی برای بررسی انشعابا ت بوجود آمده در معادلات دیفرانسیل پاره ای و درک پدیده های غیر خطی در آن است که به طور گسترده در بررسی مسائل واقعی در فیزیک و علوم طبیعی مانند مسائل هیدرو دینامیک، مکانیک سازه، تشکیل الگو، دینامیک جمعیت ظاهر می شوند.

ریزموادرس:

عملگر های بسته روی فضا های باناخ و نظریه طیفی آن ها. صورت های مختلف قضیه منیفلد مرکزی در دستگاه های دینامیکی با بعد نامتناهی، بررسی انشعابات موضعی در پدیده های واکنش- انتشار با استفاده از کاهش به منیفلد مرکزی (مدل بروکسلی). بررسی ناپایداری در سیالات به وسیله کاهش به منیفلد مرکزی(مدل برگرز، مدل سویفت- هوهنبرگ و مدل رلی- بنارد) مطالعه موج های رونده. و جود جاذب های سراسری برای دستگاه های دینامیکی با بعد نامتناهی(به خصوص معادله ناویه- استوکس). خواص جاذب های سراسری و دینامیک تحدید شده به آن ها

مراجع پیشنهادی:

1. **Haragus, Marina and Gerarad Ioos. Local bifurcations, center manifolds and normal forms in infinite dimensional dynamical systems. Springer, 2010**
2. **Kato, Tosio. Perturbation theory for linear operators. Springer, 2012**
3. **Temam, Roger. Infinite dimensional dynamical systems in mechanics and physics. Springer- Verlag, 2012**
4. **Ma, Tian, Wang Shoushong, Bifurcation theory and applications, World Scientific,2005**

عنوان درس	فارسی	توابع خاص										
	انگلیسی	Special Functions										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	توابع مختلط، معادلات دیفرانسیل عادی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

ریز مواد درس:

توابع بتا و گاما: انتگرال اویلر برای تابع گاما، تابع بتا، تابع فاکتوریل، فرمول تکراری لژاندر، قضیه ضربی گاوس، فرمول جمعی اویلر، رفتار تابع لگاریتم گاما برای zهای بزرگ.

تابع فوق هندسی: نمایش انتگرالی، معادله دیفرانسیل فوق هندسی و حل آن، F(a,b,c,1) به عنوان تابعی از پارامترها، مقدار F(a,b,c,1)، پیوستگی توابع مرتبط، معادله دیفرانسیل فوق هندسی، جواب لگاریتمی معادله فوق هندسی، F(a,b,c,z) به عنوان تابعی از پارامترهایش، به کارگیری سریهای مقدماتی، تبدیلات مقدماتی، ارتباط بین تابع Gamma(z) و Gamma(1-z)، تبدیلات مربعی، قضیه کومر، نتایج مربوط به قضیه کومر.

سری های فوق هندسی تعمیم یافته: تابع pFq، توابع نمایی و دو جمله‌ای، پیوستگی توابع مربوطه، نمایش انتگرالی pFq، با آرگومان واحد، قضیه سال شوتز، قضیه ویپل، قضیه دیکسون، انتگرال کانتور برای نوع بارنز.

توابع بسل: تعریف، معادله دیفرانسیل، رابطه بازگشتی دیفرانسیل، روابط بازگشتی، تابع مولد، انتگرال بسل، اندیس یک دوم و صحیح فرد، تابع بسل اصلاح شده.

مقدمه‌ای بر تابع لژاندر، تابعG و برخی خواص مقدماتی آن.

مراجع پیشنهادی:

[1] Earl. D. Rainville, Special Functions, Macmillan, 1960.

[2] L.C. Andrews, Special Functions of Mathematics for Engineers, SPIE Press, 1992.

[3] Gabor Szego, Orthogonal Polynomials, American mathematical socity, 1939.

[4] L.J. Slater, Generalized Hypergeometric Functions, Cambridge University Press; Reissue edition, 2008.

عنوان درس	فارسی	حساب تغییرات									
	انگلیسی	Calculus of Variations									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل عادی۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریزموادرس:

مثال های کلاسیک با نقاط ابتدایی و انتهایی ثابت، نقاط ابتدایی و انتهایی ثابت برای توابع پیوسته یکنواخت، معادلات اویلر-لاگرانژ و معادلات بویس-ریموند، نظریه ژاکوبی- هامیلتون، مسائل تغییرات مقید، تبدیل مسائل با مقدار مرزی به مسائل تغییراتی، نگرش تغییراتی به مسئله اشتورم – لیوویل، مسائل کنارهای مرتبط با معادلات دیفرانسیل، روش ریتز، روش تفاضل های محدود، قانون ضرایب لاگرانژ، مسئله ایزومتری، مسائل تغییرات با یک معادله به عنوان شرط کناره ای، مسئله لژاندر، کاربرد حساب تغییرات در دینامیک و ارتعاشات، الاستیسیته، مکانیک سیالات، آنالیز پایداری و بهینه سازی.

مراجع پیشنهادی:

1. Leonid P. Lebedev, the Calculus of Variations and Functional Analysis, World Scientific, 2003

2. I. M. Gelfand and S. V. Fomin, Calculus of Variations, Prentice-Hall, 1963

عنوان درس	فارسی	معادلات هذلولوی									
	انگلیسی	Hyperbolic Equations									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل پاره ای۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف : آشنایی با معادلات هذلولوی، سیستم های قوانین بقا، وامواج غیرخطی.

سرفصل:

مسأله کوشی، معادلات هذلولوی نیم خطی، معادلات هذلولوی شبه خطی، قوانین بقای اسکالر، سیستم های قوانین بقا، معادلات موج غیرخطی

مراجع پیشنهادی:

1. Evans, Partial Differential Equations. AMS 2010

2. Dafermos, Hyperbolic conservation laws in continuum physics. Springer 2000

3. Lax, Hyperbolic systems of conservation laws and the mathematical theory of shock waves. SIAM 1973

4. Alinhac, Hyperbolic partial differential equations. Springer 2009

5. Sogge, Lectures on nonlinear wave equations. International Press 1995

6. Hörmander, Lectures on nonlinear hyperbolic differential equations. Springer 1997

عنوان درس	فارسی	ریاضی فیزیک ۱									
	انگلیسی	Mathematical Physics1									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	آنالیز حقیقی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف : آشنایی با فیزیک کلاسیک ومطالعه معادلات دیفرانسیلی که درآن ظاهر می شوند.

سرفصل:

فرمول بندی لاگرانژی و هامیلتونی ازمکانیک کلاسیک . معادلات هامیلتون، معادله اویلر- لاگرانژ، معادله هامیلتون-ژاکوبی، حرکت جسم صلب، الکترودینامیک کلاسیک و معادلات ماکسول، معادلات الاستیسیته خطی و غیرخطی، مکانیک شاره ها، معادله اویلر، معادله نویه – استوکس.

منابع:

1. Evans, Partial Differential Equations. AMS 2010

2. Dafermos, Hyperbolic conservation laws in continuum physics. Springer 2000

3. Temam, Navier-Stokes equations. North-Holland 1979

4. Galdi, An introduction to the mathematical theory of the Navier-Stokes equations. Springer 2011

5. Spivak, Physics for mathematicians—mechanics I. Publish or Perish 2010

6. Ciarlet, Mathematical elasticity. Vol. I. Three-dimensional elasticity. North-Holland 1988

عنوان درس	فارسی	ریاضی فیزیک ۲									
	انگلیسی	Mathematical Physics2									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	آنالیز حقیقی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف : آشنایی با فیزیک کوانتومی و مطالعه معادلات دیفرانسیلی که درآن ظاهر می شوند.

سرفصل:

اصول مکانیک کوانتومی، اصل عدم قطعیت، نوسان گرهارمونیک، معادله شرودینگر، حل معادله اتم هیدروژن، اسپین، معادله شرودینگرغیرخطی، مکانیک کوانتومی نسبیتی، معادله کلاین-گوردون، معادله دیراک، آشنایی بامیدان های کوانتومی، آشنایی با سالیتونها، معادلهKdV

منابع:

1. Cazenave, Semilinear Schrödinger equations. AMS, 2003

2. Sulem, Sulem, The nonlinear Schrödinger equation. Springer, 1999

3. Hall, Quantum theory for mathematicians. Springer, 2013

4. Teschl, Mathematical methods in quantum mechanics with applications to Schrödinger operators. AMS, 2014

5. Ablowitz, Clarkson, Solitons, nonlinear evolution equations and inverse scattering. Cambridge University Press, 1991

6. Folland, Quantum field theory. A tourist guide for mathematicians. AMS, 2008

عنوان درس	فارسی	معادلات انتگرال									
	انگلیسی	Integral Equations									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل عادی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریز مواد درس:

معادلات انتگرال با هسته های جدایی پذیر، تبدیل به دستگاه معادلات جبری، فردهلم متناوب، روش تقریبی، روش تقریب های تکراری، معادله انتگرال ولترا، هسته جدول، تئوری فردهلم و قضایای فردهلم، کاربرد معادلات انتگرال درمعادلات دیفرانسیل معمولی و معادلات دیفرانسیل با مشتقات نسبی، فرمول های نمایش انتگرالی جواب های معادلات لاپلاس و پواسون، روش تابع گرین، معادله هلم- هلتز، هسته های متقارن، خواص مقادیر ویژه و توابع ویژه هسته های متقارن، قضیه هیلبرت – اشمیت، جواب معادلات انتگرال متقارن، روش عملگر در نظریه معادلات انتگرال، روش رایلی – ریتز در تعیین مقادیر ویژه، معادلات انتگرال منفرد، معادلات انتگرال آبل، معادلات انتگرالی منفرد از نوع کوشی، هسته هیلبرت، معادلات انتگرال منفرد نوع هیلبرت

مراجع پیشنهادی:

1. Rainer Kress, Linear Integral Equations, Springer-Verlag, 2014

2. Kendall E. Atkinson, the Numerical Solution of Integral Equations of the Second Kind, Cambridge university press, 1997

عنوان درس	فارسی	آنالیز مجانبی									
	انگلیسی	Asymptotics Analysis									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	توابع مختلط - معادلات دیفرانسیل عادی ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

ریز مواد درس:

بسط‌های مجانبی: مقدمه و برخی از مفاهیم، تعریف دنباله، سری و بسط مجانبی. روش لاپلاس برای محاسبهٔ انتگرالها: انتگرالگیری جز به جز و لم واتسون، روش لاپلاس، روش سریعترین کاهش. روش فاز پایا. انتگرالهای تبدیلی و محاسبهٔ مجانبی آنها.

معادلات دیفرانسیل: تکین‌ها و محاسبهٔ مجانبی جواب، جوابهای مجانبی با پارامتر کوچک و بزرگ(روشWKB)، نقاط برگردان.

روش اختلال منفرد: مفاهیم اولیه و مقدمه‌ای بر روش جورسازی جوابها، روش ضرب مقیاس و لایه‌های مرزی.

مراجع پیشنهادی:

1. J. D. Murray, Asymptotics Analysis, Springer, 1984

2. F. W. J. Olver, Asymptotics and special functions, CRC Press, Tylor & Francis, 1997

عنوان درس	فارسی	نظریهٔ اشتورم لیوویل									
	انگلیسی	Sturm Liouville Theory									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	نظریهٔ معادلات دیفرانسیل-آنالیز تابعی کاربردی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

ریز مواد درس:

عملگر اشتورم-لیوویل بر روی بازه‌های متناهی: رفتار طیف، خواص توابع ویژه، عملگرهای تبدیلی، قضایای منحصربفردی، روش گلفاند-لویتان، روش نگاشت طیفی، روش مدل های استاندارد، حل موضعی مسالهٔ معکوس، مروری بر نظریهٔ مسالهٔ معکوس.

عملگر اشتورم-لیوویل بر روی بازه‌های نیمه نامتناهی: خواص طیف-تابع وایلی، بازیابی معادله دیفرانسیل از تابع وایلی، بازیابی معادله دیفرانسیل از داده‌های طیفی، مسالهٔ معکوس برای معادلهٔ موج، توسیع تابع وایلی، دنبالهٔ وایلی

کاربردهای نظریهٔ مسالهٔ معکوس: حل معادلهٔ کورتویج-وریس روی خط حقیقی، معادلات دیفرانسیل با نقاط برگردان.

مراجع پیشنهادی:

1. G. Freiling, V. Yurko, Inverse Sturm-Liouville Problems and their Applications, Nova Science Publishers,

2. E. Coddington & N. Levinson, *Theory of Ordinary Differential Equations,* McGraw Hill, 1959

3. A. Kirsch, *An Introduction to the Mathematical Theory of Inverse Problems,* Springer, 1996

4. G.M.L Gladwell, *Inverse problems in Vibrations,* Kluwer Academic Publications, 1986

5. P¨oschel J and Trubwitz E; Inverse Spectral Theory, Academic Press, 1987

عنوان درس	فارسی	کاربرد گروه لی در معادلات دیفرانسیل									
	انگلیسی	Application of Lie group to differential equations									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

آشنایی با گروه های لی و کاربرد آنها در حل معادلات دیفرانسیل عادی و پاره ای.

ریزموادرس:

منیفلد و معرفی نمونه هایی شناخته شده از آنها، گروه لی و نمونه های معروف از آنها، گروه لی تک پارامتری و چند پارامتری از تبدیلات روی منیفلد ها، مولد های بی نهایت کوچک، جبر لی، فضا های جت، امتدادها، آنالیز تقارن لی برای معادلات جبری، آنالیز تقارن لی برای معادلات دیفرانسیل عادی و پاره ای، روش های غیر کلاسیک در آنالیز تقارن لی برای معادلات دیفرانسیل معمولی و پاره ای، امتدادها

مراجع پیشنهادی:

1. Peter J. Olver, Applications of Lie groups to Differential Equations, Springer-Verlag, 1986.

2 .George W. Bluman, S. Kumei, Symmetries and Differential Equations, Springer-Verlag, 1989.

3- D. J. Arrigo, Symmetry Analysis of Differential Equations, John Wiley & Sons, 2015.

4- George W.Bluman andSC Anco, *Symmetry and Integration Methods for Differential Equations*, Springer-Verlag, 2002.

5-- George W.Bluman, AF Cheviakov, and SC Anco, *Applications of SymmetryMethods to Partial Differential Equations*, Springer-Verlag, 2010

عنوان درس	فارسی	معادلات دیفرانسیل کسری									
	انگلیسی	Fractional differential equations									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	توابع مختلط (کارشناسی)
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

آشنایی دانشجو با مفاهیم و تعاریف مشتقات کسری و بررسی معادلات دیفرانسیل کسری.

ریزموادرس:

مثال های از کاربردهای محاسبات کسری و ایجاد انگیزه بر این درس، توابع خاص: گاما- میتاگ لفلرو ...

معرفی انتگرال کسری، معرفی مشتقات کسری: گرانوالد، ریمان لیوبل، کاپتو و لاپلاسین کسری، مقدمه ای بر محاسبات کسری ، جابجایی مشتقات کسری و انتگرال کسری - فرمول های لایبنیتز- تبدیل لاپلاس و فوریه کسری،

معادلات دیفرانسیل کسری : وجود ، منحصربفردی، وابستگی پیوسته به شرایط اولیه، همواری جواب ها و مثال های از معادلات حل شده، مقدمه ای بر حل عددی معادلات دیفرانسل کسری، مقدمه ای بر معادلات دیفرانسیل جزئی کسری و معرفی نمونه هایی ازمدل های واقعی،

مراجع پیشنهادی:

1- A. Kilbas, H. Srivastava and J. Trujillo, Theory and applications of fractional differential equations, Elsivier, 2006

2- K. Diethelm, The analysis of Fractional differential equations, An application-oriented exposition using differentiaol operators of Caputo Type, Springer 2010

3- I. Podlubny, Fractional differential equations, Academic Press, 1999

عنوان درس	فارسی	ابزارهای اساسی در معادلات دیفرانسیل									
	انگلیسی	Basic tools in Differential Equations									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	آنالیز حقیقی۱
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

ریزموادرس:

مروری بر نظریه اندازه و انتگرال گیری، انتگرال پذیری یکنواخت و قضایای همگرایی مربوطه، فضا ی L^p برای ∞ ≥p≥۱، پیچش، چگالی توابع هموار، تقریب در فضا های L^p فضا های L^p موضعی، فضا های توزیع، همگرایی و مشتق به معنی توزیع، تبدیل فوریه در L^2 (R^N)، فضا ها ی شوراتز، وتقریب آن در فضا های L^p، ایزومتری پالانچرال، تبدیل فوریه معکوس، همگرایی ضعیف، ضعیف ستاره و دنباله ای در فضا های باناخ، آشنایی با فضا های سوبولف، قضیه لکس- میلگرم، فرمول بندی تغییراتی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای، عملگر توسیع، نامساوی‌های سوبولف، قضایای نشاندن سوبولف، نشاندن‌های فشرده و قضیهٔ رلیش ـسکوندراکف، نامساوی پوانکارهو نرم‌های هم‌ارز، فضای W^{1,p}_0 و دوگان آن، نظریهٔ اثر، جواب ضعیف و صورت بندی تغییراتی مسائل مقدار مرزی، منظم‌سازی، اصل ماکزیمم، کاربرد در مسائل تحولی مانند معادلهٔ حرارت و معادلهٔ موج، فضاهای سوبولف با توان کسری. نتایج منظم سازی(داخل و نزدیک مرز) برای جواب های معادلات دیفرانسیل جزیی خطی بیضوی

مراجع پیشنهادی:

1. Adams, R. A., and Fournier, J. F., Sobolev spaces, Second ed., Academic press, 2003

2. Brezis, H., Functional Analysis, *Sobolev spaces, and Partial Differential Equations*, Univeritext, Springer-Verlag, Berlin, 2011

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه در معادلات دیفرانسیل									
	انگلیسی	Special Topics in differential Equations									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: با نظر استاد						نیاز به اجرای پروژه عملی: با نظر استاد				

درسی است در سطح کارشناسی ارشد یا بالاتر در زمینه تخصصی معادلات دیفرانسیل که بر حسب امکانات و نیاز برای اولین بار ارائه می گردد. ریز مواد درسی مربوطه قبل از ارائه بایستی به تصویب شورای تحصیلات تکمیلی گروه و دانشکده برسد.

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه در سیستم های دینامیکی									
	انگلیسی	Special Topics in Dynamical Systems									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: با نظر استاد						نیاز به اجرای پروژه عملی: با نظر استاد				

درسی است در سطح کارشناسی ارشد یا بالاتر در زمینه تخصصی سیستم های دینامیکی که بر حسب امکانات و نیاز برای اولین بار ارائه می گردد. ریز مواد درسی مربوطه قبل از ارائه بایستی به تصویب شورای تحصیلات تکمیلی گروه و دانشکده برسد.

ریاضی کاربردی- گرایش ریاضی مالی

فصل اول

مشخصات دوره کارشناسی ارشد گرایش ریاضی مالی

مقدمه

گرایش ریاضی مالی یکی از شاخه‌های علوم ریاضی است که در دهۀ اخیر رشد بی‌سابقه‌ای یافته است. در این شاخه از علوم ریاضی، هم برای علاقه‌مندان به ریاضیات نظری و هم برای آنان که به کاربردهای ریاضی توجه دارند، دنیایی از پیچیدگی‌ها و مسائل چالش برانگیز وجود دارد. علاوه بر این، بازارهای مالی و مؤسسات مالی همه روزه از نتایج تحقیق محققان در زمینه‌های مالی بهره می‌برند و همواره خواستار نتیجه‌های بهتر، تخمین‌های بهتر و تقریب‌های واقعی‌تر برای پیش‌بینی آیندۀ بازار هستند. به همین دلیل، سرمایه‌گذاری‌های بزرگی نیز برای نتیجه گرفتن از این گونه تحقیقات، در دنیا صورت می‌گیرد که این خود باعث جذب نخبگان، علاقه‌مندان و محققان به این عرصه و پیشرفت سریعتر این شاخه از علوم ریاضی شده است. بنابراین راه‌اندازی دورۀ کارشناسی ارشد ریاضی مالی گامی رو به جلو برای فراهم کردن زمینۀ مطالعه و پژوهش دانشجویان علاقه‌مند به ادامۀ تحصیل در این زمینۀ رو به رشد از علوم ریاضی و تربیت متخصصانی است که بتوانند نیازهای علمی-پژوهشی-کاربردی را در نهادهای مالی کشور، تأمین کنند. همچنین این اقدام باعث گسترش واژگان و مفاهیم علمی و نوشتجات مربوط به این موضوع در میان جامعۀ علمی کشور و موجب همسویی بسیاری از رشته‌های علمی به منظور تحقیق در این زمینه می‌شود.

تعریف

دورۀ کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی- گرایش ریاضی مالی، یکی از دوره‌های آموزشی و پژوهشی در سطح تحصیلات تکمیلی در نظام آموزش عالی کشور است که پس از دورۀ کارشناسی آغاز و به اعطای مدرک رسمی دانشگاهی در مقطع کارشناسی ارشد در گرایش ریاضی مالی می‌انجامد و از نظر اجرایی تابع ضوابط، مقررات و آیین‌نامه‌های مصوب شورای برنامه ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است.

اهداف

هدف از ایجاد دورۀ کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی- گرایش ریاضی مالی، تربیت افرادی است که در زمینه‌های زیر تبحر داشته باشند:

- پژوهش در مبانی نظری ریاضی مالی؛
- به‌کارگیری روشهای احتمالاتی و فرآیندهای تصادفی در تحلیل مسائل مالی؛
- به‌کارگیری روشهای عددی در حل مسائل مالی؛
- به‌کارگیری روشهای آماری به ویژه تحلیل داده‌ها در حل مسائل مالی؛
- به‌کارگیری علوم رایانه و روشهای محاسباتی در حل مسائل مالی؛
- کسب توانایی درزمینه‌های مرتبط با علوم اقتصاد و مدیریت و به‌کارگیری آموخته‌ها در مشاغل مالی، کار در کارگزاری‌ها، مؤسسات سرمایه‌گذاری، بانکها، شرکت‌های بیمه‌ای، بازار سهام و بخش‌های مالی ادارات و سازمانهای دولتی و خصوصی.

ضرورت و اهمیت

با توجه به انواع مبادلات مالی و کالا در دنیای امروز مانند مبادلات نفتی، معاملات مالی از طریق قراردادهای مختلف مانند بیع متقابل، خرید مدت‌دار، خرید ریسک‌دار، سرمایه‌گذاری‌های مدتدار و ریسک‌دار؛ ضرورت آگاهی علمی و دقیق از این مدلها برای مؤسسات مالی دولتی و خصوصی بیش از پیش احساس می شود. بر این اساس، اجرای این دوره می‌تواند کمک‌های شایان توجهی به حل مسائل و مشکلات مالی کشور بکند و با تربیت پژوهشگرانی که قادر به انجام پژوهش‌های بنیادی در سطح مرزهای دانش هستند، سطح کیفی و کمی تحلیلی‌های مالی را در کشور ارتقا دهد.

نقش و توانایی

دانش‌آموختگان دورهٔ کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی- گرایش ریاضی مالی می‌توانند:

- به انجام پژوهش‌های بنیادی و کاربردی در بخش‌های گوناگون ریاضی مالی بپردازند؛
- از روشهای عددی برای حل مسائل مالی به‌ویژه تخمین، تقریب و پیش‌بینی استفاده کنند؛
- از روشهای آماری به‌ویژه تحلیل داده‌ها برای حل مسائل مالی استفاده کنند؛
- به‌عنوان تحلیلگر و پژوهشگر مالی حرفه‌ای در شرکتهای بیمه‌ای، بانک‌ها، بازار سهام، مؤسسات مالی و اعتباری، بخش‌های مالی ادارات دولتی و خصوصی و دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی به فعالیت بپردازند.

کلیات برنامه

عنوان دوره : کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی- گرایش ریاضی مالی

پیش نیاز ورود : دارا بودن مدرک کارشناسی آمار یا مدرک کارشناسی در یکی از رشته های علوم ریاضی.

فصل دوم

جدول دروس دوره کارشناسی ارشد گرایش ریاضی مالی

جدول ۱- درس های اصلی گرایش ریاضی مالی

شماره درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت			دروس پیشنیاز یا همنیاز
			جمع	نظری	عملی	
۱	ریاضی مالی ۱	۳	۴۸	۴۸		نظریه اندازه واحتمال و همنیاز با حسا بان تصادفی
۲	حسا بان تصادفی در مالی	۳	۴۸	۴۸		نظریه اندازه واحتمال

جدول۲- دروس اختیاری کارشناسی ارشد گرایش ریاضی مالی

شماره درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت			دروس پیش نیاز یا هم نیاز
			جمع	نظری	عملی	
۱	ریاضی مالی ۲	۳	۴۸	۴۸		
۲	روشهای عددی در ریاضی مالی	۳	۴۸	۴۸		
۳	معادلات دیفرانسیل تصادفی در بازار های مالی	۳	۴۸	۴۸		
۴	تیم مارتینگل ها در بازارهای مالی	۳	۴۸	۴۸		
۵	حل عددی معادلات دیفرانسیل تصادفی در بازارهای مالی	۳	۴۸	۴۸		
۶	معادلات دیفرانسیل پاره‌ای در ریاضی مالی	۳	۴۸	۴۸		نظریه اندازه و احتمال
۷	روشهای مونت کارلو برای مالی	۳	۴۸	۴۸		
۸	روشهای اماری برای مالی	۳	۴۸	۴۸		-
۹	ارزیابی و مدیریت ریسک	۳	۴۸	۴۸		-
۱۰	نظریهٔ سبدمالی تصادفی	۳	۴۸	۴۸		
۱۱	سری‌های زمانی مالی	۳	۴۸	۴۸		
۱۲	مهندسی مالی	۳	۴۸	۴۸		-
۱۳	حسابان ملیون و کاربردهای آن در مالی	۳	۴۸	۴۸		
۱۴	فرایندهای لوی در ریاضی مالی	۳	۴۸	۴۸		
۱۵	ریسک عملیاتی	۳	۴۸	۴۸		
۱۶	ریاضیات سرمایه گذاری	۳	۴۸	۴۸		-
۱۷	تحلیل داده‌های با ابعاد بالا	۳	۴۸	۴۸		
۱۸	کنترل بهینه در ریاضی مالی	۳	۴۸	۴۸		درس حسابان تصادفی در مالی
۱۹	مباحث ویژه در ریاضی مالی	۳	۴۸	۴۸		اجازه گروه

فصل سوم

سرفصل دروس دوره کارشناسی ارشد گرایش ریاضی مالی

Mathematical Finance 1			ریاضی مالی ۱
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس الزامی	پیشنیاز: نظریه اندازه و احتمال همنیاز: حسابان تصادفی در مالی	۳

هدف:

هدف این درس آشنایی دانشجو با مشتق‌های مالی، مدل‌های قیمت‌گذاری آن‌ها و ریاضیات مورد نیاز برای فهم و توسعه این موضوعات عمدتا در یک چارچوب زمان-گسسته است. در این درس دانشجویان با مدل بلک-شولز و مفاهیم پایه‌ی آن نیز آشنایی پیدا می‌کنند.

ریز مواد:

مدل های گسسته: مروری بر فضاهای احتمال متناهی: تعریف فضای احتمال، متغیر تصادفی، امید ریاضی، امید ریاضی شرطی، مارتینگل، زیر مارتینگل و زبرمارتینگل. قیمت‌گذاری ریسک-خنثی، ارزشگذاری دارایی‌ها با تنزیل جریان‌های نقدی آتی آن‌ها، تعریف فرآیند مارکف و خاصیت مارکف. تغییر اندازه روی فضاهای احتمال متناهی، فرآیند مشتق رادن-نیکودیم، قضیه قیمت‌گذاری دارایی‌های سرمایه‌ای (CAPM). مشتق‌های مالی، اختیارهای خرید و فروش اروپایی و امریکایی. مشتق‌های امریکایی مستقل از مسیر، زمان‌های توقف، مشتق‌های امریکایی وابسته به مسیر، اجرای بهینه مشتق‌های امریکایی،اختیارهای خرید امریکایی. مدل دوجمله‌ای برای قیمت‌گذاری مشتق‌های مالی، آربیتراژ.

مدل های پیوسته: مدل بلک- شولز، اندازه‌ی ریسک- خنثی، ارزشگذاری ریسک- خنثی مشتق‌های مالی، ارزشگذاری مشتق‌های مالی با استفاده از سبدهای بازساز.

تبصره: این درس بامدل های گسسته شروع می‌شود که ۷۰٪ مطالب درسی را پوشش می‌دهد. در ۳۰ ٪ باقی‌مانده درس مدل های پیوسته معرفی می‌شوند. پیشنیاز بخش دوم حسابان تصادفی درمالی است. زمانی‌که مطالب درسی به بخش دوم میرسد دانشجویان در درس حسابان تصادفی در مالی ریاضیات مربوط را خوانده‌اند و می توانند این بخش را دنبال کنند.

مراجع پیشنهادی:

1. **Shreve, Steven. *Stochastic calculus for finance I: the binomial asset pricing model.* Springer Science & Business Media, 2012.**
2. **Robert, J. Elliot, and P. Ekkehard Kopp. "Mathematics of financial markets." (2005): 217-221.**
3. **Van der Hoek, John, and Robert J. Elliott. *Binomial models in Finance*. Springer Science & Business Media, 2006.**
4. **Björk, Tomas. *Arbitrage theory in continuous time*. Oxford university press, third edition, 2009.**

حسابان تصادفی در مالی Stochastic Calculus For Finance			
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین(ساعت)
۳	نظریهٔ اندازه و احتمال	دروس الزامی	۲۴ ساعت

هدف :

هدف این درس اشنایی دانشجو با حسابان تصادفی و کاربرد در مالی، شامل حرکت براونی ، انتگرال تصادفی ایتو و معادلات دیفرانسیل تصادفی است.

ریز مواد :

حرکت براونی ، تعریف و ساختن ان، بیان پیوستگی و مشتق پذیری ان ، مسیر های حرکت براونی، ویژگی مارتینگلی، مارکفی، و مارکفی قوی ان ، تغیرات مرتبه دوم مسیرهای حرکت براونی،تبدیل ها روی حرکت براونی، تعریف انتگرال وینر و خواص ان، انتگرال ایتو (با شروع از فرایند های مقدماتی و (..... ایزومتری ایتو، ، ویژگی مارتینگلی انتگرال ایتو، بیوستگی برگردان انتگرال ایتو ، انتگرال ایتو به عنوان مارتینگل موضعی، فرمول ایتو یک بعدی، فرمول ایتو ی چند بعدی و کاربرد ان) محاسبه انتگرال تصادفی، انتگرال أسترا تو نوویچ، قضیه لوی و مشخص سازیمارتینگل ها با مسیر پیوسته ، فرایند های نمایی وتبدیل اندازه های احتمال ، قضیه گیرسانف) ، اولین زمان گذر حرکت براونی و توزیع های ان، قضیه نمایش مادر تینگلی و کاربرد آن در ریاضیات مالی، معادلات دیفرانسیل تصادفی ، حل برخی از نمونه ساده، قضیه وجود ویگانگی قوی و ضعیف با شرایط لیپشیتز، کاربرد های مالی ان از جمله فرمول بلک شولتز ، مرتون

مراجع پیشنهادی:

1. **Kuo, Hui-Hsiung, *Introduction to Stochastic Integration*, Universitext Series, Springer-Verlag, Berlin, 2006.**
2. **Jeanblanc, M., Yor, M. and Chesney, M., *Mathematical Methods for Financial Markets*, Springer, 2002.**
3. **Oksendal, B., Stochastic *Differential Equations, An Introduction with Applications*, 6th ed., Universitext Series, Springer-Verlag, Berlin, 2003.**
4. **Shreve, Steven. *Stochastic calculus for finance II: the binomial asset pricing model*. Springer Science & Business Media, 2012.**
5. **Schilling, Rene, L., and Partzsch, L., *Brownian Motion, An Introduction to Stochastic Processes*, Walter de Gruyter, 2nd ed., Berlin/Boston, 2014.**

Mathematical Finance 2			ریاضی مالی ۲
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس انتخابی	ریاضی مالی۱ حسابان تصادفی در مالی	۳

هدف:

هدف این درس آشنایی دانشجویان با موضوعات پیشرفته مالی مانند اندازهٔ ریسک- خنثی، قضایای اساسی قیمت‌گذاری دارایی‌ها، مدل‌های ساختار زمانی نرخ‌های بهره، قیمت‌گذاری مشتق‌های مالی امریکایی و ریاضیات مربوط به آن‌هاست

ریز مواد:

نگاهی دیگر به معادله بلک- شولز- مرتون، حل معادله بلک- شولز- مرتون، حروف یونانی، اندازه ریسک- خنثی: دینامیک قیمت سهم، قیمت‌گذاری مشتق‌های مالی. قضایای اساسی قیمت‌گذاری دارایی‌ها، مدل بازار چندبعدی، سهام با سود پرداختنی: پرداخت پیوسته، پرداخت یک‌جا. معادلات دیفرانسیل تصادفی و معادلات دیفرانسیل پاره‌ای: قضیه فینمن- کتس، مشتق‌های مالی امریکایی، زمان‌های توقف، تغییر واحد پول، مدل‌های ساختار زمانی نرخ‌های بهره، مدل‌های ساختار زمانی قیمت آتی نفت، قیمت اوراق قرضه، مدل CIR، مدل HJM.

مراجع پیشنهادی:

1. **Shreve, Steven. *Stochastic calculus for finance II: continuous-time models.* Springer Science & Business Media, 2012.**
2. **Björk, Tomas. *Arbitrage theory in continuous time.* Oxford university press, 3rd edition, 2009.**
3. **Robert, J. Elliot, and P. Ekkehard Kopp. "Mathematics of financial markets." (2005): 217-221.**
4. **Jeanblance Monique. Yor, Mark, Chesney, Mark. Mathematical Methods for Financial Markets, Springer Finance, 2009.**
5. **Cairns, Andrew. "Kwok YK: Mathematical Models of Financial Derivatives. Springer Finance, Singapore, 1998." *ASTIN Bulletin* 30, no. 01 (2000): 251-252.**

روش‌های عددی در ریاضی مالی Numerical Methods in Financial Mathematics			
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین(ساعت)
۳	نظریهٔ اندازه و احتمال	دروس الزامی	۲۴ ساعت

هدف: هدف این درس آشنایی دانشجو با اصول کلی روش‌های عددی مورد نیاز جهت حل مسائل مالی بخصوص در قیمت‌گذاری ابزارهای مشتقه مالی است.

ریز مواد:

- مروری بر مفاهیم پایه‌ای آنالیز عددی شامل بررسی انواع خطاها، پخش خطا، عدد حالت مساله، پایداری، مرتبه همگرایی و پیچیدگی محاسباتی الگوریتم‌ها
- مروری بر روش‌های حل دستگاه‌های خطی، روش‌های درونیابی و تقریب، حل دستگاه‌های غیر خطی، انتگرال‌گیری عددی و معادلات دیفرانسیل معمولی
- معرفی و دسته‌بندی انواع معادلات دیفرانسیل پاره‌ای (بیضوی، سهموی و هذلولوی)
- مقدمه‌ای بر حسابان تصادفی و معرفی کلیات روش بلک-شولز-مرتون برای قیمت‌گذاری اختیار معامله
- تبدیل معادله بلک-شولز به معادله گرما و معرفی خصوصیات تحلیلی معادله گرما
- معرفی روش تفاضلات متناهی برای معادلات دیفرانسیل پاره‌ای (روش صریح- روش کاملا ضمنی- روش کرانک-نیکلسون)
- معرفی روش‌های قیمت‌گذاری اختیار معامله آمریکایی (فرموله‌بندی تغییراتی و مرز آزاد مساله)
- معرفی سایر روش‌های عددی برای حل معادلات دیفرانسیل پاره‌ای (روش اجزا محدود، روش‌های طیفی، روش‌های بدون شبکه)
- معرفی روش درخت دوجمله‌ای و سه‌جمله‌ای برای قیمت‌گذاری مشتقات مالی
- معرفی روش مونت-کارلو برای قیمت‌گذاری مشتقات مالی

مراجع پیشنهادی:

1. P. Brandimarte, Numerical Methods in Finance and Economics, A MATLAB-Based Introduction, John Wiley & Sons, 2nd edition, 2006.
2. J. Stoer, R. Bulirsch, Introduction to Numerical Analysis, Springer, 2nd edition, 1993.
3. P. Wilmott, S. Howison and J. Dewynne, The Mathematics of Financial Derivates, Cambridge University Press, 1998.
4. Y. K. Kwok, Mathematical Models of Financial Derivates, Springer Finance, 1998.

معادلات دیفرانسیل تصادفی در با زار های مالی Stochastic Differential Equation for Financial Market			
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین(ساعت)
۳	حسابان تصادفی	دروس اختیاری	۲۴ ساعت

هدف: هدف این درس تدریس معادلات دیفرانسیل تصادفی و کاربرد ان در بازارهای مالی است.

ریز مواد:

دوره ای از حرکت براونی، انتگرال ایتو و فرمول ایتو . قضیه نمایش مارتینگل ها وکاربرد ان در بازارهای مالی، معادلات دیفرانسیل، وجود ویگانگی قوی وضیف معادلات با شرایط لیپشیتز، خاصیت قوی وضعیف مارکف، مولد پخش ایتو، فرمول دینکین، معادلات پسرو و پیشرو کلموگراف، فرمول فیمن کتز چند بعدی، کاربرد های ان در بازارهای مالی، تغییر اندازه قضیه گیرسانف وکاربرد های ان در بازارهای مالی، مسائل شرایط مرزی، مسائل دریکله و پواسن و کاربرد های ان در بازار های مالی

مراجع پیشنهادی:

1. Chung, K. L. and J. Williams, *Introduction to Stochastic Integration*, 2nd edition, Birkhauser, 2014.
2. Cohen, S. N. and Elliott, R. J., *Stochastic Calculus and Applications*, Springer, 2015.
3. Jeanblanc, M., Yor, M. and Chesney, M., *Mathematical Methods for Financial Markets*, Springer, 2002.
4. Oksendal, B., *Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications*, 6th edition, Springer, 2003.
5. Shreve, Steven. *Stochastic calculus for finance II: the binomial asset pricing model*. Springer Science & Business Media, 2012.

نیم مارتینگل ها در بازارهای مالی Semi Martingale for Financial Markets			
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین(ساعت)
۳	حسابان تصادفی	دروس اختیاری	۳۴ ساعت

هدف:

هدف این درس معرفی نظریه عمومی فرایند های تصادفی وکاربرد ان در بازارهای مالی است.

ریز مواد:

معرفی نیم مارتینگل ، فرایند های صعودی ، مارتینگل با پارامتر پیوسته، تجزیه دوب میر،فرایند تغیرات مجذوری ، فرایند جبران کننده، فرایند جهش های خالص ، زمان های توقف ، اختیاری ، پیشبینی پذیر، انتگرال دولن، انتگرال تصادفی ایتو نسبت به نیم مارتینگل ها، فرمول ایتو ، تعریف انتگرال تصادفی ، فرمول ایتو ، معرفی فرایند لوی ، حرکت براونی ، قضیه وجود ویگانگی معادلات دیفرانسیل تصادفی نسبت به زیر مارتینگل ، قضیه دادلی ،خاصیت نمایش پیشبینی پذیر، معادلات دیفرانسیل تصادفی پسرو ، کاربرد در ریاضیات مالی، توسیع پالایش در ریاضیات مالی و بازارهای مالی

مراجع پیشنهادی:

1. Chung, K. L. and J. Williams, *Introduction to Stochastic Integration*, 2th ed. Birkhauser, 2014.
2. Cohen, S. N. and Elliott, R. J., *Stochastic Calculus and Applications*, Springer, 2015.
3. Jeanblanc, M., Yor, M. and Chesney, M., *Mathematical Methods for Financial Markets*, Springer, 2002.
4. Métivier, M., *Semimartingales, A Course on Stochastic Processes*, Walter de Gruyter, 1982.
5. Protter, P., *Stochastic Integration and Differential Equations* ,3rd ed. Springer, 2004.

حل عددی معادلات دیفرانسیل تصادفی در بازارهای مالی Numerical Solutions of Stochastic DE for Financial Markets			
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین(ساعت)
۳	حسابان تصادفی در مالی	دروس اختیاری	۲۴ ساعت

هدف: هدف از این درس، آشنایی دانشجویان با مهمترین معادلات دیفرانسیل تصادفی مطرح در ریاضیات مالی و همچنین روش‌های گسسته‌سازی عددی این معادلات است.

سرفصل:

۱) نقش معادلات دیفرانسیل تصادفی در قیمت‌گذاری و پوشش ریسک ابزارهای مالی
۲) مروری بر خواص حرکت براونی، فرایند پواسون و فرایند پواسون مرکب و روش‌های شبیه‌سازی آنها
۳) مروری بر حسابان تصادفی ایتو (انتگرال تصادفی، فرمول ایتو، انتگرال استراتونوویچ)
۴) بررسی خواص جواب یک معادلات دیفرانسیل تصادفی با نویز گاوسی و نویز پواسونی
۵) معرفی بسط تیلور- ایتو تصادفی و بدست آوردن روش اویلر-مارویاما و روش میلشتاین
۶) بررسی مفهوم مرتبه همگرایی قوی و ضعیف
۷) معرفی خانواده روش‌های رونگه-کوتای تصادفی
۸) معرفی خانواده روش‌های چند-گامی تصادفی
۹) معرفی مفهوم پایداری تصادفی و انواع آن (پایداری میانگین مربعات، پایداری مجانبی، پایداری نمایی)
۱۰) گسسته‌سازی معادله اورنشتین-اولنبک و کاربرد آن در مدل‌سازی نرخ بهره تصادفی
۱۱) گسسته‌سازی دستگاه معادلات تصادفی مدل هستون و کاربرد آن در قیمت‌گذاری اختیار معامله

منابع

1. Kloeden, P. E. & Platen, E. (1999). *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*, Vol. 23 of *Appl. Math.*, Springer. Third printing.
2. Kloeden, P. E., Platen, E. & Schurz, H. (2003). *Numerical Solution of SDEs Through Computer Experiments*, Springer. Third corrected printing.
3. Platen, E. & Bruti-Liberati, N. (2010). *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations with Jumps in Finance*, Springer.

معادلات دیفرانسیل پاره ای در ریاضی مالی PDEs in Mathematical Finance			
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین(ساعت)
۳	نظریه اندازه واحتمال	دروس اختیاری	۲۴ ساعت

هدف: هدف این درس تدریس معادلات دیفرانسیل پاره ای و کاربرد ان در بازارهای مالی است.

ریز مواد:

مقدمه ای بر معادلات دیفرانسیل پاره‌ای که درریاضیات مالی ظاهر می‌شوند، معادلات سهموی خطی و رابطه آن با معادلات دیفرانسیل تصادفی، معادلات دیفرانسیل پاره‌ای مرتبه یک، معادله دیفرانسیل تصادفی به عنوان حد زنجیره‌های مارکف، رابطه بین معادلات دیفرانسیل پاره ای و فرایند تشخیص شرایط مرزی، مقدمه‌ای بر کنترل بهینه تصادفی، معادله میلتون-ژاکوبی، حل مسئله مرز آزاد (چسبندگی)

مرجع پیشنهادی:

1. **Basov, S., Partial Differential Equation in Economics and Finance, Nora Science, 2007.**

Monte Carlo Methods for Finance			روش‌های مونت کارلو برای مالی
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس انتخابی	حسابان تصادفی (همنیاز)	۳

هدف: دراین درس دانشجویان با اصول اولیهٔ مونت کارلو و تکنیک‌های مورد استفاده در آن، شبه مونت کارلو و کاربردهای این روش‌ها در قیمت‌گذاری اختیارهای معامله و مدیریت ریسک آشنا می‌شوند.

ریز مواد

اصول اولیه مونت کارلو و قیمت‌گذاری مشتق‌های مالی، تولید اعداد و متغیرهای تصادفی، تولید مسیرهای نمونه، تکنیک‌های کاهش واریانس، شبه مونت کارلو، روش‌های گسسته‌سازی، برآورد حساسیت، کاربردهای مونت کارلو در مدیریت ریسک

مرجع پیشنهادی:

1- **Glasserman, Paul. *Monte Carlo methods in financial engineering*. Vol. 53. Springer Science & Business Media, 2003.**

Statistical Methods for Finance			روشهای آماری برای مالی
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	-	۳

هدف: در این دانشجویان با برخی مدلها و روشهای آماری مهم و چگونگی کاربرد آنهادر ریاضی مالی آشنا می‌شوند.

ریز مواد:

مروری بر بردارهای تصادفی، توزیع های توام، ماتریس واریانس کواریانس و خواص آن، توزیع نرمال چند متغیره و خواص آن، مدلهای آماری و استنباط آماری، براورد درستنمایی ماکزیممم و خواص آن، محاسبات بیزی، مقدمه‌ای بر مدل‌های خطی

مراجع پیشنهادی:

1- **Abramovich F. and Y. Ritov, Statistical Theory: A Concise Introduction, CRC Press, 2013.**
2- **Casella G. and R. Berger., Statistical Inference, 2nd Edition, Brooks Cole, 2001.**
3- **Westfall P. and Kevin S. S. Henning, Understanding Advanced Statistical Methods, CRC Press, 2013.**
4- **Wood S., Core Statistics, Cambridge University Press, 2014.**

Risk Valuation and Management			ارزیابی و مدیریت ریسک
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	-	۳

هدف: در این درس دانشجویان با انواع ریسک و سنجه های آن آشنا می شوند و تفاوت انواع مختلف ریسک را از نظر داده های موجود برای اندازه گیری و توزیع ضرر ناشی از آن ها می بینند.

ریز مواد:

ریسک نرخ بهره، ارزش در معرض ریسک (VaR)، تلاطم، همبستگی و کاپولا، پیمان های بازل، VaR بازار: رویکرد شبیه سازی تاریخی و رویکرد مدل سازی، ریسک اعتباری: برآورد احتمال نکول و VaR اعتباری، تحلیل سناریو و آزمون استرس، ریسک عملیاتی، ریسک نقدشوندگی، ریسک مدل، سرمایه اقتصادی و RAROC، اشتباهاتی که در مدیریت ریسک باید از آن ها اجتناب کرد.

مرجع پیشنهادی:

1- **Hull, John. *Risk Management and Financial Institution*. Prentice Hall, 3rd edition, 2012.**

Stochastic Portfolio Theory			نظریه سبدمالی تصادفی
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	حسابان تصادفی و ریاضیات مالی	۳

هدف: این درس ارتقا یافتهٔ درس نظریه سبدمالی کلاسیک مارکوویتز است. زیربنای این درس نظریه آربیتراژ است و دانشجویان علاوه بر این‌که سبدمالی را با این دید می‌بینند با جنبه‌های عملی تشکیل سبد، از جمله رتبه بندی و خوشه‌بندی دارایی‌ها برمبنای سهم بازار آن‌ها نیز آشنا می‌شوند.

ریز مواد

نظریهٔ سبدمالی تصادفی، تنوع بازار سهام، توابع مولد سبدمالی، توابع وزن‌های بازار رتبه‌بندی‌شده، مدل‌های مانا برای توزیع سرمایه، رفتار سبدهای مالی تولیدشده با توابع، کاربردهای نظریهٔ سبدمالی تصادفی

مرجع پیشنهادی

1- **Fernholz, E. R. "Stochastic Portfolio Theory: Stochastic Modeling and Applied Probability."** ***Applications of Mathematics (New York)*** **48 (2002).**

Financial Time Series			سریهای زمانی مالی
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	-	۳

هدف: در این دانشجویان با سری‌های زمانی مالی و چگونگی تحلیل و استنباط آماری آن‌ها آشنا می‌شوند.

ریز مواد

اهداف تحلیل سری‌های زمانی، مثال‌هایی از داده‌های سری‌زمانی مالی، مشخصه های سری‌های زمانی مالی، مروری بر تعریف روند و مولفه فصلی و روش‌های براورد و حذف آن‌ها، مروری بر مدل‌های ایستا (تعریف فرایند ایستا، تابع میانگین، تابع خودکواریانس و تابع خودهمبستگی)، مروری بر سری‌های زمانی خطی و کاربردهای آن (مروری بر ساختار احتمالاتی، استنباط آماری و پیش‌بینی مدلهای ARMA)، مدل‌های ناهمسانی واریانس شرطی (معرفی و بررسی کامل ساختار احتمالاتی مدل‌های ARCH و GARCH ، استنباط آماری و پیش‌بینی آن‌ها)، مروری کوتاه بر تحلیل داده‌های با فراوانی بالا.

مراجع پیشنهادی:

1- **Francq, C. and Zakoian, J., *GARCH Models*, , Wiley, 2010.**
2- **Gourieroux, C., ARCH Models and Financial Applications, Springer, 1997**
3- **Tsay, R., S., *Analysis of Financial Time Series*, 3rd, Wiley, 2010.**
4- **Xekalaki, E. and Degiannakis, S., *ARCH Models for Financial Applications*, Wiley, 2010.**
5- **Zivot, E. and J. Wang, Modeling Financial Time Series with S-PLUS. Springer, 2006**

Financial Engineering			مهندسی مالی
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس انتخابی	-	۳

هدف: در این دانشجویان با قراردادهای آتی، آتی ویژه و اختیارهای معامله، ساز و کار بازارهای این مشتق‌های مالی، قیمت‌گذاری این اوراق، استراتژی‌های معاملاتی که شامل این قراردادها هستند، و بالاخره استراتژی‌های پوشش ریسک آن‌ها آشنا می شوند.

ریز مواد

ساز و کار بازارهای آتی، استراتژی‌های پوشش ریسک با استفاده ار قراردادهای آتی، ساز و کار بازارهای اختیارهای معامله، استراتژی‌های شامل اختیارهای معامله، خواص اختیارهای معاملهٔ سهام، درخت دو جمله‌ای ومدل بلک-شولز-مرتون برای قیمت‌گذاری اختیارها، اختیارهای معامله روی شاخص‌های سهام و ارزها، اختیارهای معامله روی قراردادهای آتی، حروف یونانی، اختیارهای نا متعارف.

مرجع پیشنهادی

1- **Hull, John. *Options, futures and other derivatives.* Pearson Education Limited, eighth edition, 2012.**

Malliavin Calculus and its Applications in Finance			حسابان ملیون و کاربردهای آن در مالی
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	حسابان تصادفی	۳

هدف: در این درس دانشجویان با حسابان ملیون و کاربردهای آن در حل عددی ضعیف معادلات دیفرانسیل تصادفی و مالی آشنا می‌شوند.

ریز مواد:

فضای احتمال گاوسی، چندجمله‌ای هرمیت، نیم گروه اورنشتاین-اولنبک، حرکت براونی، بسط آشوب وینر، عملگرمشتق، انتگرال جزء به جزء، عملگردیورژانس و انتگرال تصادفی، فضای سوبولوف گاوسی، نظم و تقریب چگالی متغیرهای تصادفی، فرمول صریح برای چگالی، وجود و همواری چگالی، کاربرد حسابان ملیون در حل عددی ضعیف معادلات دیفرانسیل تصادفی، کاربرد در مالی.

مرجع پیشنهادی:

1- **Kohatsu-Higa, Arturo, and Miquel Montero. *Malliavin Calculus in Finance.* Birkhäuser Boston, 2004.**

Mathematical Finance in Levy Processes			فرایندهای لوی در ریاضی مالی
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	حسابان تصادفی	۳

هدف: در این دانشجویان با فرایندهای لوی و خواص و ساختار آن‌ها آشنا می‌شوند و کاربردهای آن‌ها را در ریاضی مالی می‌بینند.

ریز مواد:

توزیع‌های بی‌نهایت تقسیم‌پذیر و خواص آن، نمایش لوی-خینچین توزیع‌های بی‌نهایت تقسیم‌پذیر، فرایندهای با نموهای مستقل و مانا، تعریف فرایندهای لوی، حرکت بروانی، فرایند پواسون ترکیبی، فرایندهای گاما، اندازه تصادفی پواسون و خواص آن، نمایش لوی- خینچین فرایندهای لوی، فرایندهای تبعی و خواص آنها، اولین زمان گذر در فرایندهای لوی، کاربرد فرایندهای لوی در ریاضی مالی.

مراجع پیشنهادی:

1- **Applebaum D., Levy Processes and Stochastic Calculus, Cambridge University Press, 2009**
2- **Bertoin, J., *Levy Processes*. Cambridge University Press, 1996.**
3- **Cont R. and P. Tankov, *Financial Modeling with Jump Processes*. Chapman & Hall/CRC, 2004.**
4- **Kyprianou, A. *Fluctuations of Levy Processes*. 2nd edition, Springer, 2014.**
5- **Protter, P., Stochastic Integration and Differential Equations, 2nd ed. Springer, 2004.**
6- **Sato, K., Levy Processes and Infinitely Divisible Distributions, 2nd edition, Cambridge University Press, 2014.**

Operational Risk			ریسک عملیاتی
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	ارزیابی و مدیریت ریسک	۳

هدف: در این درس دانشجویان با ریسک عملیاتی، مدل‌سازی‌های مرتبط، مدیریت و روش محاسبهٔ سرمایهٔ لازم برای پوشش این ریسک آشنا می‌شوند .

ریز مواد:

مدل‌سازی پایگاه داده‌ها، مدل‌سازی تصادفی، مدل‌های علت و معلولی (اقتصادسنجی)، مدیریت ریسک عملیاتی، پوشش ریسک عملیاتی، سرمایهٔ قانونی ریسک عملیاتی

مراجع پیشنهادی:

1- **Cruz, Marcelo G. Modeling, measuring and hedging operational risk. Chichester: Wiley, 2002.**

2- **Gregoriou, Greg N. Operational Risk toward Basel III: Best Practices and Issues in Modeling, Management, and Regulation. Vol. 481. John Wiley & Sons, 2009.**

Mathematics of Investments			ریاضیات سرمایه گذاری
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	-	۳

هدف:

ریز مواد:

تابع تجمعی، بهره ساده، بهره مرکب، ارزش فعلی و تنزیل، نرخ بهره اسمی، شدت بهره، معادله ارزش، نرخ بازدهی با وزن زمانی، انواع مستمری ها، زمان نامعلوم نرخ بهره نامعلوم، مستمری های پیوسته، مستمری های متغیر، استهلاک وام، جدول استهلاک وام، وجوه استهلاکی، نرخ بازدهی سرمایه، قیمت گذاری سهام، ارزش دفتری، جدول استهلاک سهام، و ...

مراجع پیشنهادی:

1. **Broverman, S. A. (2010), Mathematics of Investment and Credit, 5th Edition, ACTEX Academic Series.**
2. **Kellison, S.G., 2009, "the theory of interest", Third Edition, Irwin/McGraw-Hill.**

High-dimensional Data Analysis			تحلیل داده‌های با ابعاد بالا
حل تمرین(ساعت)	از جدول	پیشنیاز (همنیاز)	تعداد واحد
۲۴ ساعت	دروس اختیاری	روشهای آماری برای مالی	۳

هدف: در این دانشجویان با تکنیک‌های مدل‌سازی و تحلیل داده‌های با ابعاد بالا و کاربرد آن برای داده‌های مالی آشنا میشوند.

ریز مواد

مروری بر رگرسیون و مدلهای خطی، مدلهای خطی تعمیم یافته، تحلیل مولفه‌های اصلی، لاسو و مدلهای خطی، لاسو و مدلهای خطی تعمیم یافته، مروری بر مدلهای گرافیکی.

مراجع پیشنهادی:

1- **Buhlmann P. and S. van de Geer, Statistics for High-Dimensional Data. Methods, Theory and Applications, Springer 2011.**
2- **Giraud C., Introduction to High-Dimensional Statistics, CRC Press, 2014.**
3- **James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R., *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in* R, Springer, 2013.**
4- **Koch I., Analysis of Multivariate and High-Dimensional Data, Cambridge University Press, 2014.**

کنترل بهینه در ریاضی مالی Stochastic optimal control			
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین(ساعت)
۳	حسابان تصادفی در مالی	دروس اختیاری	۲۴ ساعت

هدف: در این درس دانشجویان با مفهوم بهینه سازی تصادفی زمان پیوسته، روشهای حل ان، فروش بهینه یک دارایی و انتخاب بهینه یک سبد سرمایه‌گذاری آشنا می‌شوند.

ریز مواد: مروری بر کنترل بهینه قطعی شامل اصل ماکسیمم پانتریاگین وروش برنامه ریزی پویا ، کنترل بهینه برای فرایند های پخش، معادله برنامه ریزی پویا برای فرایندهای پخش کنترلی، قضیه بررسی، جواب های ویسکاسیتی برای معادلات HJB،انتخاب بهینه سبد سرمایه در بازار مالی، توقف بهینه، کاربرد زمان توقف بهینه در اختیار فروش امریکایی، سوییچ بهینه و کاربرد ان در مسایلی با شرایط اقتصادی متفاوت.

مراجع پیشنهادی:

1. **Pham, H., Continuous time stochastic control and optimization with financial applications. Springer, 2009.**
2. **Dana, R.A., Jeanblance, M. Financial markets in continuous time. Springer, 2007.**
3. **Fleming, W., Rishel, R. Deterministic and stochastic optimal control. Springer, 1975.**

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه در ریاضی مالی									
	انگلیسی	Special topics in Financial Math									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: با نظر استاد						نیاز به اجرای پروژه عملی: با نظر استاد				

درسی است در سطح کارشناسی ارشد یا بالاتر در زمینه تخصصی ریاضی مالی که بر حسب امکانات و نیاز برای اولین بار ارائه می گردد. ریز مواد درسی مربوطه قبل از ارائه بایستی به تصویب شورای تحصیلات تکمیلی گروه و دانشکده برسد.