جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

شورای عالی برنامه ریزی آموزشی

برنامه درسی

دوره: کارشناسی ارشد

رشته: ریاضیات و کاربردها

گرایش: ریاضیات تصادفی

گروه برنامه ریزی علوم ریاضی

مصوب جلسه شماره ۸۸۷ مورخ ۱۳۹۶/۰۹/۰۴ شورای عالی برنامه ریزی آموزشی

بسم الله الرّحمن الرّحیم

عنوان برنامه: دوره کارشناسی ارشد رشته ریاضیات و کاربردها گرایش ریاضیات تصادفی
تدوین شده توسط گروه برنامه ریزی علوم ریاضی

۱ـ برنامه درسی تدوین شده دوره کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها گرایش ریاضیات تصادفی پیشنهادی گروه برنامه ریزی علوم ریاضی در جلسه شماره۸۸۷ مورخ ۱۳۹۶/۰۹/۰۴ شورای عالی برنامه ریزی آموزشی به تصویب رسیده است.

۲ـ برنامه درسی مذکور در سه فصل: مشخصات کلی، جدول واحد های درسی و سرفصل دروس تنظیم شده وبرای تمامی دانشگاه ها ومؤسسه های آموزش عالی و پژوهشی کشور که طبق مقررات مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری فعالیت می کنند، برای اجرا ابلاغ می شود.

۳ـ این برنامه درسی از شروع سال تحصیلی ۱۳۹۸ـ۱۳۹۷ به مدت ۵ سال قابل اجراست و پس از آن نیازمند بازنگری می باشد.

مجتبی شریعتی نیاسر
نایب رئیس شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی

عبدالرحیم نوه‌ابراهیم
دبیر شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه آموزشی دوره

کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها - گرایش ریاضیات تصادفی

جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

شورای عالی برنامه‌ریزی

گروه علوم پایه

کمیته تخصصی علوم ریاضی

برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها

گرایش ریاضیات تصادفی

بهمن ماه ۱۳۹۵

برنامه و سرفصل درس‌های کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها

- ریاضیات و کاربردها - گرایش آنالیز
- ریاضیات و کاربردها - گرایش جبر
- ریاضیات و کاربردها – هندسه و توپولوژی
- ریاضیات و کاربردها – گراف و ترکیبیات
- ریاضیات و کاربردها - گرایش منطق ریاضی
- ریاضیات و کاربردها – گرایش ریاضیات تصادفی

مقررات عمومی برنامه کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها

کلیه دانشگاه‌هایی که قبلاً مجوز اجرای رشته را به صورت کلی اخذ کرده کماکان می‌توانند با پذیرش دانشجو در تمام کد رشته‌های "کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها" نسبت به پذیرش دانشجو اقدام کنند. این دانشگاه‌ها همچنین می‌توانند با پذیرش دانشجو در کد رشته محل "کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها" به صورت تجمعی اقدام کرده و هر یک از دانشجویان پذیرفته شده را با در نظر گرفتن تخصص اعضای هیأت علمی و امکانات موجود در هر یک از گرایش های اخذ شده این رشته با رعایت مقررات برنامه گرایش مربوطه در برنامه فعلی با قید گرایش دانش‌آموخته کنند.

اگر دانشگاهی دریکی از گرایش های خاص"کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها" قبلا مجوز گرفته باشد، در همان گرایش می تواند کماکان اقدام به پذیرش دانشجو نماید. چنانچه این نوع دانشگاه ها تمایل داشته باشند در سایر گرایش های رشته"کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها" که قبلاً مجوز اجرای آن را نداشته است، با کد رشته محل مجزا دانشجو پذیرد، لازم است که 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 دروه و شکل نظام

دوره کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها مطابق با آیین‌نامه جاری دوره‌ی کارشناسی ارشد وزارت عتف است.

تعداد واحدهای دوره

تعداد واحدهای درسی دوره کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها ۲۹ و به قرار زیر است:

درس‌های الزامی: ۹ واحد، شامل درس اصلی گرایش یا زیر گرایش و دو درس از دروس اصلی گرایش ها یا زیر گرایش‌های دیگر علوم ریاضی با نظر استاد راهنما یا دانشکده.

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

سمینار: ۲ واحد

پایان‌نامه: ۶ واحد

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

دانشجویان دوره کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها با اخذ دست کم ۶ واحد تمام وقت محسوب می شوند.

با توجه به پایه‌ای بودن دروس الزامی گرایش‌ها وتنوع ورودی‌های دوره های کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها 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.

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

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

کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها – گرایش ریاضیات تصادفی

فصل اول

مشخصات دوره کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها - گرایش ریاضیات تصادفی

مقدمه

با نگاه به تحقیقات افرادی که مدال فیلدز را در زمینه ریاضیات تصادفی از سال ۲۰۰۶ تاکنون به‌دست آورده‌اند، مشاهده می‌شود که این جایزه عموماً به تحقیقاتی تعلق گرفته است که تجلی ریاضیات مفهومی و به شدت تلفیقی و بینِ رشته‌ای هستند. این جایزه به دلیل تلفیق نظریهٔ احتمال، فرآیندهای تصادفی و آنالیز تصادفی با نظریهٔ نمایش، هندسهٔ جبری و توابع خاص، هندسهٔ دو بعدیِ حرکت بروانی، آنالیز مختلط، آنالیز هارمونیک، معادلات دیفرانسیل پاره‌ای، ترکیبیات جبری و هندسی، نظریهٔ تحلیلی اعداد، سیستم‌های دینامیکی و معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی، به این محققان تعلق گرفته است. این فقط قسمتی از مهمترین تحقیقات یک دههٔ اخیر در زمینه نظریهٔ ریاضیات تصادفی است که حوزهٔ معرفتی مهمی در ریاضی امروز است (به‌قول دیوید مامفورد در آغاز قرن بیست و یکم: «ما در آستانه عصر تصادفی قرار داریم»). این حوزه نقش مهم و تاثیرگذاری در دیگر حوزه‌های ریاضی مانند معادلات دیفرانسیل پاره‌ای، آنالیز ریاضی، ترکیبیات، هندسه جبری و نظریهٔ اعداد دارد. این زمینه، پایهٔ علم آمار نیز می‌باشد. ریاضی تصادفی همچنین یک علم کاربردی است با کاربردهای بسیار مهم در مکانیک آماری، زیست‌ریاضی، ریاضی مالی و مهندسی مالی، علوم کامپیوتر، آنالیز عددی و محاسبات علمی، مخابرات و دیگر رشته‌های علوم و مهندسی. ریاضیات تصادفی به مطالعهٔ مدل ریاضی پدیده‌های تصادفی می‌پردازد و یا گاهی تعبیری تصادفی از مدل‌های ریاضی تعینی ارائه می‌دهد.

تعریف

دورهٔ کارشناسی ارشد ریاضیات تصادفی ، یکی از دوره‌های آموزشی و پژوهشی در سطح تحصیلات تکمیلی در نظام آموزش عالی کشور است که پس از دورهٔ کارشناسی آغاز و به اعطای مدرک رسمی دانشگاهی در مقطع کارشناسی ارشد در **رشتهٔ ریاضیات و کاربردها یا ریاضی کاربردی (گرایش ریاضیات تصادفی) یا کارشناسی ارشد آمار (گرایش احتمال)** می‌انجامد و از نظر اجرایی تابع ضوابط، مقررات و آیین‌نامه‌های مصوب شورای برنامه ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است. **این دوره می تواند بر حسب ضرورت در رشتهٔ ریاضیات و کاربردها یا رشته ریاضی کاربردی (گرایش ریاضیات تصادفی) یا کارشناسی ارشد آمار (گرایش احتمال) ارایه شود.**

اهداف

در اجرای دورهٔ کارشناسی ارشد ریاضیات تصادفی اهداف زیر برای تربیت نیروی کارآمد دنبال می‌شود:

- یافتن مدل‌های ریاضی برای پدیده‌های تصادفی؛
- ایجاد پل ارتباطی بین ریاضیات تصادفی با دیگر رشته‌های و زمینه‌های ریاضی؛
- ایجاد پل ارتباطی بین ریاضیات تصادفی با دیگر علوم مانند زیست‌شناسی و ژنتیک، مالیه و اقتصاد، مدیریت، فیزیک و مهندسی علوم داده‌ها.

نقش و توانایی

دانش‌آموختگان دوره کارشناسی ارشد ریاضیات تصادفی می‌توانند:

- به انجام پژوهش‌های بنیادی و کاربردی در خودِ ریاضی تصادفی و ارتباط آن با دیگر رشته‌های علوم ریاضی بپردازد.
- به انجام پژوهش‌های بنیادی و کاربردی در مدل‌سازی ریاضی برای پدیده‌های تصادفی در علوم زیست‌شناسی، اقتصاد، مالیه، فیزیک، علوم کامپیوتر بپردازد.
- از ابزار آنالیز عددی و محاسبات علمی برای شناخت و توصیف پدیده‌های تصادفی استفاده کند.

ضرورت و اهمیت

چندین دهه است که با پیشرفت علوم گوناگون، مشخص شده است که مدل‌های واقعی پدیده‌های طبیعی، آن‌هایی هستند که نقش عوامل تصادفی را نیز در نظر می‌گیرند. به همین دلیل، بخش‌ها و شاخه‌های مختلف ریاضیات که دانش مدل‌سازی پدیده‌های طبیعی و مطالعهٔ آن‌ها است، به‌شدت با مطالعهٔ مدل‌های نظری و عددی تصادفی درآمیخته شده‌اند. از این‌رو شناخت ریاضیات تصادفی می‌تواند دانشجو را با دنیای پژوهشی وسیعی روبه‌رو سازد که هم به لحاظ نظری از زیبایی و کارایی برخوردار است و هم از جنبهٔ کاربردی، گسترهٔ وسیعی از مباحث را هم در خود ریاضیات و هم بیرون از آن، در بر می‌گیرد.

پیش‌نیاز

لازم است دانشجویانی که قصد دارند در دورهٔ کارشناسی ارشد گرایش ریاضیات تصادفی ادامهٔ تحصیل دهند، درس آنالیز ریاضی (نظام جدید کارشناسی) یا آنالیز ریاضی ۲ (نظام قدیم کارشناسی) را گذرانده باشند. در غیر این صورت باید حتما این درس را به عنوان جبرانی اخذ نمایند.

فصل دوم

جدول دروس دوره کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها - گرایش ریاضیات تصادفی

درس اصلی گرایش ریاضیات تصادفی: نظریهٔ اندازه و کاربردها

- به دانشجویان توصیه می شود دو درس الزامی دیگر خود را از بین درس‌های آشنایی با آنالیز تصادفی و ... انتخاب نمایند

جدول دروس تخصصی-انتخابی گرایش ریاضیات تصادفی

شماره	نام درس	تعداد واحد	ساعت			پیش‌نیاز
			جمع	نظری	عملی	
۱	نظریهٔ پیشرفتهٔ احتمال	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ اندازه و کاربردها
۲	فرآیندهای تصادفی پیشرفته	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ پیشرفتهٔ احتمال
۳	فرآیندهای تصادفی کاربردی	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ پیشرفتهٔ احتمال
۴	آنالیز تصادفی کسری	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۵	فرایندلوی	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۶	نظریهٔ معادلات دیفرانسیل تصادفی	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۷	نظریهٔ معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ معادلات دیفرانسیل تصادفی
۸	روش‌های عددی در معادلات دیفرانسیل تصادفی	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۹	روش‌های عددی در معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی
۱۰	معادلات تحولی تصادفی	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی
۱۱	کنترل بهینه تصادفی	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۱۲	انتگرال تصادفی	۳	۴۸	۴۸		فرآیندهای تصادفی پیشرفته
۱۳	فرایندهای تصادفی مانای ضعیف	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۱۴	فرآیندهای تصادفی مجموعه‌مقدار	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۱۵	فرآیندهای تصادفی پایدار	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۱۶	نظریهٔ ریاضی بازی‌ها	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ اندازه و کاربردها

۱۷	فرآیند پخش	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ معادلات دیفرانسیل تصادفی
۱۸	اصل انحراف‌های بزرگ و کاربردهای آن	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ پیشرفته احتمال
۱۹	گراف‌های تصادفی	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ اندازه و کاربردها
۲۰	نظریهٔ نشت	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ اندازه و کاربردها
۲۱	آنالیز تصادفی روی خمینه‌ها	۳	۴۸	۴۸		انتگرال تصادفی و هندسهٔ خمینه‌ها
۲۲	روش‌های احتمالاتی در آنالیز ریاضی	۳	۴۸	۴۸		فرآیندهای تصادفی پیشرفته
۲۳	شبیه‌سازی تصادفی	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ اندازه و کاربردها
۲۴	ماتریس‌های تصادفی	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔ اندازه و کاربردها
۲۵	میدان‌های تصادفی	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۲۶	فرآیندهای نقطه‌ای	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۲۷	معادلات دیفرانسیل تصادفی پسرو	۳	۴۸	۴۸		نظریهٔمعادلاتدیفرانسیل تصادفی
۲۸	احتمال روی فضاهای باناخ	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی و آنالیز تابعی
۲۹	عملگرهای تصادفی	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی و آنالیز تابعی
۳۰	روش‌های احتمالاتی درمدل‌های ژنتیکی	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۳۱	هندسه تصادفی	۳	۴۸	۴۸		آشنایی با آنالیز تصادفی
۳۲	مباحث ویژه در فرآیندهای تصادفی	۳	۴۸	۴۸		اجازهٔ گروه (دانشکده)
۳۳	مباحث ویژه در نظریهٔ احتمال	۳	۴۸	۴۸		اجازهٔ گروه (دانشکده)

فصل سوم

سرفصل دروس کارشناسی ارشد ریاضیات و کاربردها - گرایش ریاضیات تصادفی

عنوان درس	فارسی	نظریهٔ اندازه و کاربردها									
	انگلیسی	Measure Theory and Probability									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	آنالیز ریاضی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

هدف این درس آشنایی دانشجو با زبان نظریهٔ اندازه، مبانی نظریهٔ احتمال و شیوهٔ به کارگیریِ ابزارهای نظریهٔ اندازه در احتمال است.

سرفصل درس:

تعریف مقدماتی از احتمال و بیان نمونه‌هایی از فضاهای احتمال، بیان ضرورت توسعهٔ مفهوم پیشامد و احتمال، سیگماجبر، اندازهٔ مجرد و ویژگی‌های آن، اندازهٔ لبگ، خواص اندازهٔ لبگ و وجود مجموعهٔ اندازه‌ناپذیر، تعریف احتمال شرطی و پیشامدهای مستقل، لم‌های اول و دوم برل-کانتلی، توابع اندازه‌پذیر و متغیرهای تصادفی، اندازهٔ احتمال وابسته به متغیر تصادفی، تقریب با توابع ساده (متغیرهای تصادفی گسسته)، همگرایی تقریباً همه‌جا (قریب به یقین)، همگرایی در اندازه (در احتمال)، انتگرال (امید) توابع اندازه‌پذیر (متغیرهای تصادفی) ساده، انتگرال (امید) توابع اندازه‌پذیر (متغیرهای تصادفی) نامنفی، قضیهٔ همگراییِ یکنوا و نتایج آن، توابع انتگرال‌پذیر، لم فاتو، قضیهٔ همگرایی تسلطی و نتایج آن، فضاهای L^p (اثبات ساختار برداری و کامل بودن آنها)، انتگرال‌پذیری یکنواخت، فضای L^2 به‌عنوان یک فضای هیلبرت و قضیهٔ تصویر روی زیرفضاهای بسته، گشتاورهای متغیرهای تصادفی و واریانس، تابع مولد گشتاور، سیگماجبر حاصل‌ضربی، اندازهٔ حاصل‌ضربی، انتگرال دوگانه و قضیهٔ فوبینی، بردارهای تصادفی و تابع توزیع چندمتغیره، کوواریانس، متغیرهای تصادفی مستقل، معرفی امید و احتمال شرطی (با استفاده از قضیهٔ تصویر در فضاهای هیلبرت)، ویژگیهای امید شرطی، احتمال شرطی منظم، آشنایی با مارتینگل‌های زمان-گسسته، آشنایی با زمان توقف، قضیه نمونه گیری اختیاری در حالت ساده ، بیان قضیهٔ همگراییِ مارتینگل‌های زمان-گسسته در حالت ساده.

مراجع پیشنهادی:

1- Adams, M. and Guillemin, V., *Measure Theory and Probability*, Birkhauser, 1996.
2- Resncik, S., *A Probability Path*, 2nd Ed., Springer, 2014.
3- Billingsley, P., *Probability and Measure*, John Wiley & Sons, 2012.
4- Jacod, J. and Protter, P., *Probability Essentials*, Springer-Verlag, 2004.

عنوان درس	فارسی	آشنایی با آنالیز تصادفی									
	انگلیسی	Introduction to Stochastic Analysis									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	نظریهٔ اندازه و کاربردها	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

هدف این درس آشنایی مقدماتی دانشجویان با حرکت براونی و ویژگی‌های آن و شیوهٔ تعریف انتگرال تصادفی ایتو نسبت به حرکت براونی و ویژگی‌های آن است.

سرفصل درس:

تعریف حرکت براونی، ساختن حرکت براونی به روش فضای L^2، اشاره به دیگر روشهای ساختن حرکت براونی، پیوستگی مسیرهای براونی، مشتق‌ناپذیری مسیرهای براونی، تغییرات مرتبهٔ دوم حرکت براونی، خاصیت مارکفی حرکت براونی، خاصیت مارتینگلی حرکت براونی، اصل بازتاب و کاربردهای آن، انتگرال تصادفی ایتو برای فرآیندهای تصادفی ساده، ایزومتری ایتو، انتگرال تصادفی ایتو برای L^2-فرآیندهای تصادفی، پیوستگی انتگرال تصادفی، خاصیت مارتینگلی انتگرال تصادفی، انتگرال استرانونوویچ و رابطهٔ آن با انتگرال تصادفی ایتو، فرمول ایتو و کاربردهای آن همراه با مثال، قضیهٔ نمایش مارتینگلی، پل براونی، فرمول تاناکا و زمان موضعی، آشنایی با معادلات دیفرانسیل تصادفی، قضیهٔ وجود و یکتایی جواب برای معادلات دیفرانسیل تصادفی.

مراجع پیشنهادی:

1- Kuo, Hui-Hsiung, Introduction *to Stochastic Integration*, Springer, Berlin, 2006.
2- Le Gall, Jean-François, *Brownian Motion, Martingales, and Stochastic Calculus*, Springer 2016.
3- Oksendal, B., *Stochastic Differential Equations, An Introduction with Applications*, 6th. ed., Springer-Verlag, 2003.
4- Schilling, Rene and Partzsch, L., *Brownian Motion, An Introduction to Stochastic Processes*, 2nd ed. Walter de Gruyter, 2014.

عنوان درس	فارسی	حسابان تصادفی کسری											
	انگلیسی	Fractional Stochastic Calculus											
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

هدف این درس آشنا کردن دانشجو با مفهوم مشتق کسری و سپس حرکت براونی کسری، انتگرال ایتو نسبت به حرکت براونی کسری و برخی از کاربردهای آن است.

سرفصل درس:

حرکت براونی کسری، خود-متشابهی، پیوستگی هُلدر، مشتق‌پذیری مسیرها، انتگرال وینر برای حرکت براونی کسری، نوفهٔ سفید کسری، قضیهٔ گیرسانف کسری، گرادیان تصادفی کسری، انتگرال ایتوی کسری، فرمول ایتوی کسری، انتگرال‌های مکرر و بسط آشوبی، معادلات دیفرانسیل تصادفی شامل حرکت براونی کسری، کاربرد حسابان تصادفی کسری در ریاضی مالی، کاربرد حسابان تصادفی کسری در کنترل بهینه تصادفی، زمان موضعی و فرمول تاناکا در حسابان تصادفی کسری.

مراجع پیشنهادی:

1. Biagini, F., Hu, Y., Oksendal, B., Zhang, T., *Stochastic calculus for fractional Brownian Motion and Applications*, Springer-Verlag, London,2008.
2. Nualart, D., *The Malliavin Calculus and Related Topics*, 2nd, Springer, 2006.

عنوان درس	فارسی	نظریهٔ پیشرفتهٔ احتمال									
	انگلیسی	Advanced Probability Theory									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	نظریهٔ اندازه و کاربردها	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

در این درس دانشجویان با مطالب پیشرفته‌تر نظریهٔ احتمال شامل قانون‌های اعداد بزرگ، انواع همگرایی دنبالهٔ متغیرهای تصادفی و قضیه‌های حدی آشنا می‌شوند.

سرفصل درس:

دورهٔ فضای احتمال، متغیرهای تصادفی، دورهٔ انتگرال و امید ریاضی، تابعهای جرم احتمال و چگالی احتمال، تابع توزیع، اندازه و انتگرال لبگ-استیلتیس، همگرایی متغیرهای تصادفی و مقایسهٔ انواع همگرایی‌ها، پیشامدهای مستقل، قانون صفر و یک کلموگرف، متغیرهای تصادفی مستقل، ساختن دنبالهٔ متغیرهای تصادفی مستقل هم‌توزیع، قانون ضعیف اعداد بزرگ، قانون‌های قوی اعداد بزرگ، تابع مشخصه و ویژگی‌های آن، یکتایی و قضیهٔ وارون برای تابع مشخصه، قضیهٔ پیوستگی لوی، همگرایی ضعیف، قضیه‌های حد مرکزی، قضیهٔ لیاپانف، آرایه‌های مثلثی و قضیهٔ لیندبرگ، توزیع‌های بینهایت‌بار تقسیم‌پذیر و پایداری، قانون لگاریتم مکرر، دروهٔ امید شرطی و احتمال شرطی، احتمال شرطی منظم، مارتینگل‌های زمان-گسسته، زمان توقف، قضیهٔ توقف اختیاری، قضیهٔ نمونه‌گیری اختیاری، نامساوی‌های مارتینگلی، قضیهٔ همگرایی مارتینگل‌ها، کاربرد در قضیهٔ رادن-نیکودیم، کاربرد در قضیهٔ حد مرکزی، مارتینگل‌های زمان-معکوس، همگرایی مارتینگل‌های زمان-معکوس.

مراجع پیشنهادی:

1- Billingsley, P., *Probability and measure*, Anniversary Ed. Wiley & Sons, 2012.
2- Breiman, L., *Probability*, SIAM, 1992.
3- Chung, K. L., *A course in probability theory*, 3rd ed., Academic Press, 2000.
4- Durrett, Rick. *Probability: theory and examples*. 4th ed. Cambridge University Press, 2010.
5- Dudley, Richard, *Real analysis and probability*, 2nd ed. Cambridge University Press, 2002.
6- Khoshnevisan, D., *Probability*, American Mathematical Society, 2007
7- Kallenberg, O., *Foundations of modern probability*, 2nd. ed., Springer, 2002.
8- Walsh, John, *Knowing the odds*, American Mathematical Society, 2012.

عنوان درس	فارسی	نظریهٔ معادلات دیفرانسیل تصادفی									
	انگلیسی	Theory of Stochastic Differential Equations									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

آشنایی دانشجو با مفهوم معادلهٔ دیفرانسیل تصادفی شامل نوفهٔ سفید، تبدیل آن به معادلهٔ انتگرال تصادفی ایتو، روش حل برخی از موارد خاص و قضیهٔ وجود و یکتایی جواب و استفاده از نظریهٔ معادلات دیفرانسیل تصادفی در مدلسازی پدیده های تصادفی است.

سرفصل درس:

تعریف معادلهٔ دیفرانسیل تصادفی، مثال‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی و روش‌های حل، قضیهٔ وجود و یکتایی جواب، مفهوم جواب قوی و ضعیف، ویژگی‌های مارکوفی و مارکوفی قوی برای جواب معادلات دیفرانسیل تصادفی، مولد فرآیند پخش ایتو، فرمول دینکین، عملگر مشخصه، فرآیند پسرو کلموگرف، فرمول فاینمن-کتس، مسألهٔ مارتینگل، تعویض زمان تصادفی، قضیهٔ گیرسانف، کاربرد معادلات دیفرانسیل تصادفی در نظریهٔ مسائل مقدار مرزی، مسالهٔ دیریشله، مسألهٔ پواسن، کاربرد در توقف بهینه: حالت زمانی-همگن و حالت زمانی-ناهمگن، مسائل توقف بهینه شامل انتگرال، ارتباط با نامساوی‌های تغییراتی، کاربرد در کنترل تصادفی، معادلهٔ هامیلتن-ژاکوبی-بلمن.

مراجع پیشنهادی:

1- Le Gall, Jean-François, *Brownian Motion, Martingales, and Stochastic Calculus*, Springer, 2016.

2- Oksendal, B., *Stochastic differential equations: an introduction with applications*, 6th Ed., Springer, Berlin, 2003.

عنوان درس	فارسی	انتگرال تصادفی									
	انگلیسی	Stochastic Integration									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	فرآیندهای تصادفی پیشرفته
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف :

آشنایی دانشجو با نظریهٔ انتگرال تصادفی در سطحی پیشرفته تر از آن که در درس آشنایی با آنالیز تصادفی دیده است. در اینجا، انتگرال تصادفی فرآیندهای پیش‌بینی‌پذیر نسبت به مارتینگل‌های موضعی با شرایط مناسب آموزش داده می‌شود. به علاوه، صورت تعمیم‌یافتهٔ فرمول ایتو و کاربردهای آن نیز بیان می‌شود.

سرفصل درس:

مجموعه‌ها و فرآیندهای پیش‌بینی‌پذیر، بازه‌های تصادفی، اندازه روی مجموعه‌های پیش‌بینی‌پذیر، تعریف انتگرال تصادفی، توسعهٔ تعریف انتگرال به انتگرالده‌ها و انتگرال‌گیرهای موضعی، فرمول جانشین‌سازی، فرآیند تغییرات مرتبهٔ دوم و ویژگی‌های آن، L^2 - مارتینگل‌ها و انتگرال نسبت به آنها، فرمول ایتوی یک بعدی، فرمول ایتوی چندبعدی، کاربردهای فرمول ایتو، زمان موضعی و فرمول تاناکا، حرکت براونی بازتاب‌یافته، تعویض زمان، تعویض اندازه، معادلات دیفرانسیل تصادفی، قضیهٔ وجود و یکتایی در حالت لیپ‌شیتز، جواب‌های ضعیف و قوی، ویژگی مارکفی قوی برای جواب‌ها، اندازه‌های تصادفی، قضیهٔ نمایش مارتینگلی.

مراجع پیشنهادی:

1- Chung, K.L., and Williams, R.J., *Introduction to Stochastic Integration*, 2nd Ed., Birkhauser, Boston, 1990.

2- Protter, P., *Stochastic Integration and Differential Equations*, 3rd Ed., Springer-Verlag, 2004.

عنوان درس	فارسی	نظریهٔمعادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی											
	انگلیسی	Theory of Stochastic Partial Differential Equations											
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد													

هدف:

آشنایی دانشجو با انواع معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی، مفهوم جواب قوی، معادلات تحولی تصادفی در فضاهای هیلبرت و مطالبی دربارهٔ نظریهٔ کیفی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای و برخی کاربردها.

سرفصل درس:

یادآوری تعریف انتگرال تصادفی ایتو و ویژگی‌های اصلی آن، فرمول ایتو و کاربردهای آن، تعریف معادلهٔ دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی، معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی مرتبهٔ اول، معادلات سهموی تصادفی از قبیل معادلهٔ انتقال حرارت تصادفی، معادلهٔ واکنش-پخش، معادلات سهموی با نوفهٔ لوی. معادلات هذلولوی تصادفی از قبیل معادلهٔ موج تصادفی، معادلهٔ موج نیمه‌خطی و معادلهٔ موج روی دامنه‌های بی‌کران، آشنایی با معادلات تحولی تصادفی روی فضاهای هیلبرت، مارتینگل‌های هیلبرت-مقدار، انتگرال تصادفی در فضاهای هیلبرت، فرمول ایتو، معادلات تحولی تصادفی، جواب ملایم و جواب قوی و رابطهٔ آن‌ها، رفتار مجانبی جواب‌ها و بررسی مطالبی مانند کرانداری و پایداری جواب‌ها، روش تابع لیاپانف، اندازه‌های ناوردا، اختلال‌های تصادفی کوچک، انحراف‌های بزرگ، بیان برخی از کاربردها مانند معادلهٔ برگر تصادفی، معادلهٔ شرودینگر تصادفی، معادلهٔ کان-هیلیارد و پایداری آن، معادلهٔ ناویه-استوکس تصادفی.

مراجع پیشنهادی:

1. Chow, P. L., Stochastic *partial differential equations*, 2nd Edition,CRC Press , 2015.
2. Liu, W. and Röckner, M., *Stochastic Partial Differential Equations: An Introduction*, Springer-Verlag, 2015.

عنوان درس	فارسی	معادلات تحولی تصادفی											
	انگلیسی	Stochastic Evolution Equations											
نوع واحد											تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری							
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				۳	۴۸	نظریهٔ‌معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی
حل تمرین: دارد نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد													

هدف:

آشنایی دانشجو با چگونگی مدلسازی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی در قالب معادلات تحولی تصادفی در فضای باناخ یا هیلبرت مناسب، تحلیل انواع جواب و بررسی پایداری جوابها.

سرفصل درس:

حسابان تصادفی شامل: فرآیندهای هیلبرت ــ مقداری، متغیر تصادفی گاوسی هیلبرت ــ مقداری، مارتینگل‌ها در فضاهای هیلبرت، -فرآیند ویتر استوانه‌ای.

انتگرال تصادفی شامل: فرآیندهای تصادفی مقدماتی، انتگرال تصادفی ایتو برای فرآیندهای مقدماتی، انتگرال تصادفی ایتو نسبت به فرآیند تصادفی ایتو نسبت به فرآیند ویتر استوانه‌ای، مساله نمایش مارتینگلی، قضیه فوبینی تصادفی، فرمول ایتو و کاربردهای آن.

معادلات دیفرانسیل تصادفی شامل: تعریف معادله دیفرانسیل تصادفی در فضاهای نامتناهی-بعد، جواب قوی و ضعیف و ملایم، مقایسه روش تغییراتی و روش نیمگروهی، وجود و یکتایی جواب با شرایط مناسب، خاصیت مارکفی جواب، وابستگی جواب نسبت به شرایط اولیه، معادله پسرو کلموگرف، وجود جواب ضعیف با شرط پیوستگی.

رفتار مجانبی جوابهای معادلات تحولی شامل:پایداری و پایداری مجانبی، پایداری مجانبی نمایی گشتاورها و مسیرهای نمونه‌ای، کراندار گشتاورها و مسیرهای نمونه‌ای جواب‌ها.

مراجع پیشنهادی:

1- Gawarecki, L., and Mandrekar, L., *Stochastic differential equations in infinite dimensions*, Springer-Verlag, Berlin, 2011.
2- Prevot, C., and Rockner, M., *A concise course on stochastic partial differential equations*, SpringerLNM (1905), Berlin, 2007.
3- Da Prato, G., Zabczyk, J., *Stochastic equations in infinite dimensions*, Cambridge University Press, London, 1992

عنوان درس	فارسی	فرآیندهای تصادفی پیشرفته											
	انگلیسی	Advanced Stochastic Processes											
نوع واحد											تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری					۳	۴۸	نظریهٔ پیشرفتهٔ احتمال و آشنایی با آنالیز تصادفی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

آشنایی دانشجو با انواع فرآیندهای تصادفی و مارتینگل‌های زمان-پیوسته و انتگرال تصادفی نسبت به نیمه مارتینگل‌ها.

سرفصل درس:

تعریف فرآیند تصادفی، فرآیندهای تصادفی اندازه‌پذیر، فرآیندهای تصادفی پیوسته، فرآیندهای تصادفی پیش‌بینی‌پذیر، قضیهٔ توسیع کلموگرف، مارتینگل زمان-پیوسته، نامساوی‌های مارتینگلی برای مارتینگل‌های زمان-پیوسته، زمان توقف، رده‌بندی زمان‌های توقف، قضیهٔ نمونه‌گیری اختیاری، قضیهٔ توقف اختیاری، قضیهٔ همگرایی مارتینگل‌ها، فرآیندهای صعودی و قضیهٔ تجزیهٔ دوب-میر، ساختار L^2 -مارتینگل‌ها، فرآیند تغییرات مرتبهٔ دوم، آشنایی با نیمه‌مارتینگل‌ها و مارتینگل‌های موضعی، انتگرال تصادفی نسبت به L^2-مارتینگل‌ها.

مرجع پیشنهادی:

1- Cohen, S.N., Elliot, R. J., *Stochastic Calculus and Applications*, 2nd Ed., Birkhauser, 2015.
2- Yeh, J., *Martingales and Stochastic Processes*, World Scientific, 1995.
3-Métivier, M., *Semi Martingales: A Course on Stochastic Processes*, Walter de Gruyter, 1982.
4-Protter, P., *Stochastic Integration and Differential Equations*, 3rd Ed., Springer-Verlag, 2004.

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

هدف:

در این درس دانشجویان با کنترل بهینهٔ تصادفی زمان -پیوسته برای سیستمهایی با مشاهدات کامل و جزئی، روش‌های حل آنها ومباحثی در نظریهٔ پالایهٔ تصادفی آشنا می‌شوند.

سرفصل درس:

آشنایی با مسائل تغییراتی و انگیزهٔ پیدایش نظریهٔ کنترل، مروری بر کنترل بهینه تعینی، اصل ماکسیمم پانتریاگین، قضیه‌های وجود ویپوستگی کنترل بهینه، روش برنامه‌ریزی پویا . معادلات دیفرانسیل پاره‌ای وابسته به برنامه‌ریزی پویا، یادآوری انتگرال ایتو و معادلات دیفرانسیل تصادفی، فرآیندهای پخش مارکفی، کنترل بهینه برای فرآیندهای پخش، معادلهٔ برنامه‌ریزیپویا برای فرآیندهای پخش کنترلی، جواب‌های ویسکاسیتی برای معادلات همیلتن-ژاکوبی-بلمن، معادلات تصادفی سهموی و کنترل‌های بهینه برای معادلات زاکایی شامل فرآیندهای پخش کنترلی با مشاهدات جزئی.

مراجع پیشنهادی:

1. Makiko Nisio. *Stochastic control theory*. Springer, 2nd Edition, 2015.
2. Alain Bensoussan. *Stochastic control of partially observable systems*. Cambridge University Press, 1992.

عنوان درس	فارسی	فرایندهای لوی											
	انگلیسی	Levy Processes											
نوع واحد											تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری					۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد											

هدف:

در این درس، دانشجویان با فرآیندهای لوی و ساختار آن‌ها آشنا می‌شوند و به آنالیز تصادفی لوی می‌پردازند.

سرفصل درس:

توزیع‌های بی‌نهایت‌بار تقسیم‌پذیر و خواص آنها، نمایش لوی-خینچین توزیع‌های بی‌نهایت‌بار تقسیم‌پذیر، فرآیندهای با نموهای مستقل و مانا، تعریف فرآیندهای لوی، حرکت بروانی، فرآیند پواسون ترکیبی، فرآیندهای گاما، اندازهٔ تصادفی پواسون و خواص آن، نمایش لوی-خینچین برای فرآیندهای لوی، فرآیندهای تبعی و خواص آنها، اولین زمان گذر در فرآیندهای لوی، آنالیز تصادفی فرآیند لوی، فرمول ایتو، معادلات دیفرانسیل تصادفی نسبت به نوفهٔ لوی، قضیه وجود و یگانگی، حل ضعیف و رابطهٔ آن با معادلهٔ دیفرانسیل پاره‌ای، شار تصادفی لوی، ویژگی مارکفی جوابها، فرمول فاینمن-کتس و مسائل مارتینگلی.

مراجع پیشنهادی:

1. Applebaum D., *Levy Processes and Stochastic Calculus*, 2nd Ed., Cambridge Uni. Press, 2009
2. Bertoin, J., *Levy Processes*. Cambridge University Press, 1996.
3. Kyprianou, A. *Fluctuations of Levy Processes*. 2nd Ed., Springer, 2014.
4. Sato, K., *Levy Processes and Infinitely Divisible Distributions*, 2nd Ed, Cambridge Univ. Press, 2014.

عنوان درس	فارسی	حسابان مَلیوان و کاربردهای آن									
	انگلیسی	Malliavin Calculus with Applications									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	فرایندهای تصادفی پیشرفته
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

آشنایی دانشجو با انتگرال وینر چندگانه و حساب دیفرانسیل و انتگرال ملیوان و کاربردهای آن به ویژه در ریاضی مالی.

سرفصل درس:

حسابان مَلیوان متناهی‌بُعد، بسط آشوبی وینر-ایتو، انتگرال اسکرخود، عملگر اورنشتاین-اولنبک، عملگر مشتق، مشتق برحسب بسط آشوبی، عملگر انتگرال یا دیورژانس، حسابان با انتگرال وینر چندگانه، انتگرال ایتو، فرمول کلارک-اوکان، محک‌های پیوستگی مطلق و همواری قانون‌های احتمال، انتگرال تصادفی نسبت به نوفهٔ رنگی، معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی شامل نوفهٔ رنگی، منظم بودن جوابهای SPDE به تعبیر مَلیوان، فرمول بلک-شولز و کاربرد در ریاضی مالی.

مراجع پیشنهادی

1- Sanz-Sole, M., *Malliavin Calculus with Applications to Stochastic Partial Differential Equations*, CRC Press, EPFL Press, 2005.

2- Oksendal, B., An *Introduction to Malliavin Calculus with Applications to Economics*, University of Oslo, 1997.

عنوان درس	فارسی	فرآیندهای تصادفی کاربردی											
	انگلیسی	Applied Stochastic Processes											
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری							
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			۳	۴۸	نظریهٔ اندازه و کاربردها	
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

در درس فرآیند تصادفی دورهٔ کارشناسی با ابزار آنالیز مقدماتی به مطالعه فرآیند های مارکف می پردازیم. در این درس با توجه به اینکه درس دانشجویان درس نظریهٔ اندازه واحتمال را قبلا دیده اند با استفاده از ابزار قوی مانند مارتینگل وهمگرایی آن به مطالعه فرآیند های مارکف، فرآیند شاخه ای، فرآیند تجدید، وکاربرد های متنوع مارتینگل و فرآیند های مطرح شده در بالا می پردازیم

سرفصل درس:

توابع مولد وکاربردهای آن، آشنایی با فرآیندهای تصادفی و انواع آن، زنجیر های مارکف با پارامتر گسسته، معادلات چپمن کلموگرف، قدم‌زدن تصادفی ، فرآیندهای شاخه ای، فرآیندهای شاخه‌ای وابسته به سن، زنجیرهای مارکف با تعداد متناهی حالت و قضیه فروبینوس، فرآیند زاد و مرگ، زنجیر مارکف مونت کارلو، مارتینگل دمواور و زنجیر مارکف، تفاضل مارتینگلی و نامساوی‌های Hoeffding ، کاربردهای این نامساوی در bin packing کاربردهای مارتینگل‌ها و قضیه‌های همگرایی در زنجیرهای مارکف و فرآیند شاخه‌ای، مدل های ژنتیک، نامساوی والد، مساله قمار باز، کاربرد زنجیرهای مارکف در نظریهٔ صف، تعریف زنجیرهایمارکف زمان-پیوسته، توابع یا ماتریس‌های انتقال، معادلهٔچپمن-کلموگروف، زمان‌های پرش، ماتریس مولد، معادلاتپسرو و پیشروکلموگرف، خواص ارگودیکزنجیرهایمارکف، مروری بر پیچش توابع توزیع و خواص آن مروری بر تبدیل لاپلاس و خواص آن، تعریف فرآیند تجدید و خواص مقدماتی آن، معادلات تجدید، فرآیند سن و باقیماندهٔ عمر، قضیه کلیدی تجدید و قضیه بلکول، فرآیندهای تجدید مانا و خواص آن، تعریف فرآیندهای نوپیدایشی و خواص آن، معادلات تجدید و قضیهٔ اسمیت.

مراجع پیشنهادی:

1- Grimmett, G. and Stirzaker, D., *Probability and Random Processes*, Oxford Univ. Press, 2001.
2- Hoel P. G., Port, P. G. and C, J. Stone, *Introduction to stochastic Processes*, Waveland Pr Inc. 1986.
3- Karlin, S. and Taylor, H. M., *A First Course in Stochastic Processes*, 2nd Ed., Academic Press, 1975.
4- Pinsky, M. A. and Karlin, S., *An Introduction to Stochastic Modeling*, 4th Ed., Academic Press, 2010.
5- Resnick, S., *Adventures in stochastic Processes*, Birkhauser, 1999.
6- Serfozo, R., *Basics of Applied Stochastic Processes*, Springer, 2009.

عنوان درس	فارسی	فرآیندهای تصادفی مانای ضعیف									
	انگلیسی	Weakly Stationary Stochastic Processes									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری					
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

هدف این درس آشنایی دانشجویان با فرایند تصادفی ضعیف مانا، نگاه گوسی به فرایندهای مانا، پیشبینی، نظریهٔ طیفی فرایندهای مانا است.

سرفصل درس:

مروری بر تعریف فرآیندهای تصادفی و انواع آن، فرآیندهای مانای ضعیف و خواص آنها، تابع خودکواریانس و خود همبستگی، قضیهٔ بوختر، اندازه‌های تصادفی با نموهای متعامد (یا مستقل) و خواص آن، انتگرال تصادفی نسبت به اندازه‌های تصادفی با نموهای متعامد و قضیه‌های همگرایی مربوط به آن، نمایش طیفی برای فرآیندهای مانا، تجزیه وُلد، مروری بر فضاهای هیلبرت و عمگرهای ایزومتری، ایزومتری کلموگرف، پیش‌بینی سرهای زمانی مانا، فرآیندهای گوسی مانا و نمایش طیفی آنها، خواص فرآیندهای گوسی مانا، آشنایی با فرآیندهای میانگین متحرک خود بازگشتی و خواص آن و پیش‌بینی این فرآیندها.

مراجع پیشنهادی:

1- Ash, R. B. and Gardner, M. F., *Topics in Stochastic Processes*, Academic Press, 1975.
2- Brockwell, P. J. and Davis, A., *Time Series: Theory and Methods*, 2nd ed., Springer, 1991.
3- Lamperti, J., *Stochastic Processes: A Survey of the Mathematical Theory*, Springer, 1977.
4- Lindgren, G., *Stationary Stochastic Processes: Theory and Applications*, CRC Press, 2012.

عنوان درس	فارسی	فرآیندهای پخش										
	انگلیسی	Diffusion Processes										
نوع واحد											تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری					۳	۴۸	نظریهٔ‌معادلات دیفرانسیل تصادفی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

هدف این درس عبور دانشجویان از حسابان تصادفی مقدماتی به مطالب پیشرفته فرآیند پخش (انتشار) است. در این درس به مطالبی مانند مولد فرآیند پخش، مسئلهٔ مارتینگل‌ها و رابطهٔ فرآیند پخش فرآیند با معادلات دیفرانسیل پاره‌ای که بوسیله مولد این فرآیند بدست می‌آید، پرداخته می‌شود. در نهایت به فرآیند پخش مجرد اشاره خواهد شد.

سرفصل درس:

حل قوی و ضعیف معادلات دیفرانسیل تصادفی با ضرایب لیپشیتز، فرآیند پخش، خاصیت مارکف قوی و ضعیف، مولد فرآیند پخش ایتو، فرمول دینکین، معادلهٔ پسروکلموگرف، حلال مولد، فرمول فاینمن-کاتس، مسئلهٔ مارتینگل استروک-وارادان، قضیه‌های گیرسانف-مارتین، مسئلهٔ شرایط مرزی، مسئلهٔ دیریکله، مسئلهٔ پواسون، مسئلهٔ مخروط برای معادلات دیفرانسیل پاره‌ای بیضوی، همگرایی ضعیف، توزیع شرطی و قضیه‌های توسیع، فضای توابع پیوسته، مارتینگل و فشردگی، مسیرهای فرآیندهای مارکف منظم، اندازهٔ وینر منظم، اصل ماکزیمم برای معادلات دیفرانسیل سهموی، آشنایی با فرآیندهای پخش مجرد، فرآیندهای فلر و هانت، نظریهٔ پتانسیل و فرآیند ری.

مراجع پیشنهادی:

1- Chung, Kai Lai, Walsh, John B., *Markov Processes, Brownian Motion, and Time Symmetry*, Springer-Verlag, 2005.
2- Holden, E., Oksendal, B., Uboe, J., and Zhang, T., *Stochastic Partial Differential Equations*, 2nd Ed., Springe, 2010.
3- Revuz, Daniel, Yor, Marc, Continuous *Martingales and Brownian Motion*, Springer-Verlag, 1999.
4- Stroock, D. W. and Varadhan, S.R.S., *Multidimensional Diffusion Processes*, Springer-Verlag, 2006.

عنوان درس	فارسی	گراف‌های تصادفی									
	انگلیسی	Random Graphs									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریهٔ اندازه و کاربردها
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

آشنایی با گرافهای تصادفی و کاربردهای آن به‌خصوص در شبکه‌ها.

سرفصل درس:

- مدل گراف تصادفی اردوش-رنیی (حالت زیربحرانی، حالت ابربحرانی، مولفه بزرگ، قضیه حد مرکزی برای مولفه بزرگ، رفتار بحرانی، آستانه همبندی، دنباله درجات)
- مدل‌های اتصال وابسته به درجات (دنباله درجات، تجمع اندازه برای دنباله درجات، امید ریاضی درجه‌ها، ماکسیمم درجه‌ها)
- مدل‌های دنیای کوچک! (مدل واتس-استروگاتس، طول مسیرها، مدل‌های اپیدمی، مدل آبزینگ و پاتس، مدل تماسی)

مراجع پیشنهادی:

1- Bollobas, B., *Random graphs*. 2nd Ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
2- Friezeö. and Michał Karoński, *Introduction to Random Graphs*, Cambridge University Press, 2016.
3- Hofstad, R. van der., *Random graphs and complex networks. Vol. I*, Cambridge University Press, 2017.
4- Janson, S., Luczak, T. and Rucinski, A., *Random graphs*, John-Wiley, 2000.

عنوان درس	فارسی	نظریه نشت								
	انگلیسی	Percolation Theory								
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	نظریهٔ اندازه و کاربردها
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی			
حل تمرین: دارد				نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

آشنایی با نظریه نشت و کاربردهای آن

سرفصل درس:

- نشت راسی و یالی (مقدمات، پدیده‌های بحرانی، قانون صفر-یک و احتمال نشت، نابدیهی بودن آستانه نشت، نابرابری‌های FKGو BK، فرمول روسو، مقدار دقیق آستانه در نشت یالی دوبُعدی، اندازه متوسط خوشه‌ها، طول همبستگی، کاهش نمایی در حالت زیربحرانی، یکتایی خوشه نامتناهی در حالت ابربحرانی، نشت بر شبکه متناهی)
- نشت جهت‌دار (قضیه ارگودیک زیرجمعی، نشت جهت‌دار در بُعد دو، فرآیند یالی چپ و راست، مقایسه آستانه نشت جهت‌دار و بدون جهت،)
- نشت پیوسته (مقدمه‌ای بر نشت خالی و پُر، انواع پارامترهای بحرانی، نابدیهی بودن پارامترهای بحرانی، احتمال گذر و کاهش نمایی، معادل بودن پارامترهای بحرانی با تعاریف مختلف، کسر پوشیده شده فضا، یکتایی ناحیه بی‌کران خالی و پُر، وابستگی به شکل)

مراجع پیشنهادی:

1- Bollobás B. and Riordan, O., *Percolation*, Cambridge University Press, 2006.
2- Grimmett, G.,*Percolation*. 2nd Ed., Springer, 1999.
3- Hofstad, R. van der., *Random graphs and complex networks. Vol. 1*, Cambridge University Press, 2017.

عنوان درس	فارسی	فرآیندهای تصادفی مجموعه‌مقدار										
	انگلیسی	Set-Valued Stochastic Processes										
نوع واحد											تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری					۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد													

هدف:

آشنایی دانشجو با انگیزه‌های پیدایش توابع مجموعه‌مقدار در نظریهٔ‌کنترل، نظریهٔ بازیها، آنالیز ناهموار و اقتصاد ریاضی و مدلسازی نوع تصادفی مسائل مربوط به این حوزه‌ها به زبان شمول‌های دیفرانسیلی تصادفی.

سرفصل درس:

تعریف تابع مجموعه‌مقدار، دامنه و برد و نمودار تابع مجموعه‌مقدار، تعریف تصویرواورن و ویژگی های آن، تابع‌های مجموعه‌مقدار نیم‌پیوستهٔبالایی و نیم‌پیوستهٔ پایینی، تابع‌های مجموعه‌مقدار اندازه‌پذیر، انتخاب پیوسته، انتخاب اندازه‌پذیر، مجموعه‌های تجزیه‌پذیر، انتگرال توابع مجموعه‌مقدار، فرآیندهای تصادفی مجموعه‌مقدار، امید شرطی متغیرهای تصادفی مجموعه‌مقدار، انتگرال تصادفی مجموعه‌مقدار، شمول‌های دیفرانسیلی تصادفی، شمول‌های تابعی تصادفی، قضیه‌های وجود جواب برای شمول‌های دیفرانسیلی تصادفی، شمول‌های دیفرانسیلی پاره‌ای، کاربرد آنالیز تصادفی مجموعه‌مقدار در مسائل کنترل بهینهٔ تصادفی.

مرجع پیشنهادی:

1- Kisielewicz, M., *Stochastic Differential Inclusions and Applications*, Springer-Verlag, New York, 2013.

عنوان درس	فارسی	روشهای عددی در معادلات دیفرانسیل تصادفی											
	انگلیسی	Numerical Methods in SDE's											
نوع واحد											تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری					۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد											

هدف:

هدف از این درس، آشنایی دانشجویان با روش‌های حل عددی معادلات دیفرانسیل تصادفی و کاربردهای آنها در مواجهه با مسایل کاربردی در شاخه‌های مختلفی چون فیزیک، مکانیک، مالی و غیره خواهد بود.

سرفصل درس:

مروری اجمالی بر حسابان تصادفی و تعاریف انتگرال ایتو و استراتونویچ، خواص حرکت براونی و بررسی روش‌های مختلف برای شبیه‌سازی مسیرهای آن، بررسی خواص جواب یک معادله دیفرانسیل تصادفی با نویز گاوسی و نویز پواسونی، معرفی بسط تیلور-ایتو تصادفی و بدست آوردن روش اویلر-مارویاما و روش میلشتاین، معرفی مفهوم سازگاری برای طرح‌های عددی تصادفی، بررسی مفاهیم مرتبه همگرایی قوی و ضعیف، معرفی خانواده روش‌های رونگه-کوتای تصادفی، معرفی خانواده روش‌های چند-گامی تصادفی، معرفی مفهوم پایداری تصادفی و انواع آن (پایداری میانگین مربعات، پایداری مجانبی، پایداری نمایی، معرفی روش‌های با طول گام متغیر برای گسسته‌سازی معادلات دیفرانسیل تصادفی، کاربردهای معادلات دیفرانسیل تصادفی در فیزیک، مکانیک، مالی و سایر شاخه‌ها.

مراجع پیشنهادی:

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. Milstein G. (1995). *Numerical Integration of Stochastic Differential Equations*, Dordrecht, Kluwer.
4. Platen, E. & Bruti-Liberati, N. (2010). *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations with Jumps in Finance*, Springer.

عنوان درس	فارسی	روشهای عددی در معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی									
	انگلیسی	Numerical Methods in SPDE's									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	نظریهٔ معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

هدف از این درس، آشنایی دانشجویان با روش‌های حل عددی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی و کاربردهای آن‌ها در بررسی مدل‌های ریاضی پدیده‌های طبیعی مانند انتقال حرارت و موج و روش‌های عددی در تحلیل مسائل ریاضی مالی است.

سرفصل درس:

مروری بر آنالیز عددی شامل دورهٔ روش تفاضلات متناهی، روش عناصر متناهی و نتایج اساسی در نظریهٔ تقریب، آشنایی با معادلهٔ دیفرانسیل تصادفی انتقال حرارت (سهموی) و معادلهٔ دیفرانسیل تصادفی موج (هذلولوی)، مثالهای پایه‌ای از این معادلات، خوش-طرح بودن، وجود و یکتایی جواب، بررسی هموارای جواب تصادفی و گشتاورهای آن، تقریب عددی مسیرهای جواب با روش تفاضلات متناهی (در زمان)، تقریب عددی مسیرهای جواب با روش عناصر متناهی (در مکان)، شبیه سازی به کمک روش مونت-کارلو، نرخ همگرایی قوی و ضعیف، محاسبهٔ خطای گشتاور مرتبهٔ دوم و مرتبهٔ pام، حل عددی معادلات تصادفی با نوفهٔ لوی.

مراجع پیشنهادی:

1- Walsh, J.B., *Finite Element Methods for Parabolic Stochastic PDSE's*, in Potential Analysis, 23(2005), 1-43.

2-Lord, G.J., and Powell Catherine, E., and Shardlow, T., *An Introduction to Computational Stochastic PDE's*. Cambridge University Press, 2014.

عنوان درس	فارسی	آنالیز تصادفی روی خمینه‌ها									
	انگلیسی	Numerical Solutions for SDE									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری					
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد		۳	۴۸	انتگرال تصادفی و هندسهٔ خمینه‌ها	

هدف:

هدف از این درس، آشنایی دانشجویان با هندسهٔ دیفرانسیل تصادفی، چگونگی تعریف حرکت براونی روی خمینه‌ها و آنالیز تصادفی روی خمینه‌ها است.

سرفصل درس:

آشنایی با هندسهٔ دیفرانسیل تصادفی، میدان‌های تانسوری، انتگرال‌های مسیری تصادفی، مارتینگل روی خمینه‌ها، مارتینگل روی زیرخمینه‌ها، عملگر بلترامی-لاپلاس، حرکت براونی رروی خمینه‌ها، مثال‌هایی از حرکت براونی، تابع فاصله، فرآیندهای شعاعی، نیمگروه انتقال حرارات و حرکت براونی، رفتارهای مجانبی، پل براونی، مسألهٔ دیریشله، خمینه‌های شعاعی متقارن، جفت‌شدگی حرکت براونی، معادلهٔ انتقال حرارت روی فرم‌های دیفرانسیلی، فرمول‌های گاوس-بونه- چرن، جبرهای کلیفورد و گروه‌های اسپین، قضیهٔ شاخص عطیه-سینگر، هولونومی براونی، آنالیز روی فضاهای مسیری، قضیهٔ نمایش مارتینگلی، نامساوی‌های سوبولف لگاریتمی.

مراجع پیشنهادی:

1- Elworthy, K.D., *Stochastic Differential Equations on Manifolds*, London Math. Soc. Lecture Note Series, Cambridge University Press, 1982.
2- Hsu, Elton P., *Stochastic Analysis on Manifolds*, AMS, 2001.

عنوان درس	فارسی	نظریهٔ ریاضی بازی‌ها									
	انگلیسی	Mathematical Game Theory									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	نظریهٔ اندازه و کاربردها	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

در این درس دانشجو با نظریهٔ بازی‌ها و کاربردهای آن با رویکرد ریاضی آشنا می‌شود.

سرفصل درس:

مقدمه‌ای بر نظریهٔ تصمیم، تابع مطلوبیت و انواع آن، بازی‌های استراتژیک (بازی‌های دو نفره با مجموع صفر، تعادل نش در بازی‌های استراتژیک، استراتژی ترکیبی از بازی‌های متناهی، ...)، بازی‌های هماهنگ (استراتژی، تعادل نش، تعادل دنباله‌ای، ...)، بازی‌ها با اطلاعات ناقص (بازی‌های بیزی، تعادل نش در بازی‌های بیزی، کاربردهای بازی‌های بیزی)، بازی‌های مشارکتی (تعادل نش، بازی‌های محدب، بازی‌های رقابتی، تعادل نش در بازی‌های رقابتی)، مقدمه‌ای بر بازی‌های دیفرانسیلی(مشتق‌پذیر) و بازی‌های تصادفی.

مراجع پیشنهادی:

1- González-Díaz, J., García-Jurado, I. and Fiestras-Janeiro, M. G., *An Introductory Course on Mathematical Game Theory*, AMS, 2010.
2- Mazalov, V., *Mathematical Game Theory and Applications*, John Wiley, 2014.
3- Yeung D.W.K., and Petrosjan L.A., *Cooperative Stochastic Differential Games*. Springer-Verlag, 2006.

عنوان درس	فارسی	فرآیندهای تصادفی پایدار									
	انگلیسی	Stable Stochastic Processes									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

در این درس دانشجو بافرایندهای پایدار و برخی کاربردهای ان آشنا می‌شوند

سرفصل درس:

متغیرهای تصادفی پایدار (چهار تعریف متفاوت آن)، تابع مشخصهٔ متغیر تصادفی پایدار، خواص توزیعی متغیرهای تصادفی پایدار، امید ریاضی متغیرهای تصادفی پایدار، بردارهای تصادفی پایدارو خواص توزیعی آن‌ها، متغیرهای تصادفی پایدار مختلط‌مقدار و خواص آن‌ها، اندازه‌های تصادفی پایدار و خواص آن‌ها، انتگرال تصادفی نسبت به اندازه‌های تصادفی پایدار و خواص آن‌ها (در حالت حقیقی و مختلط‌مقدار)، حرکت پایدار، فرآیند پایدار کسری و خواص آن، نمایش طیفی فرآیندهای پایدار و خواص آن، برخی کاربردهای فرآیند پایدار در مطالعهٔ فضاهای باناخ، مروری بر فرآیندهای ماکس-پایدار.

مراجع پیشنهادی:

1- Janicki, A. and Weron, A., *Simulation and Chaotic Behavior of α-Stable Stochastic Processes*, Marcel - Dekker, 1994.
2- Nikias, C. L. and Shao, M., *Signal Processing with Alpha-Stable Distributions and Applications*, Wiley, 1995.
3- Nolan, J. P., *Stable Distributions - Models for Heavy Tailed Data*, Birkhauser, 2017.
4- Samorodnitsky, G. and Taqqu, M., *Stable Non-Gaussian Random Processes*, Chapman and Hall, 1995.
5- Sato, K., *Levy Processes and Infinitely Divisible Distributions*. 2nd Ed., Cambridge University Press, 2016.
6- Uchaikin, V. V. and Zolotarev, V. M., *Chance and Stability*. Utrecht, VSP Press, 1999.

عنوان درس	فارسی	روشهای احتمالاتی در آنالیز ریاضی											
	انگلیسی	Probabilistic Methods in Analysis											
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

در این درس دانشجویان با برخی از کاربردهای مهم روش‌های تصادفی و استفاده از ابزارهای نظریهٔ احتمال در آنالیز ریاضی مانند کاربرد در نظریهٔ پتانسیل، انتگرال‌های تکین و نظریهٔ توابع تحلیلی آشنا می‌شوند.

سرفصل درس:

دورهٔ مفاهیمی از نظریهٔ احتمال مانند مارتینگل‌ها و انتگرال تصادفی، مسألهٔ دیریشله، ظرفیت شوکه، پتانسیل نیوتنی و توابع گرین، اصل مرزی هارنک، مرز مارتین و دامنه‌های لیپ‌شیتز، مسألهٔ طول‌عمر شرطی، قضیهٔ فاتو، تکیه‌گاه اندازهٔ همساز، توابع ماکسیمال، تبدیل‌های هیلبرت، تبدیل‌های ریس، توابع لیتلوود-پالی، عملگرهای انتگرالی تکین، فضای ، ناوردایی همدیس، برد توابع تحلیلی، رفتار مرزی توابع تحلیلی، اندازهٔ همساز.

مرجع پیشنهادی:

1- Bass, Richard, F., *Probabilistic Techniques in Analysis*, Springer-Verlag, 1995.

عنوان درس	فارسی	شبیه‌سازی									
	انگلیسی	Simulation									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	نظریهٔ اندازه و کاربردها
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

توانایی برای شبیه‌سازی کامپیوتری پدیده‌ها و مسأله‌های تصادفی، آشنایی با مسائل نظری شبیه‌سازی و روش‌های کارامدتر کردن شبیه‌سازی.

سرفصل درس:

تولید اعداد تصادفی، شبیه‌سازی متغیرهای تصادفی گسسته، شبیه‌سازی متغیرهای تصادفی پیوسته، شبیه‌سازی بردارهای تصادفی گاوسی، تحلیل آماری نتایج شبیه‌سازی، روش‌های کاهش واریانس (متغیرهای متضاد، متغیر کنترل، شرطی‌سازی، نمونه‌گیری طبقه‌ای، نمونه‌گیری متناسب با اهمیت)، شبیه‌سازی به‌کمک زنجیرهای مارکوف، MCMC (الگوریتم متروپولیس- هستینگز، الگوریتم نمونه‌گیری گیبس).

مراجع پیشنهادی:

1- Casella, G. and George, E., *Monte Carlo Statistical Methods*, 2nd ed., Springer, 2004.

2- Liu, J., S., *Monte Carlo Strategies in Scientific Computing*, 2nd ed., 2004.

3- Ross, S., *Simulation*, Academic Press, 53d, 2013.

عنوان درس	فارسی	ماتریس‌های تصادفی									
	انگلیسی	Random Matrices									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

آشنایی با مدل‌های اولیه ماتریس‌های تصادفی، تحلیل طیفی، روش‌های تحلیل و نقاط ضعف و قوت آنها.

سرفصل درس:

مقدمات احتمال (قانون اعداد بزرگ، قضیهٔ حد مرکزی، فضایای تجمع اندازه)، مقدمات جبرخطی (مقادیر ویژه، عملگرها و ماتریس‌های هرمیتی، قضیهٔ نمایش طیفی، قضیه minmax کورانت-فیشر، نابرابری‌های طیفی، مقادیر تکین)، مدل‌های ماتریس تصادفی (مدل .i.i.d، مدل متقارن ویگنر، مدل هرمیتی ویگنر، مدل گاوسی متعامد GOE، مدل گاوسی یکانی GUE، ...)، رفتار حدی نُرم ماتریس تصادفی (روش گشتاورها)، قانون نیم‌دایره (روش گشتاروها، تبدیل اشتیلیس)، توزیع توأم مقادیر ویژه در ماتریس‌های گاوسی، توزیع توأم مقادیر ویژه در ماتریس‌های یکانی، توزیع مارچنکو-پاستور برای مقادیر تکین، فرآیندهای دترمینانی، احتمال آزاد.

مراجع پیشنهادی:

1- G. Anderson, A. Guionnet, O. Zeitouni, *An introduction to Random Matrices*, Cambridge Studies in Advanced Mathematics (118), Cambridge University Press, Cambridge, 2010.

2- Terence Tao, *Topics in Random Matrix Theory*, Graduate Studies in Mathematics, American Mathematical Society, 2012.

عنوان درس	فارسی	اصل انحراف‌های بزرگ و کاربردهای آن									
	انگلیسی	Large Deviations with Applications									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

در این درس به مطالعه اصل انحرافات بزرگ برای فرایندهای تصادفی گسسته زمان و فرآیندهای تصادفی با پارامتر پیوسته پرداخته می‌شود.اصلانحرافات بزرگ به مطالعه قضایای حدی در فرایندهای تصادفی می‌پردازد که دارای کاربردهای فراوانی از جمله در بیمه، دستگاه‌های دینامیکی، فیزیک آماری و شبیه‌سازی‌های آماری است.

سرفصل درس:

اصل انحرافات بزرگ برای دنباله متغیرهای مستقل و هم‌توزیع، قضیه کرامر، قضیه سانوو برای اندازه های تجربی، نظریهٔ عمومی اصل انحرافات بزرگ در فضاهای مجرد، اصل لاپلاس، لم وارادان، اصل انقباض، اصل انحرافات بزرگ برای دنباله متغیرهای وابسته، قضیه گارتنر- الیس، کاربردهای این نظریهٔ در آزمون‌های آماری و قدم‌زدن تصادفی در محیط تصادفی، اصل انحرافات بزرگ برای حرکت براونی و قضیه شیلدر، اصل انحرافات بزرگ برای فرآیندهای پخش.

مراجع پیشنهادی:

1- Hollander, F., *Large deviations*, Fields Institute Monographs, American Mathematical Society, 2000.
2- Dembo, A. and Zeitouni, O., *Large Deviations, Techniques and Applications*, 2nd Ed., Springer-Verlag, 2009.
3- Freidlin, M. and Wentzell M., *Random Perturbation of Dynamical Systems*, Springer-Verlag, 1998.
4- Deuschel, and Stroock, D., *Large Deviations,* Academic Press, New York, 1989.

عنوان درس	فارسی	میدان‌های تصادفی									
	انگلیسی	Random fields									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد									

هدف:

آشنایی با مبحث میدان‌های تصادفی، نمایش‌ها و ویژگی‌های هندسی تحقق‌های آن.

سرفصل درس:

میدان‌های تصادفی روی فضای اقلیدسی، توزیع‌های متناهی-بُعد و میدان‌های گاوسی، میدان‌های تصادفی مانا و همسانگرد، تابع‌های کوواریانس مهم، تبدیل-های خطی میدان‌های تصادفی گاوسی، مشتق‌پذیری و پیوستگی میدان‌های تصادفی و به‌ویژه گاوسی و مشتق میدان‌های تصادفی گاوسی، بسط‌های متعامد و بسط کارهونن-لوئه‌و، انتگرال تصادفی چند پارامتری، نمایش طیفی و گشتاورهای طیفی، میدان‌های تصادفی گاوسی-مارکوفی (GMRF)، ویژگی شرطی GMRF، میدان‌های تصادفی گاوسی-مارکوفی ناسره، همواری میدان‌های تصادفی، شرط هلدر و میدان‌های تصادفی نمایه- β، صفحهٔ براونی و میدان‌های کسری، مسألهٔ گذر از سطح (level crossing) در میدان‌های تصادفی گاوسی و کسینوسی، مسألهٔ ماکسیمای موضعی، احتمال‌های برونگشت و روش جمع دوگانه، هندسهٔ صحیح و مشخصهٔ اویلر (و توابع مرس)، گشتاورهای مشخصهٔ اویلر مجموعه‌های برونگشت، انتگرال اویلر و مسألهٔ شمارش.

مراجع پیشنهادی:

1- Adler, R. J. and Jonathan E. T., *Random fields and geometry*. Springer-Verlag, 2009.

3- Yaglom, A. M., *Correlation theory of stationary and related random functions: Supplementary notes and references*. Springer-Verlag, 2012.

3- Rue, H. and Leonhard H., *Gaussian Markov random fields: theory and applications*. CRC Press, 2005.

عنوان درس	فارسی	فرآیندهای نقطه‌ای										
	انگلیسی	Point Processess										
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری						
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
										۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف: آشنایی با مباحث نظری پیشرفته در فرآیندهای نقطه‌ای فضایی و کاربردهای آن‌ها

سرفصل درس:

مشخص‌سازی فرآیندهای نقطه‌ای (اندازه‌های شمارشی، مجموعه‌های تصادفی)، توزیع فرآیندهای نقطه‌ای، توزیع‌های شرطی پالم، الگوهای نقطه‌ای و انواع آن (خوشه‌ای، منظم، تصادفی کامل)، همگنی و ناهمگنی، همسانگردی و ناهمسانگردی، پایایی (Stationarity گاه تحت عنوان ایستایی نیز خوانده می شود) و ناپایایی، گشتاورها و خلاصه‌آماره‌ها (شامل تابع شدت، تابع شدت شرطی پاپانجلو، تابع Kی ریپلی (و تابع L)، توابع نزدیک‌ترین همسایگی، تابع فضای خالی) و برآوردگرهای آن‌ها، اندازه‌های گشتاوری کاهش‌یافته، روش‌های تصحیح اثرات لبه (همچون روش‌های تصحیح انتقالی، همسانگرد و آمیخته)، تبدیل‌های فرآیندهای نقطه‌ای (نگاشتن، برهم‌نهی، تنک‌سازی)، فرآیندهای نقطه‌ای متناهی و نامتناهی، استنباط‌های میتنی بر شبیه‌سازی برای فرآیندهای نقطه‌ای (ناپارامتری، درستنمایی، بیزی)، انواع فرآیندهای نقطه‌ای فضایی شامل فرآیندهای نقطه‌ای پواسون، فرآیندهای نقطه‌ای دوجمله‌ای، فرآیندهای نقطه‌ای نیمن-اسکات، فرآیندهای نقطه‌ای گیبس، فرآیندهای نقطه‌ای کاکس، فرآیندهای نقطه‌ای مارکفی (فرآیندهای نقطه‌ای زوجی (pairwise) شامل فرآیندهای نقطه‌ای نقطه‌ای نرم‌مغز، سخت‌مغز، ...)، فرآیندهای نقطه‌ای ناحیه-برهم‌کنشی (Area Interaction)، فرآیندهای نقطه‌ای دترمینانی، فرآیندهای نقطه‌ای چندمتغیره، فرآیندهای نقطه‌ای نشاندار (یا نشان‌های پیوسته و گسسته)، جانهی داده‌های گمشده در الگوهای نقطه‌ای، روش‌های برازش مدل‌های فرآیندهای نقطه‌ای (شامل روش Minimum Contrast، روش Composite likelihood و رویکردهای MCMC در چارچوبی بیزی)، روش‌های ارزیابی نیکویی برازش مدل‌های فرآیندهای نقطه‌ای (آزمون‌های پوشش و انحراف، آنالیز مانده‌ها)، تکنیک‌های MCMC مورد نیاز در استنباط آماری فرآیندهای نقطه‌ای از جمله شبیه‌سازی کامل (Perfect Simulation)، الگوریتم تولد و مرگ، الگوریتم متروپولیس- هیستینگس، الگوریتم‌های هیبرید*، فرآیندهای نقطه‌ای فضایی-زمانی، آشنایی با بسته‌ی نرم‌افزاری spatstat در نرم‌افزار R

* از آنجا که ممکن است فرصتی برای تدریس این روش‌ها نباشد، آشنایی با این تکنیک‌ها را می‌توان به عنوان پیش‌نیاز این درس مطرح کرد.

مراجع پیشنهادی:

1- Møller, J., Waagepetersen, R., *Statistical Inference and Simulation for Spatial Point Processes*, CRC, 2004.
2- Chiu, S. N., Stoyan, D., Kendall, W. S., Mecke, J., *Stochastic Geometry and Its Applications*, 3rd Edition, Wiley, 2013.
3- Stoyan, D., and Stoyan, H., *Fractals, Random Shapes and Point Fields: Methods of Geometrical Statistics*, Wiley, 2004.
4- Baddeley, A., Rubak, E., Turner, R., *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R*, CRC, 2015.
5- Daley, D.J., Vere-Jones, D., *An Introduction to the Theory of Point Processes*, Springer, 1988 (2008).
6- Diggle, P.J., *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*, 2nd Edition, Arnold, 2003.

عنوان درس	فارسی	معادلات دیفرانسیل تصادفی پسرو									
	انگلیسی	Backward Stochastic Differential Equations									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

مطالعهٔ معادلات دیفرانسیل پسرو، انواع توسعه یافتهٔ آن و آشنایی با کاربردهای این دسته از معادلات دیفرانسیل.

سرفصل درس:

فرآیند ایتوی پسرو، معادلات دیفرانسیل تصادفی پسرو با زمان تهایی قطعی،مسألهٔ وجود و یکتایی جواب، قضیهٔ مقایسه، معادلات دیفرانسیل پسرو با ضرایب لیپ‌شیتز، معادلات دیفرانسیل پسرو با ضرایب یکنوا، معادلات دیفرانسیل پسرو خطی، معادلات دیفرانسیل پسرو با زمان تهایی تصادفی، کاربرد در نظریهٔ کنترل بهینهٔ تصادفی، کاربرد در ریاضیات مالی مانند (ارزشگذاری مطالبات مشروط و نظریهٔ مطلوبیت بازگشتی)، کاربرد در معادلات دیفرانسیل پاره‌ای ، کاربرد در هندسهٔ دیفرانسیل.

مراجع پیشنهادی:

1- Pardoux, Etienne, Rascanu, A., *Stochastic Differential Equations, Backward SDE's, Partial Differential Equations*, Springer-Verlag, Switzerland, 2014.
2- Young, J., and Ma, J., *Forward-Backward Stochastic Differential Equations and their Applications*, Springer LNM, 2007.

عنوان درس	فارسی	عملگرهای تصادفی									
	انگلیسی	Stochastic operators									
نوع واحد								تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز	
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی و آنالیز تابعی	
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

هدف:

آشنایی با روش های احتمالاتی در نظریه عملگرها

سرفصل درس:

اندازه روی فضاهای لهستانی، بردارهای (عناصر تصادفی) روی فضای لهستانی، مثال‌های مهم فضای لهستانی، قضیه اسکروخود برای عناصر تصادفی روی فضای لهستانی، اندازه‌های منظم، خانواده اندازه‌های تنگ، تکیه‌گاه یک اندازه، همگرایی ضعیف روی فضای لهستانی، قضیه نگاشت پیوسته، قضیه اسکروخود، متریک پروهورف، قضیه پروهورف، فشردگی نسبی، تابع مشخصه (یگانگی، پیوستگی لوی)، متغیرهای تصادفی باناخ-مقدار، متغیرهای تصادفی عملگر-مقدار، انتگرال بوخنر و ویژگی‌های آن،عملگر میانگین وعملگر کوواریانس، عملگرهای خطی تصادفی، عملگرهای تصادفی گاوسی، عملگرهای تصادفی متقارن، عملگرهای تصادفی خودالحاقی، نمایش طیفی عملگرهای تصادفی متقارن، مارتینگل‌ها در فضاهای باناخ، همگرایی مارتینگل‌ها در فضاهای باناخ، مارتینگل‌های عملگر-مقدار، فرآیند ویتر روی فضاهای باناخ، انتگرال تصادفی نسبت به مارتینگل‌های عملگر-مقدار، معادلات عملگری تصادفی خطی، آشنایی با نیمگروه‌های عملگرهای تصادفی، آشنایی با نظریهٔ نقطهٔ ثابت تصادفی، معادلات انتگرال خطی تصادفی، معادلات انتگرال غیرخطی تصادفی

مراجع پیشنهادی:

1- Skorohod, A.V., *Random Linear Operators*, Reiderl Pub. Co., Dordrecht, 1984.
2-Bharucha-Reid, A.T., *Random Integral Equations*, Academic Press, 1972.
3- Da Prato G., *An Introduction to Infinite Dimensional Analysis*, Springer-Verlag, 2006.

عنوان درس	فارسی	روش‌های احتمالاتی در ترکیبیات									
	انگلیسی	Probabilistic Methods in Combinatorics									
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	نظریهٔ اندازه و کاربردها
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

آشنایی با کاربرد احتمال در نظریه ترکیبیات

سرفصل درس:

مقدمات و احتمال و امکان!، خطی بودن امید ریاضی، دگرگونی، گشتاور دوم، لم موضعی، نابرابری‌های همبستگی، تجمع اندازه و مارتینگل‌ها، پارادایم پواسون، انتروپی و شمارش، گراف‌های تصادفی، مساله دیسکریپنسی

مرجع پیشنهادی:

1- Alon, N. and Spencer, J., *Probabilistic Methods in Combinatorics*, Wiley Series in Discrete Mathematics and Optimization, 4th Edition 2015

عنوان درس	فارسی	روش‌های احتمالاتی درمدل‌های ژنتیکی											
	انگلیسی	**Probabilistic Methods in Genetics**											
نوع واحد										تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری				۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی					
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد						

هدف:

بهره‌گیری از روش‌های احتمالاتی درمطالعه مدل‌های ژنتیک جمعیت

سرفصل درس:

فرآیندهای شاخه‌ای، فرایندهای بیانیمه-گالتن-واتسون، فرایندهای بیانیمه-گالتن-واتسون زمان پیوسته، همگرایی به فرایند شاخه‌ای پیوسته، فرایندهای شاخه‌ای پیوسته، جمعیت‌های اندازه-ثابت ، ساده‌ترین مدل رایت-فیشر، مدل رایت-فیشر با جهش ، مدل رایت-فیشر با گزینش، ادغام (coalescent) ۳،۱۰ مدل Cannings، ۳،۲ ادغام کینگمن (Kingman's coalescent)، مدل‌های ریاضی برای الل‌ها (alleles)، مدل infinitely-many alleles (imam)، مدل infinitely-many sites (imsm)

مراجع پیشنهادی:

1- Etheridge, A., Some Mathematical Models from Population Genetics, Springer, 2011.
2- Etienne, P., Probabilistic Models of Population Evolution, Springer, 2016.
3- Haccou, P., Jagers, P. and Vatutin, V. A., Branching Processes: Variation, Growth and Extinction of Populations. Cambridge University Press, 2005.

عنوان درس	فارسی	هندسه تصادفی								
	انگلیسی	Stochastic Geometry								
نوع واحد										
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری		تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی
حل تمرین: دارد		نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد								

هدف:

آشنایی با مباحث پایه‌ایهندسه تصادفی

سرفصل درس:

- فرآیندهای نقطه‌ای (فرآیند نقطه‌ای به عنوان مجموعه گسسته، فرآیند نقطه‌ای به عنوانانداره تصادفی، برچسب‌گذاری، اندازه‌های گشتاوری، تابعک‌های مولد، فرآیند پواسون)
- فرآیندهای نقطه‌ای ایستا (تعریف ایستایی، اندازه پالم)
- مجموعه‌های بسته تصادفی (مدلی بولی، فرایندهای ذره‌ای)
- فرآیندهای تخت (فرایندهای خطی، فرایندهای ابرصفحه‌ای)
- کاشی‌کاری تصادفی (کاشی‌کاری ورونوی، کاشی‌کاری دلونی)
- گراف‌های تصادفی هندسی، نشت گسسته و پیوسته
- مدل‌های بیشتری از فرآیندهای نقطه‌ای (کاکس، دترمینانی، ...)
- فرآیندهای نقطه‌ای و کاشی‌کاری در ابعاد بالا
- استربولوژی

مراجع پیشنهادی:

4- D. Stoyan, W. Kendall & J. Mecke, *Stochastic Geometry and its Applications*, Wiley, 3rd ed, 2013.
5- R. Schneider and W. Weil, *Stochastic and Integral Geometry*, Springer, 2008.
6- D. Daley & D. Vere-Jones, *Introduction to the Theory of Point Processes*, 2nd ed, Springer, 2008.

عنوان درس	فارسی	احتمال روی فضاهای باناخ											
	انگلیسی	Probability in Banach Spaces											
نوع واحد											تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری					۳	۴۸	آشنایی با آنالیز تصادفی و آنالیز تابعی
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی						
حل تمرین: دارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد							

هدف:

آشنایی با احتمال روی فضاهای باناخ و روشهای احتمالاتی در مطالعه فضاهای باناخ

سرفصل درس:

متغیرهای تصادفی باناخ مقدار، متغیرهای تصادفی باناخ مقدار رادون ، متغیرهای تصادفی با مقادیری در فضاهای باناخجدایی‌پذیر و خواص آنها، انتگرال باختر و خواص آن، امید ریاضی و عملگرکواریانس و خواص آن، نامساوی‌های احتمالی، پدیده تجمیع اندازه، متغیرهای تصادفی باناخ مقدار گوسی و خواص آن، متغیرهای تصادفی باناخ مقدار متقارن پایدار و خواص آن، مجموعه متغیرهای تصادفی باناخ مقدار و قضایای مربوط (قوانین ضعیف و قوی اعداد بزرگ و قضیه سه سریو...)، فضاهای Type و Cotype، l_p^n زیرفضاهای باناخ، گزاره های احتمالاتی در حضور Cotype و Type ،اندازههای برداری و خواص آن، انتگرال نسبت به اندازه‌های برداری، مارتینگال‌ها با مقادیری در فضای باناخ و خواص آن، کاربرد نظریه مارتینگال در برقراری خاصمیترادونتیکودیم در فضاهای باناخ.

مراجع پیشنهادی:

1- Hytönen, T., van Neerven, J., Veraar, M., Weis, L., *Analysis in Banach Spaces, Volume I: Martingales and Littlewood-Paley Theory*, Springer, 2016.
2- Ledoux, M. and Talagrad, M., *Probability in Banach Spaces*, Springer, 1991.
3- Pisier, G., *Martingales in Banach Spaces*, Cambridge University press, 2016.

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه در فرایندهای تصادفی									
	انگلیسی	Special Topics in Stochastic Processes									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری		عملی			
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

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

عنوان درس	فارسی	مباحث ویژه در نظریه احتمال									
	انگلیسی	Special Topics in Probability Theory									
نوع واحد									تعداد واحد	تعداد ساعت	دروس پیش‌نیاز
پایه		اصلی		تخصصی		اختیاری			۳	۴۸	اجازه گروه
نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی	نظری	عملی				
حل تمرین: ندارد						نیاز به اجرای پروژه عملی: ندارد					

درسی است در سطح کارشناسی ارشد یا بالاتر در زمینه تخصصی **نظریه احتمال** 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.