



جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

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



گروه: علوم پایه

مصوبه جلسه شماره ۷۰ مورخ ۱۳۹۵/۰۳/۲۳

کمیسیون برنامه ریزی آموزشی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عنوان برنامه: 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

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 ۱۲۶ مورخ 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 و مؤسسه 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 نوده ابراهیم

دبیر شورای عالی برنامه ریزی آموزشی

رئیس



فصل اول

مشخصات کلی



مقررات عمومی برنامه کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی

با پنج گرایش: آنالیز عددی - 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 گرایش‌های 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 آنالیز عددی - بهینه سازی - رمز و کد - ریاضی مالی - معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی مطابق با آیین‌نامه جاری دوره 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 گرایش‌ها 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 پایان نامه گذراندن دست کم ۱۲ واحد (که شامل درس های الزامی می باشد) و اجازه گروه ضروری است.

دانشجویان دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضی کاربردی (با پنج گرایش: آنالیز عددی - 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 پایه ای بودن دروس الزامی گرایش ها و تنوع ورودی های 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 حداکثر ۳۲ افزایش خواهد یافت.

گروه های مجری می توانند درس های جدیدی را به عنوان درس اختیاری مطابق با روال جاری دانشگاه مصوب و آرایه 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

- ریاضی کاربردی - گرایش آنالیز عددی
- ریاضی کاربردی - گرایش بهینه سازی
- ریاضی کاربردی - گرایش رمز و کد
- ریاضی کاربردی - گرایش معادلات دیفرانسیل و سیستم های دینامیکی
- ریاضی کاربردی - گرایش ریاضی مالی



ریاضی کاربردی - گرایش آنالیز عددی



فصل اول
مشخصات دوره کارشناسی ارشد گرایش آنالیز عددی



مقدمه

آنالیز عددی علم توسعه، طراحی، تجزیه و تحلیل الگوریتم‌های کارآمد برای حل مسائل پیوسته‌ی ریاضی است. مسائل پیوسته، همان مدل‌های ریاضی 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 ریاضی 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 ایجاد 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 عددی 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 ارشد ریاضی 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 آرایه دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش آنالیز عددی، اهداف زیر دنبال می‌شود:

تربیت نیروی کارآمد 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 توانایی

دانش‌آموختگان دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش آنالیز عددی به طور معمول قادرند: (اگرچه ممکن است هر دانش‌آموخته 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 آن‌ها 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 آنالیز عددی



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	روش‌های 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 منتهای	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 آنالیز عددی



عنوان		فارسی		آنالیز عددی پیشرفته	
درس		انگلیسی		Advanced Numerical Analysis	
درس	تعداد واحد	تعداد ساعت	نوع واحد		
			پیش نیاز	تعداد واحد	تعداد ساعت
مبانی آنالیز عددی (کارشناسی)	۴۸	۳	جبرانی		الزامی
			عملی	نظری	
			اختیاری		حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت
			عملی	نظری	
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 (بیشین، بسین، یسرو، پیشرو). آشنایی با تقریب: مسئله بهترین تقریب؛ قضیه و ابراشتراس؛ تقریب یکنواخت؛ صورت قضیه هم‌نوسانی؛ چندجمله‌ای‌های چبیشف و ویژگی‌های آن‌ها؛ تقریب در نرم دو؛ معادلات نرمال؛ دستگاه یکامتعامد؛ چندجمله‌ای‌های متعامد و خواص آن‌ها؛ تقریب فوری؛ تقریب کمترین مربعات گسسته.

درونیابی: مسئله وجود و یکتایی؛ فرمول‌های درونیابی لاگرانژ، نیوتن، گرانجیگی و مقایسه آن‌ها از دید پایداری و هزینه محاسباتی؛ برآورد خطای درونیابی به کمک فرمول هسته پتانو؛ بحث در همگرایی، مثال رونگه، همگرایی در نرم بینهایت و نرم دو؛ پایداری مسئله درونیابی و ثابت لبگ؛ درونیابی ارمیت؛ درونیابی مثلثاتی و تبدیل فوری سریع؛ درونیابی گویا و تقریب یاده؛ مسئله درونیابی تعمیم یافته؛ درونیابی چند متغیره؛ معرفی فضاهاى 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.

انتگرال گیری و مشتق گیری عددی: فرمول‌های نیوتن-کوته؛ برآورد خطا به کمک فرمول هسته پتانو؛ فرمول‌های گاوسی (گاوس-لژاندر، گاوس-چبیشف، گاوس-ژاکوبی، گاوس-لوباتو، گاوس-رادو)؛ برآورد خطا؛ بسط اویلر-مک لوران، برونیابی ریچاردسون، انتگرال گیری راسبرگ؛ فرمول‌های انتگرال گیری خاص (انتگرال گیری تکین و انتگرال روی دامنه‌های نامتناهی)؛ مشتق گیری 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.



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

هدف درس: در این درس دانشجویان با روش های عددی کلاسیک حل دستگاه های معادلات خطی، مسئله کمترین مربعات، مسائل مقدار ویژه، روش های تکراری در حل دستگاه های مقیاس-بزرگ و آنالیز پایداری و همگرایی آن ها آشنا می شوند. در هر بحث تا حد امکان مثال هایی از صنعت و خواستگاه های این نوع مسائل ارائه می گردد.

ریز مطالب:

مفاهیم اولیه: نرم های برداری و ماتریسی، ضرب های ماتریس- برداری، بردارها و ماتریس های متعامد، قضای بوجی و فضا های ستونی و سطری ماتریس ها.

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

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

روش های تجزیه مستقیم: نسخه های مختلف روش حذفی گاوس، آنالیز پایداری و بررسی عامل رشد خطاها، روش های تجزیه LU و چولسکی، حل دستگاه های سه قطری و هستبرگی، تحلیل پایداری، کاربردهایی از دستگاه های معادلات خطی.

مسئله کمترین مربعات: تجزیه QR به کمک ماتریس های هاسپولدر، ماتریس های گیبوز و الگوریتم گرم-اشمیت، یکنایی تجزیه QR، پایداری تجزیه QR، تصویر به کمک تجزیه QR، حل کمترین مربعات به کمک تجزیه QR، مقادیر تکین، SVD، قضیه وجود و یکنایی، روش گالوب-کاهان-رایش برای SVD، ویژگی های و کاربردهای SVD، تصویر به کمک تجزیه SVD، حل کمترین مربعات به کمک تجزیه SVD.

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

روش های عددی در مسائل مقدار ویژه: خواستگاه های فیزیکی مقادیر و بردارهای ویژه؛ مکان مقادیر ویژه در صفحه مختلط و فضایای گرشگورین؛ مفاهیم مقادیر ویژه و ماتریس های ساده، شبه ساده و ناقص، چندگانگی جبری و چندگانگی هندسی برای مقادیر ویژه ماتریس ها، شکل کانونی ژوردن ماتریس ها، روش توانی، روش تکرار خارج قسمت ریلی، حساسیت مقادیر و بردارهای ویژه، تبدیل به ماتریس های مشابه از راه قطری سازی و تبدیل به فرم هسنبرگ، روش تکرار QR، روش هسنبرگ-QR، روش تکرار QR ضمنی، فرم حقیقی شور، محاسبه بردارهای ویژه، الگوریتم های عددی برای ماتریس های 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		فارسی		حل عددی معادلات دیفرانسیل معمولی				
درس		انگلیسی		Numerical Solution of Ordinary Differential Equations				
درس هم نیاز	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد					
			الزامی		اختیاری		جبرانی	
آنالیز عددی پیشرفته	۴۸	۳	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
			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 (برونیاپی 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 یوچر، همگرایی، پایداری و خطای مجانبی روش‌های رونگه-کوتای صریح، روش‌های پیشگو و اصلاح خطا در این روش‌ها؛ روش‌های رونگه-کوتا-خلنبرگ، روش‌های رونگه-کوتای ضمنی و جدول ضرایب یوچر، 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، نحوه 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		فارسی		حل عددی معادلات انتگرال				
درس		انگلیسی		Numerical Solution of Integral Equations				
درس هم نیاز	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد					
			الزامی		اختیاری		جبرانی	
آنالیز عددی پیشرفته	۴۸	۳	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
			نیاز به اجرای پروژه عملی: دارد				حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت	

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 مسائل ریاضی در ریاضیات محاسباتی، دسته‌بندی معادلات انتگرال (نوع اول، نوع دوم، نوع سوم، نوع چهارم، فردهلم و ولترا؛ خطی و غیرخطی؛ تکین و نانتکین)، خوش‌وضع و بدوضع 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				فارسی		انگلیسی	
The Theory of Integral Equations				نظریه معادلات انتگرال			
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	درس پیش نیاز			
الانلیز حقیقی	۳	جبرانی		ندارد	الزامی		حل تمرین: ندارد
		عملی	نظری		عملی	نظری	
نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف درس: نظریه معادلات انتگرال یکی از جنبه‌های عینی و مهم نظریه معادلات عملگری است. بررسی ویژگی‌های کراننداری 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: فضاهاى خطى نرم‌دار، عملگرهای خطی، دستگاه یکا متعامد، مسأله بهترین تقریب، خواص عملگرهای انتگرال خطی کراندار و فشرده، اصل کراننداری یکنواخت، قضیه آرزلا-اسکولی، ویژه مقدار و ویژه تابع. قضیه تناوبی فردهلم، عملگرهای خودالحاقی، 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 سایل 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 همگرایی آنها- (خواص هسته حلال- نظریه تناوبی فردهلم و قضایای مربوط).

نظریه هیلبرت - اشمیت برای هسته‌های متقارن: بررسی ویژگی‌های ویژه مقدارها و ویژه تابع‌های هسته‌های متقارن، قضیه هیلبرت- اشمیت، قضیه مرکز، مفاهیم تباهدگی، 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- هوب 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 فضاهاى 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		فارسی		حل عددی معادلات دیفرانسیل جزئی	
درس		انگلیسی		Numerical Solution of Partial Differential Equations	
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعت	درس هم نیاز		
	۳	۴۸	آنالیز عددی پیشرفته		
الزامی	نظری	عملی			حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت
	نظری	عملی			
اختیاری		جبرانی		نیاز به اجرای پروژه عملی: دارد	
عملی		نظری			

هدف درس: عمده این درس حل عددی معادلات دیفرانسیل جزئی یا 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، طرح‌ها 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 روش‌های مختلف (روش فوری، 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 یا روش‌های 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 (مرتب اول) و دو طرفه (مرتب دوم)، تعریف دامنه تأثیر، طرح‌های 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 طرح‌های 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. Matheij, 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		فارسی		روش عناصر متناهی	
درس		انگلیسی		Finite Elements Method	
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش نیاز		
	۳	۶۴	آنالیز عددی پیشرفته و آنالیز حقیقی		
الزامی	جبرانی		اختیاری		حل تمرین: حداکثر ۲۴ ساعت
	عملی	نظری	عملی	نظری	
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 دانشجوی برای اولین بار با مفهوم جواب فرم ضعیف (جواب توزیعی) آشنا می‌شود و از سوی دیگر نحوه 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: فضاها هیلبرت، قضیه نمایش ریس، معرفی مشتق ضعیف، فضاها و نرم‌های سوبولوف، ناساوی سوبولوف و پوانکاره (بدون اثبات).

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

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

درونیایی چندجمله‌ای و تقریب‌های عناصر متناهی: مروری بر درونیایی به وسیله چندجمله‌ای‌ها در فضاها یک و دوبعدی و کران خطای درونیایی 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.



پیااده‌سازی: 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		انگلیسی		
Approximation Theory						
نظریه تقریب						
نوع واحد	تعداد	تعداد	دروس			
	واحد	ساعت	پیش نیاز			
الزامی	۳	جبرانی	اختیاری		نظری	
			عملی	نظری	عملی	نظری
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 لیگ، مروری بر نظریه درونیایی.

تقریب یکنواخت: قضیه وایرشتراس، عملگرهای یکنوا، چندجمله‌ای‌های برنتساین و مشتقات آنها، مدول پیوستگی، مرتبه همگرایی تقریب با چندجمله‌ای‌ها، قضایای جکسون، اصل کرانداری یکنواخت، بهترین تقریب چندجمله‌ای یکنواخت (چندجمله‌ای مینیماکس)، اثبات قضیه هم نوسانی و ساختار بهترین تقریب یکنواخت، قضیه یکتایی، تعمیم به زیرفضاهای هار، چندجمله‌ای‌های چبیشف، تقریب روی مجموعه متناهی از نقاط، روش‌های محاسباتی شامل الگوریتم رمز و همگرایی آن، روش‌های برنامه ریزی خطی، نزدیک بهترین تقریب (near-best)، تقریب کارائنودوری-خیر.

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

تقریب توابع متناوب: چندجمله‌ای‌های مثلثاتی، قضیه وایرشتراس برای چندجمله‌ای‌های مثلثاتی، سری فوری و عملگر فوری، قضیه دینی-لیبشیتس، بدیده گیس، هسته‌های دیریکله و غیر، بررسی همگرایی سری فوری در نرم یکنواخت و نرم دو، کاربرد اصل کرانداری یکنواخت در تقریب فوری، تقریب فوری گسسته و تبدیل سریع فوری، بررسی همگرایی طیفی و پایداری تقریب فوری و ارتباط با تقریب‌های چندجمله‌ای.

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

تقریب گویا: بهترین تقریب کسری در نرم بیتهایت، قضیه وجود و ساختار بهترین تقریب، الگوریتم رمز، کسرهای تسلسلی، درونیایی 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	
Wavelets and Their Application		انگلیسی		
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	درس پیش نیاز	
الزامی	اختیاری	جبرانی		
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: فضاهاى خطی و برداری، فضاهاى 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، فضاهاى 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 موجک‌ها: شرایط ساخت موجک، روابط بین دنباله های دومقیاسی و تجزیه و بازسازی، ساخت موجک های شبه متعامد اسپلاین، ساخت موجک های متعامد، توابع مقیاس متعامد شاتن 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 حالتی، تبدیل موجک گسسته.

تبدیل سریع انتگرال و کاربردهای آن: نظریه 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.



حل عددی معادلات دیفرانسیل و انتگرال کسری				فارسی	عنوان	
Numerical Solution of Fractional Differential and Integral Equations				انگلیسی	درس	
درس هم نیاز	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد			
آنالیز عددی پیشرفته	۳	۳	جبرانی		الزامی	
			عملی	نظری	عملی	نظری
			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 بیتا-گاما-لفتر 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 لابلاس از مشتق‌های کسری، تبدیل فوریه از مشتق‌های کسری، تبدیل میلن از مشتق‌های کسری، مشتق کسری گرونوالد-لنتیکوف، 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 لابلاس، 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-لنتیکوف، 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. Spanier (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		فارسی		حل عددی معادلات دیفرانسیل تصادفی				
درس		انگلیسی		Numerical Solution of Stochastic Differential Equations				
درس پیش نیاز	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد					
			الزامی		اختیاری		جبرانی	
آنالیز عددی بیشرفته	۴۸	۳	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
			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 یا 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-ساریاما، روش مایلستین، روش های رونگه-کوتا و نظریه درختان ریشه دار دو رنگی، شرایط مرتبه برای روش های رونگه-کوتا تصادفی، روش های چندگامی تصادفی، روش های تیلور ضعیف.

معادله دیفرانسیل جزئی تصادفی: روش تفاضل متناهی، روش اویلر-ساریاما، روش مایلستین، روش خطوط برای مسائل 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. Röbler (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		فارسی		انگلیسی		
Interval Analysis		آنالیز بازه‌ای		Interval Analysis		
درس	تعداد واحد	تعداد ساعت	نوع واحد			
هم‌نیاز	درس	تعداد	جبرانی		اختیاری	
زمامت	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی
حل تمرین: ندارد	۳	۳	عملی	نظری	عملی	نظری
روش‌های عددی در جبر خطی			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، سیک های گرد کردن، خطاهای گرد کردن 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 اینتل (INTLAB) و شروع عملی برنامه نویسی با آنها.

آنالیز بازه ای: توسعه 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 جبر خطی: روش حذف گاوس بازه ای و مشکل آن، روش کراوچیک-رومب برای در حصار کشیدن جواب دقیق دستگاه‌های معادلات خطی، اثر پوششی (wrapping effect) در محاسبات ماتریسی تأیید شده، ماتریس های بازه ای، دستگاه‌های معادلات خطی بازه ای: انواع مجموعه جواب ها با تأکید بر مجموعه جواب متحد شده، توصیف تحلیلی مجموعه جواب ها شامل قضیه اتلی-پراگر (Oettli-Prager)، روش هسن-بلیک-روهن، معادله قدرمطلق و حل آن برای محاسبه حصار بر پوسته مجموعه جواب متحد شده.

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-رومب 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, Dordrecht, 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). **Verification 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		فارسی		انگلیسی	
Mathematical Modelling		مدلسازی ریاضی			
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	درس	پیش نیاز
				الزامی	اختیاری
				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 پدیده‌های 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 پدیده‌ها 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 فضایای حسابان برداری، جبرخطی، معادلات معادلات دیفرانسیل معمولی و جزئی آشنا باشد.

ریز مطالب

مدلسازی با معادلات دیفرانسیل معمولی: مکانیک نیوتنی (حرکت پرتابه، معادله جرم-قشر، حرکت آونگ و غیره)، دینامیک جمعیت (مدل‌های یکنواخت، مالتوس، لجستیک، واکنش‌های شیمیایی)، مدل‌های خودگردان، نقاط تعادلی، دیاگرام فاز، سیستم‌های غیرخطی: مدل‌های شکار-شکارچی، ولنتا-ولترا و اپیدمی (SIR)، نوسانگر وندربیل، خطی سازی، پایداری، سیستم‌های همبستگی، مدلسازی با روش‌های حساب تغییرات: مسئله کوتاهترین زمان، مسئله صابون، مسئله 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: پی بعد سازی و مقیاس سازی، آنالیز بعدی، انواع مدل‌های کانونی و سیستماتیک؛ معادلات مکانیک محیط‌های پیوسته: مختصات لاگرانژی و اویلری، معادلات فانون بقا (بقای جرم، بقای حرکت و بقای انرژی)، روابط ساختاری (Constitutive relations) شامل هدایت گرما و پخش جرم، رابطه گاز ایدال، مدل شارش گرمایی فوری، مدل‌های الاستیسته 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		فارسی		روش‌های بدون شبکه	
درس		انگلیسی		Meshless Methods	
درس پیش‌تیاژ	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد		
			الزامی		اختیاری
آنالیز عددی بیشرفته	۴۸	۳	عملی	نظری	عملی
			نیاز به اجرای پروژه عملی: دارد		
					حل تمرین: ندارد

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: فضاها، تقریب چندمتغیره و مسئله یکتایی، چندجمله‌ای‌های چندمتغیره، درونیایی 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 رویه‌ها، حل معادلات دیفرانسیل، نظریه یادگیری.

توابع پایه شعاعی: توابع پایه شعاعی معین مثبت و معین مثبت مشروط، ارتباط اسپلاین‌ها با این توابع، درونیایی یا توابع شعاعی، یکتایی درونیایی، 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 (روش‌های مستقیم-جریمه - مضارب لاگرانژ و...)، مروری بر برخی دیگر روش‌های بدون شبکه مانند PUM و RKPM.

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.



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

درسی است در سطح کارشناسی ارشد یا بالاتر در زمینه آنالیز عددی 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 دانشکده 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 در زمینه‌های 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 ارشد ریاضی کاربردی - گرایش بهینه‌سازی یکی از دوره‌های آموزشی و پژوهشی در سطح تحصیلات تکمیلی از نظام آموزش عالی است که پس از دوره کارشناسی آغاز و به اعطای مدرک رسمی دانشگاهی در دوره کارشناسی ارشد با عنوان "ریاضی کاربردی - بهینه‌سازی" می‌انجامد و از نظر اجرایی، تابع ضوابط، مقررات و آیین نامه‌های مصوب شورای برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است.

اهداف

تربیت پژوهش‌گرم تخصص در بهینه‌سازی (نظری، محاسباتی و کاربردی)
تامین نیازهای تخصصی شرکت‌های اقتصادی، صنعتی، بیمه‌ای و مالی (نظیر بانک‌ها و بورس)
توسعه بهینه‌سازی به عنوان یکی از گسترده‌ترین و به‌روزترین شاخه‌های ریاضیات
توسعه علوم بین رشته‌ای مرتبط مانند تحقیق در عملیات، کنترل و غیره.

نقش و توانایی

فارغ‌التحصیلان دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی بهینه‌سازی می‌توانند:
به عنوان متخصص حرفه‌ای در موسسات علمی و شرکت‌های مالی، صنعتی و اقتصادی فعالیت کنند.
به عنوان پژوهش‌گر در شرکت‌های اقتصادی، بانک‌ها و بورس فعالیت داشته باشند و
در مقطع دکتری این رشته و زمینه‌های مرتبط ادامه تحصیل دهند.

ضرورت و اهمیت

با توجه به نیاز جامعه در حال توسعه ایران به استفاده از دانش و فناوری‌های نوین در پاسخ‌گویی به نیازهای بخش‌های علمی و صنعتی، تاسیس دوره کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی - گرایش بهینه‌سازی 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 ارشد ریاضی 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 پیش‌نیاز 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 پیشرفته ۱	۳
۲	بهینه‌سازی غیرخطی پیشرفته ۱	۳

جدول شماره ۲: درس‌های تخصصی - اختیاری

شماره درس	نام درس	تعداد واحد	پیش‌نیاز یا هم‌نیاز (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



		فارسی		بهینه‌سازی خطی پیشرفته ۱	
		انگلیسی		عنوان درس	
Advanced Linear Optimization I					
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز		
پایه	اصولی	تخصصی	اختیاری	۳	۲۸
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی
نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					حل تمرین: ندارد

هدف:

سرفصل درس:

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

مراجع پیشنهادی:

۱- برنامه ریزی خطی و غیرخطی، لوتنبرگر، ترجمه نظام الدین مهدوی امیری و محمد حسین پورکاظمی، انتشارات علمی، دانشگاه صنعتی شریف، 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 ۱				
		انگلیسی	Advanced Nonlinear Optimization I				
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز			
پایه	اصلی	۳	۲۸	اختیاری		تخصصی	
	عملی			نظری	عملی	نظری	
نظری	عملی	حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد	
جبرخطی عددی یا مبانی آنالیز عددی یا محاسبات ماتریسی							

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-تاگر، KKT)، انواع توصیف‌های قیدی (Constraint qualifications) و ارتباط‌های میان آنها، دوگانی مسایل غیر خطی، روش‌های بهینه‌سازی نامقید شامل مسیرهای 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 الگوریتم مجموع موثر.

مراجع پیشنهادی:

۱- برنامه ریزی خطی و غیرخطی، لوتنبرگر، ترجمه نظام الدین مهدوی امیری و محمد حسین پورکاظمی، انتشارات علمی، دانشگاه صنعتی شریف، 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		برنامه ریزی پویا		انگلیسی	
Dynamic Programming							
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش نیاز				
پایه اصلی	۳	۴۸	بهینه سازی خطی (کارشناسی)	اختیاری		تخصصی	
				عملی	نظری	عملی	نظری
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 حالتی 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 ساعات	دروس پیش‌نیاز
پایه		اختیاری		بهبود سازی خطی (کارشناسی)
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، نامعادلات معتبر و تعیین کننده‌های فست، نامعادلات حذف زیر دور برای TSP، قضیه کاراتنودری، قضیه دویگنان، کاربردهایی از عملگر تصویر و ارتقا (BCC) Balas-Ceria-Cornuéjols، سایر عملگرهای تصویر و ارتقا، روش‌های شاخه و کران استراتژی‌های انتخاب شاخه، و صفحات برش، شاخه و برش، روش آزادسازی، تجزیه بندرز، مسائل بهبودسازی 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.



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

هدف:

سرفصل درس :

مفاهیم مساله، الگوریتم و پیچیدگی محاسباتی: تعریف رده های P ، NP ، $NP-C$ و $NP-Hard$. معرفی مدل سازی 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 افراز بندی گراف و ...)، الگوریتم‌های E - تقریب: معرفی، الگوریتم‌های E -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 بویا

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. Korte 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.



		بهینه‌سازی تصادفی		فارسی	عنوان درس		
Stochastic Optimization				انگلیسی			
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز				
پایه	اصولی	تخصصی	اختیاری	بهبود بهینه‌سازی خطی (کارشناسی)			
							عملی
حل تمرین: ندارد	نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		۴۸	۳			

هدف:

سرفصل درس:

معرفی مدل‌هایی از برنامه‌ریزی تصادفی، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای (مسائل پایه‌ای و شرایط بهینگی)، روش تجزیه برای مسائل دومرحله‌ای، مسائل 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 مسائل محدودشده احتمالی.

الگوریتم‌های تصادفی، کاربردهای بهینه‌سازی تصادفی در ریاضیات مالی، بهینه‌سازی 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.



		بهینه‌سازی خطی پیشرفته ۲		فارسی		نوع درس	
Advanced Linear Optimization 2				انگلیسی			
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز			
پایه		۳		اختیاری		اصلی	
				عملی	نظری	عملی	نظری
نظری		۴۸		بهینه‌سازی خطی (کارشناسی)		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 شامل الگوریتم خاجیان، الگوریتم کارمارکار و روش‌های نقطه درونی،

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

مراجع پیشنهادی:

۱- برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی، لونیبرگر، ترجمه نظام الدین مهدوی امیری و محمد حسین پورکاظمی، انتشارات علمی، دانشگاه صنعتی شریف، 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.



		فارسی		بهینه‌سازی غیرخطی پیشرفته ۲		عنوان درس	
		انگلیسی		Advanced Nonlinear Optimization 2			
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز			
پایه		۳	۴۸	اختیاری		اصلی	
نظری				عملی	نظری	عملی	نظری
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 ریزی خطی و غیرخطی، لونیبرگر، ترجمه نظام الدین مهدوی امیری و محمد حسین پورکاظمی، انتشارات علمی، دانشگاه صنعتی شریف، 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.



		بهینه‌سازی خطی نیمه نامتناهی		فارسی	عنوان درس					
		Semi Infinite Linear optimization		انگلیسی						
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز							
			پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری	
-	۳	۴۸	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
			حل تصریح: 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. López, Semi-infinite programming. Recent advances, Springer, 2001.
- R. Hettich, K.O. Kortanek, Semi-infinite programming, SIAM Review, 1993.



		بهینه‌سازی چندهدفه		فارسی	عنوان درس		
Multiple – Objective Optimization				انگلیسی			
دروس پیش‌نیاز	تعداد ساعات	تعداد واحد	نوع واحد				
بهینه‌سازی خطی (کارشناسی)	۲۸	۳	اختیاری		اصلی		پایه
			عملی	نظری	عملی	نظری	عملی
			حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد

هدف:

سرفصل درس:

- اهمیت و کاربردهای بهینه‌سازی 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
- بهینه‌سازی چندهدفه خطی و الگوریتم سیمپلکس برای حل آن.
- مقدمه ای بر بهینه‌سازی 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).



		فارسی		بهینه‌سازی شبکه‌ای		عنوان درس	
Network Optimization		انگلیسی					
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز				
پایه	اصلی	تخصصی	اختیاری	۲۸		۳	
				عملی	نظری	عملی	نظری
نظری	عملی	نظری	عملی	نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		حل تمرین: ندارد	

هدف:

سرفصل درس:

- 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 تعمیر یافته، شبکه های تباهیده و روشهای ضد دوری
- مساله حمل و نقل، تخصیص و تناظر شامل: تعاریف، مقدمات و کاربردها در گرافهای دوبخشی، جدول سیمپلکس برای حل مساله حملو نقل، مساله تخصیص و الگوریتم مجارستانی، ارتباط مساله تخصیص و کوتاهترین مسیرها، مساله تناظر و مسیرهای افزایشده
- 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
- جریان بیشینه و مساله کوتاهترین مسیر شامل: مقدمات و تعریف مساله جریان بیشینه، روشهای برچسب گذاری و مسیرهای افزایشده، 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
- مساله جریان چندکالایی شامل: مقدمات، تعریف مساله و کاربردها، شرایط بهینگی و رهاسازی، استفاده از الگوریتمهای تجزیه اولیه و دوگان برای حل مساله
- 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.



		بهینه‌سازی ناهموار		فارسی		عنوان درس	
Nonsmooth optimization				انگلیسی			
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز				
پایه	۳	۴۸	اختیاری		اصلی		عملی
			عملی	نظری	عملی	نظری	نظری
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، زاكوبی 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 ساعات	دروس پیش‌نیاز	
پایه	اصولی	۳	۲۸	اختیاری	
	نظری			عملی	نظری
نظری		حل تمرین: ندارد			
عملی		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 چانو، شبکه عصبی زیبا و وانگ و شبکه عصبی بازگشتی دیگر.

۲- پایداری: بررسی پایداری سیستم‌های دینامیکی، پایداری مجانبی سراسری، پایداری نمایی سراسری، پایداری به مفهوم لیاپانوف، 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 لاسال، 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.



		بهینه‌سازی محدب		فارسی	عنوان درس
Convex Optimization				انگلیسی	
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز		
پایه	اختیاری	۳	بهینه‌سازی خطی (کارشناسی)	اصلی	
				عملی	نظری
نظری	عملی	نظری	عملی	تخصصی	
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)
- دوگانگی (تابع دوگان‌گراژ، مساله دوگان‌گراژ، تعبیر هندسی، تعبیر نقطه زینی، شرایط بهینگی، اختلال و تحلیل حساسیت، قضایای چارهای)
- تقریب و برازش (تقریب نرم، مسائل کمترین نرم، 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، مرکزبایی، دسته‌بندی، جایابی)
- بهینه‌سازی نامقید محدب و روشهای حل
- بهینه‌سازی مقید 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.



		فارسی		عنوان درس	
حساب تغییرات و کنترل بهینه		انگلیسی		Varitional Calculus and Optimal Control	
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز		
پایه	اصلي	تخصصی	اختیاری		
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- اکسترمهای تابعی و قضیه اساسی حساب تغییرات
- ۳- تغییر دوم و شرایط لازم لزاندر 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 پونترباگین
- ۸- مسایل کنترل بهینه پنگ-پنگ

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		انگلیسی		
		روش های نقطه درونی				
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش نیاز			
			پایه	اصولی	تخصصی	اختیاری
	۳	۴۸	عملی	نظری	عملی	نظری
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 روش های نقطه درونی، تابع مانع لگاریتمی، مسیر مرکز و روش نیوتن
- روش های نقطه درونی برای مسائل بهینه سازی خطی به شکل کانونی و استاندارد
- روش های نقطه درونی برای مسائل بهینه سازی خطی به کمک تابع مانع لگاریتمی و اثبات پیچیدگی چندجمله ای این دسته از روش ها
- روش های نقطه درونی اولیه-دوگان برای مسائل بهینه سازی خطی که شامل روش های نقطه درونی با گام های کامل نیوتن، گام های کوتاه نیوتن، گام های ناقص نیوتن و روش های نقطه درونی تطبیقی و پیشگو-اصلاح گر و اثبات پیچیدگی چند جمله ای برای تمامی این روش ها.
- معرفی کوتاهی از مسائل بهینه سازی خطی درجه دو، مسائل مکمل خطی و بهینه سازی نیمه معین مثبت و توسعه روش های نقطه درونی برای این دسته از مسائل بهینه سازی

مرجع پیشنهادی:

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



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

هدف:

سرفصل درس :

مروری بر ادبیات شبیه‌سازی و مفاهیم پیش‌نیاز، مدل‌سازی عملیات پایه‌ای (توسعه مدل یک رویکرد، ساخت مدل، اجرای مدل، مشاهده و بررسی نتایج)، شبیه‌سازی و انیمیشن (صف، تصویر و طرح)، آنالیز داده‌ها (تعیین پارامترهای مدل، داده‌های تصادفی، جمع‌آوری داده‌ها، کاربرد داده‌ها، فرایندهای ورود غیر ثابت، داده‌های ورودی وابسته و چندمتغیره)، مدل‌سازی دقیق و تجزیه و تحلیل اماراتی ورودی و خروجی (ساخت زبر مدل، افزایش زمان دوره مدل، خطایابی مدل، اجرای شرایط، پایین و بالا بردن سرعت اجرا، بررسی کارایی اندازه‌ها و مترها، آنالیز تصادفی خروجی‌ها، بررسی قالب زمانی شبیه‌سازی، تعیین استراتژی برای جمع‌آوری و آنالیز داده‌ها، مقایسه و ارزیابی دو و یا چند جایگزین، جستجو برای جایگزین بهینه)، مدل‌سازی و آنالیز تصادفی حالت پایدار، مدل‌های پیوسته، گسسته و ترکیبی (پیوسته/گسسته)، شبیه‌سازی انتقال جریان (فرمول بندی مساله، متدولوژی جواب، سیستم و مشخصات شبیه‌سازی، ساختمان و فرمول بندی مدل، تایید و اعتبار، اجرا و آنالیز، ارایه و نتایج، انتشار مدل)، پیاده‌سازی (زبانهای برنامه‌نویسی ویژه شبیه‌سازی، استفاده از نرم‌افزارهای 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. Wilmonk 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.



		فارسی		کنترل بهینه تصادفی		عنوان درس	
		انگلیسی					
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش نیاز				
پایه	اصولی	تخصصی	اختیاری				
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

سرفصل درس :

مراجع پیشنهادی:



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

هدف:

سرفصل درس :

مراجع پیشنهادی:



		مدل‌سازی ریاضی		فارسی	عنوان درس	
				انگلیسی		
دروس پیش‌نیاز	تعداد ساعات	تعداد واحد	نوع واحد			
	۲۸	۳	اختیاری	تخصصی	اصلی	پایه
			عملی	نظری	عملی	نظری
			نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		حل تمرین: ندارد	

هدف:

سرفصل درس :

- تعریف مدل ریاضی، فرایند مدل‌سازی، دسته بندی مدل‌های ریاضی
- مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، شامل تولید ترکیبی، موازنه موتاز، 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 و یک، 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 ساعات	دروس پیش‌نیاز					
پایه		۳	۴۸	اختیاری		تخصصی		اصلی	
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)، ناتپی 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 شیبلی.

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 هانی 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).



		فارسی		نظریه مکان‌یابی		عنوان درس	
		انگلیسی		Location Theory			
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز			
پایه		۳	۲۸	اختیاری		اصلی	
نظری				عملی	نظری	عملی	نظری
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

سرفصل درس:

معرفی مساله فرما ویر

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.



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

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



ریاضی کاربردی - گرایش رمز و کد



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 تأکید 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 فارغ‌التحصیلان 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 و پژوهشی 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 آیین‌نامه‌های مصوب شورای برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است.

اهداف

تربیت پژوهشگر متخصص در حوزه 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 تأکید بر مبانی بنیادی و ریاضی آنها

نقش و توانایی

فارغ‌التحصیلان 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، مراکز آموزشی و ... فعالیت کنند؛ به عنوان پژوهشگر در 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 و اهمیت

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 خیره و مسلط بر دانش رمز و کد را طلب می‌کند. 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 ۱۰۱ و 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 پایان نامه با نظر استاد راهنما و تایید نهایی گروه مجری تعیین می شود.
- 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 می تواند 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 می تواند 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

پیشنیاز ورود: دارا بودن 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		
			جمع	نظری	عملی
۲۰۱*	رمزنگاری (۱)	۳	۴۸	۴۸	
۲۰۲	رمزنگاری (۲)	۳	۴۸	۴۸	
۲۰۳	امنیت شبکه	۳	۴۸	۴۸	
۲۰۴	روش‌های آماری در رمزنگاری	۳	۴۸	۴۸	
۲۰۵	پنهان‌سازی اطلاعات	۳	۴۸	۴۸	
۲۰۶	امنیت پایگاه داده	۳	۴۸	۴۸	
۲۰۷	نظریه اعداد محاسباتی	۳	۴۸	۴۸	
۲۰۸	پروتکل‌های رمزنگاری	۳	۴۸	۴۸	
۲۰۹	روش‌های صوری در رمزنگاری	۳	۴۸	۴۸	
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		
			جمع	نظری	عملی
۳۰۱*	کدگذاری (۱)	۳	۴۸	۴۸	
۳۰۲	کدگذاری (۲)	۳	۴۸	۴۸	
۳۰۳	کدگذاری شبکه	۳	۴۸	۴۸	
۳۰۴	الگوریتم‌های کدگشایی تکراری	۳	۴۸	۴۸	
۳۰۵	کدگذاری فضا-زمان	۳	۴۸	۴۸	
۳۰۶	کدگذاری منبع	۳	۴۸	۴۸	
۳۰۷	نظریه اطلاع و کدگذاری کوانتومی	۳	۴۸	۴۸	
۳۰۸	کدهای حلقه مینا	۳	۴۸	۴۸	
۳۰۹	کد شبکه خطی تصحیح کننده خطا	۳	۴۸	۴۸	
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 ارشد گرایش رمز و کد



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

هدف: ارائه مفاهیم آنتروپی به صورت 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 یسن (Jensen)، فانو ...
- خاصیت افزای 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. Shamaï, Information Theoretic Security, Now publishers Inc. 2009.



عنوان درس		فارسی	انگلیسی	الگوریتم و محاسبه			
Algorithm and Computation							
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	پایه	اصلي	تخصصي	اختياري	دروس پيش‌نياز
	۳	۲۸	پایه	اصلي	تخصصي	اختياري	ندارد
			نظري	نظري	نظري	نظري	
			عملي	عملي	عملي	عملي	
			حل تمرین: ندارد				نیاز به اجرای پروژه عملي: ندارد

هدف: هدف این درس آشنایی دانشجویان با مفاهیم اصلی نظریه محاسبه مرتبط با زمینه‌های رمز و کد در ایجاد سختی الگوریتم یا سهولت محاسبات الگوریتم‌ها و 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، بالادکلاس BPP. بحث در مورد مسأله $BPP = P$ 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، بالادکلاس بحث در مورد طرح اثبات $IP = PSpace = AM$ ، 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.



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

هدف: بیان اهمیت رمزنگاری در ارتباطات و نقش ریاضیات پیشرفته در توسعه 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 در صورت 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 اندازه‌گیری 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; 3rd edition, 2006.
- [2] W. Mao, *Modern Cryptography: Theory and Practice*, Prentice Hall, 2003.
- [3] J. Hoffstein, J. Pipher and J.H. Silverman, *An Introduction 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	رمزنگاری ۲
		انگلیسی	Cryptography II
پایه	نوع واحد		تعداد واحد
	اختیاری	تخصصی	تعداد ساعت
نظری	عملی	نظری	عملی
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد	
رمزنگاری ۱		۲۸	۳
دروس پیش‌نیاز			

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 دانستی، رمزنگاری کوانتومی (معرفی محاسبات کوانتومی، محدودیت‌های کامپیوترهای کوانتومی و سایر مفاهیم مرتبط)، رمزنگاری شبکه مینا، رمزنگاری کد مینا، رمزنگاری مبتنی بر خم بیضوی، رمزنگاری چکیده مینا، 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; 3rd 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	انگلیسی	امنیت شبکه	
Network Security					
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	درس پیش نیاز	
پایه		۳	۲۸	شبکه‌های کامپیوتری، رمزنگاری ۱	
اصلی				اختیاری	
عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
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 و HIDS و ترکیب آنها، موتورهای همبستگی سنج.
- امنیت لایه حمل، Socks V5، SASL، ISAKMP.
- امنیت لایه کاربرد، فیلترهای محتوی، مجوز دادن و کنترل دسترسی، امنیت پست الکترونیکی، امنیت وب، SSL، SET، امنیت جاوا، امنیت مدیریت شبکه و SNMP.
- مونیترینگ، مراکز مدیریت امنیت (SOC)،
- گمنامی در شبکه،
- پروتکل‌های امن در شبکه‌های کامپیوتری (رای‌گیری الکترونیکی، پرداخت الکترونیکی و ...).
- مفاهیم کلیدی forensics، مؤلفه‌ها 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 در رمزنگاری	
Statistical Methods in Cryptography		انگلیسی			
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	درس پیش‌نیاز	
پایه	اصولی	۳	۴۸	رمزنگاری ۱	
	نظری			اختیاری	
نظری	عملی	۳	۴۸	عملی	نظری
	نظری			عملی	نظری
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

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

سرفصل‌های درس:

- یادآوری اصول اولیه آمار و احتمال بالاحص احتمال شرطی و قانون بیز.
- مولدهای شبه تصادفی و پیاده‌سازی آن‌ها. تحلیل آماری این مولدها. اصول طراحی آزمون‌های آماری و مسائل مرتبط. جهت‌ی 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، بالاحص 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. Neuenchwander, 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 پیش نیاز
پایه	اصولی	۳	۴۸	نظریه اطلاع و کاربرد، الگوریتم و محاسبه
	نظری			اختیاری
عملی	عملی			
نظری	نظری			
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		

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

سرفصل‌های درس:

- مبانی پنهان‌سازی اطلاعات (information hiding) و کاربردهای اصلی آن: پنهان‌نگاری (steganography) و نشان‌گذاری (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 پنهان‌نگاری و نشان‌گذاری (مقاوم، شکننده و نیمه شکننده)
- شناسایی و تحلیل حملات عمدی و غیرعمدی در نشان‌گذاری
- پنهان‌کاوی (Steganalysis) و معرفی بعضی از روش‌های پنهان‌کاوی مشهور نظیر ماشین‌های فراگیری و تحلیل‌های آماری
- آشکارسازی و استخراج پیام در نشان‌گذاری و پنهان‌نگاری
- مطالعه اثر ویژگی‌های ادراکی انسان در پنهان‌سازی اطلاعات
- آخرین فنون پنهان‌نگاری

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	نظریه اعداد محاسباتی				
		انگلیسی	Computational Number Theory				
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	درس پیش نیاز			
پایه	اصولی	۳	۴۸	اختیاری		تخصصی	
	نظری			عملی	نظری	عملی	
نظری		نظریه اعداد، برنامه‌سازی C		حل تمرین: ندارد			
نظری		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 منتهای و الگوریتم‌های مختلف پیمانه گرفتن مانند Barrett reduction, Montgomery reduction
- الگوریتم‌های غربالگری اعداد مرکب Bit-Array, Table-Lookup 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		انگلیسی	
Cryptographic Protocols		پروتکل‌های رمزنگاری		Cryptographic Protocols	
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز		
پایه	۳	۴۸	رمزنگاری ۱	اصولی	اختیاری
نظری				عملی	نظری
عملی				عملی	نظری
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 رمزنگارشی (cryptographic) از پایگاه‌های داده.
- پروتکل‌های متوسط (خدمات مهر زمانی، کانال پنهان، امضای رقمی غیرقابل انکار، امضای با تأکید کننده مشخص، امضای 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 بی‌خبر، امضاهای بی‌خبر (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، اسکنااس 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 در رمزنگاری		انگلیسی	
Formal Methods in Cryptography							
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز			
پایه		۳	۴۸	اختیاری		اصلی	
نظری				عملی	نظری	عملی	نظری
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 روش صوری اصلی
- واریسی گر مدل (از جمله ابزار Scyther) از مرجع [۲]
- درستی‌یابی خودکار (از جمله منطق BAN) از مرجع [۳]
- جبر پردازش‌های 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, Cambridge 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.



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



		فارسی		کدگذاری ۱		عنوان درس	
Coding I		انگلیسی					
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش نیاز			
پایه		اصولی		تخصصی		اختیاری	
نظری		عملی		نظری		عملی	
نظریه اطلاع و کاربرد، الگوریتم و محاسبه		۴۸		۳		نظریه اطلاع و کاربرد، الگوریتم و محاسبه	
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 پذیری MDS
- کدهای همینگ، ساخت، خواص و پارامترها
- کدهای دوری و نحوه ساخت آنها با کمک میدان‌های متناهی
- کدهای BCH دودویی و غیر دودویی، کدگذاری و کدگشایی، خواص و پارامترها
- کدهای رید-سالمون، کدگذاری و کدگشایی، خواص و پارامترها
- کدهای رید-مولر 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.



		کدگذاری ۲		فارسی		عنوان درس			
Coding II				انگلیسی					
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز					
کدگذاری ۱		۳	۴۸	اختیاری		اصولی		پایه	
				عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				حل تمرین: ندارد			

هدف: ارائه مفاهیم پیشرفته در نظریه کدگذاری نظیر بررسی و تحلیل پارامترهای ریاضی و کلیدی کدها، تکنیک‌های کدگذاری 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 کدگذاری (به عنوان مثال، روش‌های کدگذاری داربست-سبنا و الگوریتم ویتربی).
- کدهای توربو
- انواع و روش‌های ساخت
- معرفی جایگشت دهندها
- ارائه یک نمونه الگوریتم کدگذاری 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 منتهای، پورتوگراف‌ها و RA ...) و شبه تصادفی (مک کی، PEG، گلگر)
- کدگذاری کدهای LDPC و QC-LDPC



- ارائه دو نمونه الگوریتم کدگذاری تکراری تصمیم سخت و نرم (برای نمونه الگوریتم جمع-ضرب) برای این دسته از کدها در حالت دودویی (توانایی و درک کدگذاری کدهای LDPC بر روی سه کانال .BEC .BSC .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، هر هم نهش کدها (Superposition) و ... با استفاده از کدهای توصیف شده بندهای فوق (بیچشی، توربو، LDPC)، نحوه کدگذاری، مزایا و معایب
- معرفی کدهای قطبی، کدهای جدید (ریتور، قواره‌ای 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		انگلیسی	
Network Coding		کدگذاری شبکه			
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز		
پایه	اختیاری	۳	کدگذاری ۱	اصولی	نظری
				عملی	نظری
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 هم‌تابه-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-بخشی، مدل شبکه‌های ارتباطی، شبکه‌های غیردوری، تعریف کدهای شبکه، نظریه کدگذاری برای شبکه‌های منبع منفرد چند-بخشی، بهره (gain) کدگذاری شبکه برای شبکه‌های ترکیبی
- کدگذاری شبکه به صورت 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 به صورت 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		انگلیسی		
Iterative Decoding Algorithms		الگوریتم‌های کدگذاری تکراری				
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	پایه		اصلی	
			نظری	عملی	نظری	عملی
کدگذاری ۲	۳	۴۸	اختیاری	تخصصی	نظری	عملی
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				

هدف: این درس به بررسی و تحلیل الگوریتم‌های کدگذاری کدهای خطی می‌پردازد که برای کدگذاری 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 کدگذاری و اندازه گیری کارایی)
- کدهای LDPC.
- معرفی مختصر (روش‌های ساخت دارای ساختار، شبه تصادفی)
- کدگذاری (اختیاری)
- کدگذاری (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 کدگذاری تکراری، کمرگراف، دور در گراف
- تحلیل نمودارهای کارایی.
- معرفی کدهای خوب LDPC و قواعد تولید آنها مبتنی بر نتایج کدگذاری
- کدهای پیچشی
- معرفی مختصر و نحوه ساخت
- کدگذاری کدهای پیچشی (اختیاری)
- کدگذاری BCJR، کدگذاری Log MAP، Viterbi برای انواع کانال‌های مخابراتی، بررسی پیچیدگی محاسباتی
- کدهای توربو
- معرفی مختصر و نحوه ساخت
- کدگذاری کدهای توربو (اختیاری)
- کدگذاری 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)
- کدگذاری 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		انگلیسی	
Space-Time Coding		کدگذاری فضا-زمان			
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز		
پایه	اختیاری	۴۸	۳		
عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
حل تمرین: ندارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			

هدف: مطالعات بنیادی در خصوص ظرفیت کانال‌های MIMO¹ برای مخابرات بدون سیم و دست یابی به حداکثر کارایی پیش بینی شده توسط نظریه‌های مختلف ریاضی. معرفی مفاهیم آنتن‌های انتقال ادریافت 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 ترکیبی² فضا زمان و انواع آن.
- کدگشایی کدهای فضا-زمان، مدولاسیون مختلف فضا-زمان،
- روش‌های مختلف تشخیص برای آنتن‌های چندگانه،
- روش‌ها و فنون جدید و بروز دنیا در خصوص 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.



¹Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)

²Trellis

Source Coding		فارسی		انگلیسی		عنوان درس	
تعداد واحد	تعداد ساعات	اختیاری		تخصصی		اصلی	
درس پیش‌نیاز	۲۸	۳	عملی	نظری	عملی	نظری	پایه
نظریه اطلاع و کاربرد			عملی	نظری	عملی	نظری	نظری
نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد				حل تمرین: 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^۳ مواردی نظیر کدگذاری آنتروپی، تدریج^۴، کدگذاری تبدیل^۵ و کدگذاری پیشگویانه^۶ در این درس مورد توجه قرار خواهند 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 ..
- کدگذاری 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 آبخار، الگوریتم بالاهوت
- کوانتیزاسیون نرخ-بالا، تدریج Constrained-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.



³Distortion
⁴Quantization
⁵Transform
⁶Predictive

عنوان درس		فارسی		انگلیسی		
Information Theory and Quantum Coding		نظریه اطلاع و کدگذاری کوانتومی				
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	پایه		اصلی	
			نظری	عملی	نظری	عملی
کدگذاری ۱	۳	۲۸	اختیاری		تخصصی	
			عملی	نظری	عملی	نظری
نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			حل تمرین: 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 فضاها برداری، تجزیه مقدار تکین، تجزیه اشمیت و ...)
- فرض‌های مکانیزم‌های کوانتوم (فضای حالت، تکامل یکتایی، اندازه‌گیری، ماتریس‌های چگالی، رد جزئی)
- اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، پارادوکس ERP و ناساوی‌های پل
- بعضی از پروتکل‌ها و الگوریتم‌ها شامل کدگذاری فوق چگال، teleportation، الگوریتم Duetsch-Jozsa، الگوریتم تجزیه شور، الگوریتم گروزر، پروتکل توزیع کلید BB84
- فاصله‌ها روی فضاها 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 پایدار ساز)

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		انگلیسی		
Ring-Based Coding						
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز			
پایه	اختیاری	تخصصی	اصلی	نظری	عملی	نظری
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
حل تمرین: ندارد			نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد			
جبر ۳ و آشنایی بامفاهیم نظریه حلقه‌ها، کدگذاری ۱		۴۸	۳			

هدف: شاخه جدیدی از نظریه کدگذاری در زمینه ساخت کدهای خطی رو جدید این حلقه‌های متناهی ایجاد شده است که هدف این درس آشنایی دانشجویان 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^۷
- 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^۸ 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 مینا تعریف می‌شود نظیر وزن همینگ، وزن لی و ...
- معرفی نگاشت گری^۹ که رابطه میان کدهای حلقه مینا 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 چهارتابی^{۱۰} و شبکه‌ها، بررسی کدهای چهارتابی خود دوگمان 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.

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



فارسی		کد شبکه خطی تصحیح کننده خطا		عنوان درس	
انگلیسی		Linear Error Correcting Network Codes			
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش نیاز		
پایه	اختیاری	۳	۲۸	اصلی	کدگذاری شبکه
نظری	نظری			عملی	
نظری	عملی			نظری	
عملی	نظری			عملی	
عملی	عملی			نظری	
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 کد شبکه تصحیح خطا، وزن و فاصله، کدگذاری
- کران همینگ، کران یکانی و کدهای MDS
- ساخت کدهای MDS
- کد شبکه‌های تصادفی تصحیح خطا

منبع:

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



مباحث ویژه درکد گذاری		فارسی	عنوان درس	
Special Topics in Coding		انگلیسی		
نوع واحد	تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز	
پایه	اختیاری	۳	اجازه گروه	۲۸
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
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 معمولاً با معادلات دیفرانسیل (عادی، جزئی، تأخیری، تحولی، تصادفی و یا تابعی) و معادلات تفاضلی مدل می‌شوند. با توجه به اینکه اکثر مدل‌ها پدیده‌های غیر خطی را مدل می‌کنند، بدست آوردن جواب صریح آنها معمولاً 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 می‌دهد). تعیین و شناسایی این مقدار بحرانی و نحوه تغییر جواب‌ها نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است.

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 می‌انجامد. این دوره از نظر اجرا تابع ضوابط و مقررات و آیین نامه‌های مصوب شورای برنامه ریزی آموزش عالی وزارت علوم تحقیقات و فناوری است.

اهداف

- تأمین نیروهای کارآمد در زمینه تجزیه و تحلیل کیفی رفتار جواب‌های معادلات دیفرانسیل و دستگاه‌های دینامیکی
- تربیت نیروی متخصص در زمینه مدل‌سازی 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 نشأت می‌گیرد.
 - خوش تعریف بودن مدل‌های ارائه شده برای پدیده‌های مختلف را بررسی نمایند
 - تغییرات کیفی رفتار جواب‌ها را با تغییر پارامترهای سیستم شناسایی و پیش‌بینی کنند.
 - مدل‌های جدید برای پدیده‌های فیزیکی، اقتصادی، مهندسی و زیستی ارائه کرده و رفتار دراز مدت جواب‌ها را پیش‌بینی کنند.



- با تسلط بر نرم افزارهای سیستم‌های دینامیکی جواب‌ها را شبیه‌سازی کرده و تغییر در رفتار جواب‌ها را با تغییر در مقادیر پارامترها 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 می‌کند.

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 پاره‌ای ۱

درس اصلی زمینه تخصصی دستگاه‌های دینامیکی: دستگاه‌های 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 پاره‌ای ۲	Partial Differential Equations 2	۳	معادلات دیفرانسیل پاره‌ای ۱
۳	دستگاه‌های دینامیکی گسسته ۱	Discrete Dynamical Systems 1	۳	مبانی سیستم‌های دینامیکی (کارشناسی)
۴	نظریه انفراد ۱	Singularity Theory 1	۳	نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل (کارشناسی)
۵	دستگاه‌های دینامیکی ۲	Dynamical systems 2	۳	دستگاه‌های دینامیکی ۱
۶	روش‌های تغییراتی در معادلات دیفرانسیل	Variational Methods in differential equations	۳	معادلات دیفرانسیل پاره‌ای 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 عادی ۱
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 شماره ۴: درس های تخصصی اختیاری (زمینه تخصصی معادلات دیفرانسیل پاره ای)

شماره درس	نام درس	نام درس لاتین	تعداد واحد	پیشنیاز(ها) و همنیاز (ها)
۱	معادلات بیضوی	Elliptic equations	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
۲	کاربرد های گروه لی در معادلات دیفرانسیل	Applications of Lie group in differential equation	۳	معادلات دیفرانسیل پاره ای ۱
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 Physics 1	۳	آنالیز حقیقی ۱
۹	ریاضی فیزیک ۲	Mathematical Physics 2	۳	آنالیز حقیقی ۱
۱۰	مباحث ویژه در معادلات دیفرانسیل پاره ای	Special Topics in PDE	۳	اجازه گروه



جدول شماره ۵: 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) با اجازه استاد
۳	نظریه سیکل‌های حدی	Theory of Limit Cycles	۳	دستگاه‌های دینامیکی ۱
۴	نظریه سیستم‌های کند-تندوسیکل‌های کانارد در صفحه	Slow-Fast Systems and Canard Cycles in Plane	۳	دستگاه‌های دینامیکی ۱
۵	انشعاب در سیستم‌های هامیلتونی	Bifurcations in Hamiltonian systems	۳	دستگاه‌های دینامیکی ۱
۶	نظریه معدل‌گیری و فرم‌های نرمال	Averaging and Normal form Theory	۳	دستگاه‌های دینامیکی ۱
۷	روش‌های محاسباتی در دستگاه‌های دینامیکی	Computational methods in Dynamical Systems	۳	دستگاه‌های دینامیکی ۱
۸	نظریه انفراد ۲	Singularity theory 2	۳	نظریه انفراد ۱
۹	دینامیک هم‌پایا	Equivariant Dynamics	۳	نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل (کارشناسی) و صیانی جبر (کارشناسی)
۱۰	مباحث ویژه در دستگاه‌های دینامیکی	Special Topics in Dynamical Systems	۳	اجازه گروه

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

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



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

هدف:

ریز مواد درس:

ساده سازی لیابانف-اشمیت، روابط هم ارزی و انشعاب فضا های مماسی محدود شده، تعیین متناهی، ایده آل های ذاتی، نظریه شکافت، انشعابات ماندگار و غیرماندگار. دسته بندی براساس هم بعد، شکافت جهاتی انشعابات مقدماتی. معادل بودن توپولوژیکی در مقابل معادل بودن هموار، انشعاب با تقارن Z_2

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



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

هدف:

ریزمواد درس:

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

انشعابات موضعی از هم بعد ۲: انشعابات تاکنز-باگدانف (در حضور ۲ مقدار ویژه صفر)، انشعاب در حضور یک جفت مقدار ویژه موهومی و یک مقدار ویژه صفر. روش معدلگیری، روش ملنیکف، اختلال در مدارهای تناوبی و هموکلیتیک در صفحه، انشعاب هموکلیتیک، انشعابات سراسری ناشی از انشعابات موضعی از هم بعد ۲. انشعاب تاکنز- باگدانف، انشعابات سراسری در صفحه، تعلق اسب اسمیل، دینامیک نمادین، نگاشت انتقال، مجموعه های هذلولوی، افراز مارکف و رباینده های غریب. مدارهای هموکلیتیک به نقاط تعادل هذلولوی در دستگاه های خودگردان در انشعابات 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 and Bifurcations of Vector Fields*, Springer-Verlag, New York, 1988
2. Wiggins, S., *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*, Springer-Verlag, New York, 1990.
3. Kuznetsov, Y. A., *Elements of Applied Bifurcation Theory*, Springer-Verlag, New York, 1995
4. Hirsch, M. W., Smale, S., Devaney, R. L., *Differential equations, Dynamical Systems and an introduction to Chaos*, Second edition, Elsevier, Academic Press, 2004
4. S. Wiggins, *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*, Springer, Second Edition, 2003.



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

هدف:

ریزمواددرس:

نگاشت های اندازه نگهدار (مثال های مهم، بازگشت، ارگودیک، آمیزنده ضعیف، آمیزنده قوی، فضایای همگرایی)، ایزومرفیسم - تزویج - ایزومرفیسم طیفی (مقادیر ویژه، توابع ویژه، طیف گسسته)، آنتروپی (تعاریف و ویژگی ها، روش های محاسبه آنتروپی)، دینامیک توپولوژیک (مجموعه مینیمال، تراپایی توپولوژیک)، اندازه های ناوردای برای نگاشت های پیوسته (اندازه روی فضای توپولوژیک، یکنایی 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.



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

هدف:

ریز مواد درس:

مقدمه و یاد آوری (توابع تحلیلی - توابع همردیس)، مفاهیم اولیه روی کره ریمان، نقاط ثابت - نقاط بحرانی - قضیه ریمان هروینز، 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 بوئخر - 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						
Theory of Limit Cycles		انگلیسی								
دروس پیش نیاز	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد							
			اختیاری		تخصصی		اصلی		پایه	
نظریه معادلات دیفرانسیل عادی ۱	۴۸	۳	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
			نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						حل تمرین: ندارد	

هدف:

ریزمواددرس:

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 لوجاسویچ، 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 در صفحه: 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 چندگانگی سیکل های حدی و پایداری ساختاری: چندگانگی 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



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

هدف:

ریزمواد درس:

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 آدپاتیک)، 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 وندریل، 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.



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

هدف:

ریز مواد درس:

ساختار پواسون، تبدیل های سیمپلکتیک، روش کاهش مسطح، نگاشت انرژی گشتاور، پایه های استاندارد، نرمال سازی بیرکهف والگوریتم های دیریت نگاشت نمایی، کاهش به تکینگی مرکزی، شکافت جامع، نوسانگر، میدان های برداری دایره-هم پایه، انشعاب و دینامیک های رزنانس قوی، نظریه افراد، فضاهاى 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



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

ریزمواد درس:

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 از مرتبه 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. Verhulst, 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.



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

هدف:

ریزمواد درس:

مبانی محاسباتی مربوط به نگاشتها و میدان های برداری، پایداری، انشعاب، مجموعه های حدی، ناورداها، رابنده 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 لیب 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 رابنده 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.



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

هدف:

ریزمواد درس:

مثال هایی از معادلات 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، مقدمه‌های بر نظریه انشعاب هابف 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, New York, 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



		فارسی		نظریه انفراد ۲		عنوان درس				
		انگلیسی		Singularity Theory2						
دروس پیش نیاز	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد							
			اختیاری		تخصصی		اصلی		پایه	
نظریه انفراد ۱	۴۸	۳	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
			نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						حل تمرین: ندارد	

هدف:

ریزمواددرس:

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

تقارن بادو درجه آزادی، انشعاب با n متغیرحالت، انشعابات هیلناتپ، انشعابات ماندگاردرانشعاب هیلناتپ

دسته بندی براساس هم بعد، شکافت جهانی انشعابات مقدماتی، تقارن Z_2+Z_2 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 D_3 درانشعاب هاپف.

مراجع پیشنهادی:

1. M. Golubitsky, D.J. Schaefer, Singularities and Groups in Bifurcation Theory, Volume I, Springer-Verlag, 1985.
2. M. Golubitsky, Ian Stewart, D.J. Schaefer, Singularities and Groups in Bifurcation Theory, Volume II, Springer-Verlag, 1988.
3. V. I. Arnold, Dynamical Systems, Catastrophe Theory, Springer-Verlag, 1993.



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

هدف:

ریزمواد درس:

کاهش لیپانف - اشمیت در بعد نامتناهی، کاهش لیپانف - 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 جابجایی، توابع پایا، انشعابات حالت های تعادلی شکننده تقارن، زیرگروه های ایزوتروپی، زیرفضاهای ثابت و فرمول اثر، لم شاخه شدن هم پایا، نمودار انشعاب و تقارن D_n ، دستگاه بنارد در صفحه، فرم های نرمال هم پایا، مساله تشخیص و فضاهای مماسی محدود شده، ایده آل های ذاتی و مدول ها،

قضیه شکافت جهانی هم پایا، انشعاب با تقارن D_3 ، کنش مدها، کنش هایف/حالت تعادل باتقارن Z_2 ، کنش مدهای هایف/حالت تعادلی با تقارن O_2 ، کنش مدهای هایف/هایف، تحلیل انشعاب در دستگاه تیلور-کوات.

مراجع پیشنهادی:

1. M. Golubitsky, Ian Stewart, D.J. Schaefer, Singularities 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.



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

پایدار سازی سیستم های کنترل خطی متناهی‌البعد 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



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

هدف:

ریزمواد درس:

خیزد مدل‌های جمعیتی تک‌گون‌های، چندگون‌های و برهمکنش گونه‌ها.

سیستم بیولوژی و ساختن مدل‌های ریاضی برای پدیده‌های زیستی: خزندگان، خدمات اجتماعی-درمانی، برهم‌کنش‌های انسانی.

نوسان‌های بیولوژیکی، اختلال و اختلال‌کننده دستگاه‌های زیستی، تقابل ضعیف و قوی نوسانگرهای زیستی. مدل‌های دینامیکی بیماری‌ها شامل دستگاه دفاعی، تهاجم انگلی، تاخیر در عملکرد دستگاه ایمنی، گسترش بیماری و مدل‌های واگیر. مدل‌های دینامیکی واکنش‌های شیمیایی زیستی، معادلات نفوذ، مدل‌های فضایی، و ظهور الگوها، مدل‌های 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



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

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

ریزمواددرس:

روش های اثبات وجود جواب: روش برون، 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 گمادیان آن ها.

معادلات غیر خطی: 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.



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

هدف:

ریزمواددرس:

یادآوری تعریف و ویژگی‌های C_0 -نیم گروه‌ها، قضیه هیله-یوشیدا، قضیه لومر-فیلیس، مولد C_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.

معادله انتقال حرارت، معادله استوکس، مسأله کشی خطی ناهمگن، وجود و یکتایی جواب برای مسائل کشی خطی، فشردگی عملگر جواب، مسأله کشی غیرخطی، قضیه وجود موضعی یشانو، جواب اشباع، برخی کاربردها مانند معادله کلاین-گوردن، مسأله کشی نیمه خطی، وجود و یکتایی جواب برای مسائل کشی نیمه خطی، رفتار مجانبی جواب‌ها، عملگرهای یکنوا، وجود جواب برای معادلات عملگری یکنوا، خانواده 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-Holland, 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.



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

هدف:

ریزمواد درس:

مثال‌ها (گراوی متری، تبدیل رادن و توموگرافی) خوش تعریف نبودن (مثال‌هایی در معادله حرارت و مسائل طیفی معکوس) مسائل بیضوی و نگرش کل درون (تعیین پتانسیل‌ها و رسانایی از طریق اندازه‌گیری مرزی)، کاربردها در تصویرسازی پزشکی، مسائل طیفی معکوس برای عملگر اشتورم - لیوویل، تعیین ضرایب از طریق داده‌ای طیف مرزی، مسائل معکوس در مسائل سهموی و معادله موج، معادله هلم هولتز و پراکندگی معکوس (تعیین موانع و ناهمگنی‌ها)

مراجع پیشنهادی:

1. Victor Isakov: Inverse Problems for Partial Differential Equations, Applied Math. Sciences, vol. 127, Springer, New York, 1998
2. Otared Kavian: Four lectures on parameter identification 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



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

هدف:

معرفی ابزارهای اساسی از نظریه دستگاه های دینامیکی با بعد نامتناهی برای بررسی انشعابات 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.

ریزمواددرس:

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 پروکسلی). بررسی ناپایداری در سیالات به وسیله کاهش به منیفلد مرکزی (مدل برگرز، مدل سویفت- هوهنبرگ و مدل رلی- بنارد) مطالعه موج های رونده، وجود 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 Gerard 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



		توابع خاص		فارسی	عنوان درس	
				انگلیسی		
Special Functions						
دروس پیش نیاز	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد			
توابع مختلط، معادلات دیفرانسیل عادی ۱	۴۸	۳	اختیاری	تخصصی	اصلی	پایه
			عملی	نظری	عملی	نظری
			نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		حل تمرین: 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 جمع اویلر، رفتار تابع لگاریتم گاما برای z های 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 ویبل، 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، تابع G 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 society, 1939.
- [4] L.J. Slater, Generalized Hypergeometric Functions, Cambridge University Press; Reissue edition, 2008.



		فارسی		حساب تغییرات		عنوان درس		
		انگلیسی		Calculus of Variations				
دروس پیش نیاز	تعداد واحد	تعداد ساعت	نوع واحد					
	۴۸	۳	اختیاری		تخصصی		اصلی	
معادلات دیفرانسیل عادی ۱			عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
	نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						حل تمرین: ندارد	

هدف:

ریزمواد درس:

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 کناره‌های مرتبط با معادلات دیفرانسیل، روش ریتز، روش تفاضل های محدود، قانون ضرایب لاگرانژ، مسئله ایزومتري، مسائل تغییرات با یک معادله به عنوان شرط کناره ای، مسئله لزاندر، 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



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

هدف: آشنایی با معادلات هذلولوی، سیستم های قوانین بقا، و امواج 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



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

هدف: آشنایی با فیزیک کلاسیک و مطالعه معادلات دیفرانسیلی که در آن ظاهر می شوند.

سرفصل:

فرمول بندی لاگرانژی و هامیلتونی از مکانیک کلاسیک. معادلات هامیلتون، معادله اوپلر- لاگرانژ، معادله هامیلتون-ژاکوبی، حرکت جسم صلب، الکترو دینامیک کلاسیک و معادلات ماکسول، معادلات الاستیسیته خطی و غیرخطی، مکانیک شاره ها، معادله اوپلر، معادله نوبه - 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



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

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

سرفصل:

اصول مکانیک کوانتومی، اصل عدم قطعیت، نوسان گرهارمونیک، معادله شرودینگر، حل معادله اتم هیدروژن، اسپین، معادله شرودینگر غیرخطی، مکانیک کوانتومی نسبیتی، معادله کلاین-گوردون، معادله دیراک، آشنایی با میدان های کوانتومی، آشنایی با سالیونها، معادله KdV

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



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

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 در معادلات 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 رابلی - 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



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

هدف:

ریز مواد درس:

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

معادلات دیفرانسیل: تکین‌ها و محاسبه مجانبی جواب، جوابهای مجانبی با پارامتر کوچک و بزرگ (روش WKB)، 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



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

هدف:

ریز مواد درس:

عملگر اشتورم-لیوویل بر روی بازه‌های منتهای: رفتار طیف، خواص توابع ویژه، عملگرهای تبدیلی، قضایای منحصربفردی، روش گلفاند-لویتان، روش نگاشت طیفی، روش مدل های استاندارد، حل موضعی مسأله معکوس، مروری بر نظریه مسأله 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، مسأله معکوس برای معادله موج، توسعه تابع وایلی، دنباله وایلی

کاربردهای نظریه مسأله معکوس: حل معادله 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



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

هدف:

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

ریزمواددرس:

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 and SC Anco, Symmetry and Integration Methods for Differential Equations, Springer-Verlag, 2002.
- 5-- George W. Bluman, AF Cheviakov, and SC Anco, Applications of Symmetry Methods to Partial Differential Equations, Springer-Verlag, 2010



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

هدف:

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

ریزمواد درس:

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 لیویل، کاپو و لاپلاسین کسری، مقدمه ای بر محاسبات کسری، جابجایی مشتقات کسری و انتگرال کسری - فرمول های لاینیتز - تبدیل لاپلاس و فوریه کسری.

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

مراجع پیشنهادی:

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

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

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



		ابزارهای اساسی در معادلات دیفرانسیل		فارسی		عنوان درس				
				انگلیسی						
Basic tools in Differential Equations										
دروس پیش نیاز	تعداد واحد	تعداد ساعت	نوع واحد							
آنالیز حقیقی ۱	۴۸	۳	اختیاری		تخصصی		اصلی		پایه	
			عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
	نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						حل تمرین: ندارد			

هدف:

ریزمواددرس:

مروری بر نظریه اندازه و انتگرال گیری، انتگرال پذیری یکنواخت و فضای همگرایی مربوطه، فضای L^p برای $1 \leq p < \infty$ ، بیجش، چگالی توابع هموار، تقریب در فضای L^p فضای L^p موضعی، فضای توابع همگرایی و مشتق به معنی توزیع، تبدیل فوریه در $L^2(\mathbb{R}^N)$ ، فضای شوراتز، تقریب آن در فضای L^p ، ایزومتري پلانچرال، تبدیل فوریه معکوس، همگرایی ضعیف، ضعیف ستاره و دنباله ای در فضای باناخ، آشنایی با فضای های سوبولف، قضیه لکس-میلگرم، فرمول بندی تغییراتی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای، عملگر توسیع، نامساوی های سوبولف، قضایای نشاندهنده سوبولف، نشاندهنده های فشرده و قضیه رلیش سکوندراکف، نامساوی پوانکاره نرم های هم ارز، فضای $W^{1,p}_0$ و دوگان آن، نظریه اثر، جواب ضعیف و صورت بندی تغییراتی مسائل مقدار مرزی، منظم سازی، اصل ماکزیمم، کاربرد در مسائل تحولی مانند معادله حرارت و معادله موج، فضاهای سوبولف با توان کسری، نتایج منظم سازی (داخل و نزدیک مرز) برای جواب های معادلات دیفرانسیل جزئی 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	اصولی	۳	۴۸	اختیاری		تخصصی		اجازه گروه
	نظری			عملی	نظری	عملی	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 می‌گردد. 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	اصولی	۳	۴۸	اختیاری		تخصصی		اجازه گروه
	نظری			عملی	نظری	عملی	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 می‌گردد. 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 دهه 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 آینده 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 دوره کارشناسی ارشد ریاضی مالی گامی رو به جلو برای فراهم کردن زمینه مطالعه و پژوهش دانشجویان علاقه‌مند به ادامه تحصیل در این زمینه 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 جامعه علمی کشور و موجب همسویی بسیاری از رشته‌های علمی به منظور تحقیق در این زمینه می‌شود.

تعریف

دوره 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 دوره 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 دوره 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 در زمینه‌های 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 می‌شود. 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 دوره 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

پیش‌نیاز ورود : دارا بودن مدرک کارشناسی آمار یا مدرک کارشناسی در یکی از رشته‌های 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		
			جمع	نظری	عملی
۱	ریاضی مالی ۱	۳	۴۸	۴۸	
۲	حسابان تصادفی در مالی	۳	۴۸	۴۸	

جدول ۲- دروس اختیاری کارشناسی ارشد گرایش ریاضی مالی

شماره درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت		
			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	نیم مارتینگل ها در بازارهای مالی	۳	۴۸	۴۸	
۵	حل عددی معادلات دیفرانسیل تصادفی در بازارهای مالی	۳	۴۸	۴۸	
۶	معادلات دیفرانسیل پاره ای در ریاضی مالی	۳	۴۸	۴۸	نظریه اندازه و احتمال
۷	روشهای مونت کارلو برای مالی	۳	۴۸	۴۸	
۸	روشهای آماری برای مالی	۳	۴۸	۴۸	-
۹	ارزیابی و مدیریت ریسک	۳	۴۸	۴۸	-
۱۰	نظریه سیدمالی تصادفی	۳	۴۸	۴۸	
۱۱	سری های زمانی مالی	۳	۴۸	۴۸	
۱۲	مهندسی مالی	۳	۴۸	۴۸	-
۱۳	حسابان ملیون و کاربردهای آن در مالی	۳	۴۸	۴۸	
۱۴	فرايندهای لوی در ریاضی مالی	۳	۴۸	۴۸	
۱۵	ریسک عملیاتی	۳	۴۸	۴۸	
۱۶	ریاضیات سرمایه گذاری	۳	۴۸	۴۸	-
۱۷	تحلیل داده های 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
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین (ساعت)
۳	پیشنیاز: نظریه اندازه و احتمال همنیاز: حسابان تصادفی در مالی	دروس الزامی	۲۴ ساعت

هدف:

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

ریز مواد:

مدل‌های گسسته: مروری بر فضاها و احتمال متناهی: تعریف فضای احتمال، متغیر تصادفی، امید ریاضی، امید ریاضی شرطی، مارتنینگل، زیر مارتنینگل و زبرمارتنینگل. قیمت‌گذاری ریسک-خنثی، ارزش‌گذاری دارایی‌ها با تنزیل جریان‌های نقدی آن‌ها، تعریف فرآیند مارکف و خاصیت مارکف. تغییر اندازه روی فضاها و 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.

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

تبصره: این درس با مدل‌های گسسته شروع می‌شود که ۷۰٪ مطالب درسی را پوشش می‌دهد. در ۳۰٪ باقی‌مانده درس مدل‌های پیوسته معرفی می‌شوند. پیشنیاز بخش دوم حسابان تصادفی در مالی است. زمانی که مطالب درسی به بخش دوم میرسد دانشجویان در درس حسابان تصادفی در مالی ریاضیات مربوط را خوانده‌اند و می‌توانند 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	نظریه اندازه و احتمال	دروس الزامی	۲۴ ساعت

هدف :

هدف این درس آشنایی دانشجویان با حسابان تصادفی و کاربرد در مالی، شامل حرکت براونی، انتگرال تصادفی ایبو و معادلات دیفرانسیل تصادفی است.

ریز مواد :

حرکت براونی، تعریف و ساختن آن، بیان پیوستگی و مشتق پذیری آن، مسیرهای حرکت براونی، ویژگی مارتینگلی، مارکوفی، و مارکوفی قوی آن، تغییرات مرتبه دوم مسیره‌های حرکت براونی، تبدیل‌ها روی حرکت براونی، تعریف انتگرال وینتر و خواص آن، انتگرال ایبو (با شروع از فرایندهای مقدماتی و ...)، ایزومتري ایبو، ویژگی مارتینگلی انتگرال ایبو، پیوستگی برگردان انتگرال ایبو، انتگرال ایبو به عنوان مارتینگل موضعی، فرمول ایبو یک بعدی، فرمول ایبو چند بعدی و کاربرد آن (محاسبه انتگرال تصادفی، انتگرال استراتو توویج، قضیه لوی و مشخص سازیمارتینگل‌ها با مسیر پیوسته، فرایند‌های نمایی و تبدیل اندازه‌های احتمال، قضیه گیرساف)، اولین زمان گذر حرکت براونی و توزیع‌های آن، قضیه نمایش مادر تینگلی و کاربرد آن در ریاضیات مالی، معادلات دیفرانسیل تصادفی، حل برخی از نمونه ساده، قضیه وجود و یگانگی قوی و ضعیف با شرایط لیبشیتز، کاربرد‌های مالی آن 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 مالی ۱ حسابان تصادفی در مالی	۳

هدف:

هدف این درس آشنایی دانشجویان با موضوعات پیشرفته مالی مانند اندازه ریسک-ختی، 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-ختی: دینامیک قیمت سهم، قیمت‌گذاری مشتق‌های مالی. قضایای اساسی قیمت‌گذاری دارایی‌ها، مدل بازار چندبعدی، سهام با سود پرداختی: پرداخت پیوسته، پرداخت یک‌جا، معادلات دیفرانسیل تصادفی و معادلات دیفرانسیل پاره‌ای: قضیه فینمن-کنس، 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	نظریه اندازه و احتمال	دروس الزامی	۲۴ ساعت

هدف: هدف این درس آشنایی دانشجویان 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 درونیایی 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 کاملاً 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 بازارهای 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 آن در بازارهای مالی است.

ریز مواد:

دوره ای از حرکت براونی، انتگرال ایتو و فرمول ایتو، قضیه نمایش مارتینگل ها و کاربرد آن در بازارهای مالی، معادلات دیفرانسیل، وجود ویگانگی قوی و ضیف معادلات یا شرایط لپشیتز، خاصیت قوی و ضعیف مارکف، مولد بخش ایتو، فرمول دینکین، معادلات پسر و پیشرو کلموگراف، فرمول فیمن کتز چند بعدی، کاربرد های آن در بازارهای مالی، تغییر اندازه قضیه گیرساف و کاربرد های آن در بازارهای مالی، مسائل شرایط مرزی، مسائل دریکله و پواسن و کاربرد های آن 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.



Semi Martingale for Financial Markets

تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین (ساعت)
۳	حسابان تصادفی	دروس اختیاری	۲۴ ساعت

هدف:

هدف این درس معرفی نظریه عمومی فرایند های تصادفی و کاربرد آن در بازارهای مالی است.

ریز مواد:

معرفی نیم مارتینگل ، فرایند های صعودی ، مارتینگل یا پارامتر پیوسته، تجزیه دوب میر، فرایند تغییرات 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، توسعه 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-اولنبرگ 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 و احتمال	دروس اختیاری	۲۴ ساعت

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

ریز مواد:

مقدمه ای بر معادلات دیفرانسیل پاره ای که در ریاضیات مالی ظاهر می شوند، معادلات سهموی خطی و رابطه آن با معادلات دیفرانسیل تصادفی، معادلات دیفرانسیل پاره ای مرتبه یک، معادله دیفرانسیل تصادفی به عنوان حد زنجیره های مارکف، رابطه بین معادلات دیفرانسیل پاره ای و فرایند تشخیص شرایط مرزی، مقدمه ای بر کنترل بهینه تصادفی، معادله میلنون-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: در این درس دانشجویان با اصول اولیه 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
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین (ساعت)
۳	-	دروس اختیاری	۲۴ ساعت

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

ریز مواد:

سروری بر بردارهای تصادفی، توزیع های توام، ماتریس واریانس کواریانس و خواص آن، توزیع نرمال چند متغیره و خواص آن، مدلهای آماری و استنباط آماری، برآورد درستنمایی ماکزیمم و خواص آن، محاسبات بیزی، مقدمه‌ای بر مدل های 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 یافته درس نظریه سبدمالی کلاسیک مارکوویتز است. زیربنای این درس نظریه آربتراژ است و دانشجویان علاوه بر این که سبدمالی را با این دید می بینند با جنبه های عملی تشکیل سبد، از جمله رتبه بندی و خوشه بندی دارایی ها بر مبنای سهم بازار آن ها نیز آشنا می شوند.

ریز مواد

نظریه سبدمالی تصادفی، تنوع بازار سهام، توابع مولد سبدمالی، توابع وزن های بازار رتبه بندی شده، مدل های مانا برای توزیع سرمایه، رفتار سبدهای مالی تولید شده با توابع، کاربردهای نظریه 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 سری‌های زمانی مالی، مشخصه‌های سری‌های زمانی مالی، مروری بر تعریف روند و مولفه فصلی و روش‌های برآورد و حذف آن‌ها، مروری بر مدل‌های ایستا (تعریف فرایند ایستا، تابع میانگین، تابع خودکواربانس 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- Gouriéroux, 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
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین (ساعت)
۳	-	دروس انتخابی	۲۴ ساعت

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 می‌شوند.

ریز مواد

ساز و کار بازارهای آتی، استراتژی‌های پوشش ریسک با استفاده از قراردادهای آتی، ساز و کار بازارهای اختیارهای معامله، استراتژی‌های شامل اختیارهای معامله، خواص اختیارهای معامله سهام، درخت دو جمله‌ای و مدل بلک-شولز-سرتون برای قیمت‌گذاری اختیارها، اختیارهای معامله روی شاخص‌های سهام و ارزها، اختیارهای معامله روی قراردادهای آتی، حروف یونانی، اختیارهای نامتعارف.

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	
تعداد واحد	پیشنیاز (همنیاز)	از جدول	حل تمرین (ساعت)
۳	حسابان تصادفی	دروس اختیاری	۲۴ ساعت

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-ولنتیک، حرکت براونی، بسط آشوب وینر، عملگر مشتق، انتگرال جزء به جزء، عملگر دیورژانس 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-خینجین توزیع‌های بی‌نهایت تقسیم‌پذیر، فرایندهای یا نموهای مستقل و مانا، تعریف فرایندهای لوی، حرکت بروانی، فرایند بواسون ترکیبی، فرایندهای گاما، اندازه تصادفی بواسون و خواص آن، نمایش لوی-خینجین فرایندهای لوی، فرایندهای تبهی 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، مدل سازی های مرتبط، مدیریت و روش محاسبه سرمایه لازم برای پوشش این ریسک آشنا می شوند.

ریز مواد:

مدل سازی پایگاه داده ها، مدل سازی تصادفی، مدل های علت و معلولی (اقتصادسنجی)، مدیریت ریسک عملیاتی، پوشش ریسک عملیاتی، سرمایه 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، استهلاك وام، جدول استهلاك وام، وجوه استهلاكی، نرخ بازدهی سرمایه، قیمت گذاری سهام، ارزش دفتری، جدول استهلاك 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	دروش 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 (همتیاز)	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 آن، فروش بهینه یک دارایی و انتخاب بهینه یک سبد سرمایه گذاری آشنا می شوند.

ریز مواد: مروری بر کنترل بهینه قطعی شامل اصل ماکسیمم پانتریگین و روش برنامه ریزی پویا، کنترل بهینه برای فرایند های پخش، معادله برنامه ریزی پویا برای فرایندهای پخش کنترلی، قضیه بررسی، جواب های ویسکالستی برای معادلات HJB، انتخاب بهینه سبد سرمایه در بازار مالی، توقف بهینه، کاربرد زمان توقف بهینه در اختیار فروش امریکایی، سویچ بهینه و کاربرد آن 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.



		فارسی		مباحث ویژه در ریاضی مالی			
		انگلیسی		Special topics in Financial Math		عنوان درس	
نوع واحد		تعداد واحد	تعداد ساعات	دروس پیش‌نیاز			
پایه		۳	۴۸	اختیاری		اصلی	
نظری				عملی	نظری	عملی	نظری
		نیاز به اجرای پروژه عملی: با نظر استاد				حل تمرین: 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 می‌گردد. ریز مواد درسی مربوطه قبل از ارائه بایستی به تصویب شورای تحصیلات تکمیلی گروه و دانشکده برسد.





جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

برنامه درسی

تغییر عنوان

دوره: کارشناسی

رشته: مهندسی دریانوردی

گروه: میان رشته ای

کمیته تخصصی علوم و فنون دریا

۱/۰
۵/۰۱

Handwritten signature

کمیسیون برنامه ریزی آموزشی، عنوان درسی از مهندسی دریا - دریانوردی به مهندسی دریانوردی تغییر یافت

با توجه به مصوبه جلسه مورخ

فصل سوم

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



		فارسی		دستگاه های دینامیکی ۱		عنوان درس				
Dynamical Systems 1		انگلیسی								
دروس پیش نیاز	تعداد ساعت	تعداد واحد	نوع واحد							
نظریه مقدماتی معادلات دیفرانسیل (کارشناسی)	۴۸	۳	اختیاری		تخصصی		اصلی		پایه	
			عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری
			نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						حل تمرین: 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 لیاپانوف، اصل پایایی لاسال، دامنه جاذبه نقطه تعادل، قضایای منیفولد پایدار و ناپایدار، دستگاه های هامیلتونی و گرادینتی در صفحه انشعابات مقدماتی، انشعاب گره زینی، چنگال، تبادل پایداری، هیسترسیس و گوشه. انشعابات دستگاه های خطی، انشعابات در دستگاه های گرادینتی و هامیلتونی. 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 منیفولد مرکزی در دستگاه های وابسته به پارامتر. قضیه فرم نرمال بیرکهف. انشعاب پوانکاره-آندرونوف-هایف. 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, Elsevier, 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, New York, 1990



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

هدف:

ریزمواددرس:

مدل های فیزیکی برای معادلات (معادلات از کجا می آیند؟)

پېچش 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 و غیرخطی 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 Differential Equations in Action, from modeling to theory*, Springer-Verlag Italia, Milano, 2008.



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

هدف:

ریزمواد:

دستگاه‌های معادلات خطی با ضرایب ثابت: دستگاه‌های خطی جفت نشده، قطری‌سازی، توان‌های عملگرها، قضیه اساسی حل دستگاه‌های خطی، دستگاه‌های خطی در صفحه، یادآوری فرم‌های ژردان، محاسبه نمای عملگری، پایداری دستگاه‌های خطی.

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

قضیه‌های وجود و یکتایی: وجود و یکتایی با شرط لیب‌شیتز، وجود با شرط پیوستگی و قضیه پئانو، ادامه جواب بازه ماکسیمال وجود، جواب‌های سرتاسری، جریان وابسته به یک معادله دیفرانسیل، وابستگی پیوسته نسبت به شرایط اولیه، وابستگی مشتق‌پذیر نسبت به شرایط اولیه، خطی‌سازی.

دستگاه‌های خودگردان: ویژگی‌های کلی جواب‌های دستگاه‌های خودگردان، مجموعه می‌نیمال وابسته به یک معادله دیفرانسیل، جواب‌های تناوبی، سیکل‌های حدی، رفتار جواب‌ها نزدیک نقطه تعادل

نظریه پایداری: پایداری، پایداری مجانبی، دامنه جذب، پایداری دستگاه‌های خطی، اختلال و پایداری دستگاه‌های غیرخطی، پایداری و ناپایداری به روش تابع لیاپانوف، کاربردهای روش لیاپانوف.

مراجع پیشنهادی:

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

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



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

هدف:

ریزمواد:

سیستم معادلات دیفرانسیل خطی غیر همگن، سیستم معادلات دیفرانسیل 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 فریبوس، سیستم های خطی با نقاط منفرد از نوع دوم، سریهای مجانبی، جوابهای صوری در حالت مختلط، انتگرال لایلاس 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

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

هدف:

ریزمواددرس:

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/ نشانیدن، نامساوی ها از نوع پوانکاره، نشانیدن های فشرده. جواب های تعمیم یافته، مفهوم جواب های اساسی برای معادلات. معادلات بیضوی مرتبه دوم، وجود جواب های ضعیف، قضیه لکس- میلگرم، تخمین 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



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

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 در حوزه معادلات دیفرانسیل پاره ای است.

ریزمواددرس:

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 وجود 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



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

هدف:

ریزمواد درس:

دستگاه های دینامیکی گسسته یک بعدی شامل معادلات تفاضلی خطی با ضرایب ثابت و متغیر، پایداری نقاط ثابت هذلولوی و غیرهذلولوی و نوع پایداری آنها، مشتق شواریتی، قضیه شارکوسکی و معکوس آن، انشعابات مضاعف سازی دوره تناوب، دینامیک نمادین، مجموعه کانتور، آشوب از دیدگاه دیوینی، مزدوج بودن، حساسیت نسبت به شرط اولیه و نماهای لیپانف، آشوب از دیدگاه لی-یورک. دستگاه های دینامیکی در صفحه شامل دستگاه های خطی، معادلات تفاضلی مرتبه ۲، نمای فاز، توابع لیپانف، قضیه هارتمن-گرابمن، قضیه منیفلد پایدار، اتومورفیسم هذلولوی تورال آتوسف، نگاشت های نعل اسبی وهنان، انشعاب نیمارک سکر. رباینده بودن و تحلیل تیم سیکل. دیگر تعاریف آشوب، قضیه ماروتو، ارتباط بین آشوب از دیدگاه دیوینی و لی-یورک. نظریه ارگودیک، انتروپی، انشعابات و فرم های نرمال نگاشت ها، محاسبه نما های لیپانف، کنترل و هماهنگ سازی آشوب. مدل های کاربردی شامل برخی مدل ها در بیولوژی، اقتصاد، علوم اجتماعی، شبکه های عصبی، اتوماتای سلولی، رمزنگاری آشوبناک، تعامل بین آشوب و نظریه 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 .

