



جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

شورای گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی



برنامه درسی رشته

علوم کامپیوتر

Computer Sciences

مقطع دکتری تخصصی



گروه علوم پایه

پیشنهادهای دانشگاه صنعتی شریف



بیت

نام رشته: علوم کامپیوتر

عنوان گرایش: -

گروه: علوم پایه

دوره تحصیلی: دکتری تخصصی

کار گروه تخصصی: علوم ریاضی

نوع مصوبه: بازنگری

پیشنهادی: دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

برنامه درسی بازنگری شده دوره دکتری تخصصی رشته علوم کامپیوتر، در جلسه شماره ۱۶۴ تاریخ ۱۴۰۰/۱۲/۰۸ کمیسیون برنامه ریزی آموزشی به شرح زیر تصویب شد:

ماده یک- این برنامه درسی برای دانشجویانی که پس از تصویب این برنامه درسی وارد دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی می شوند، قابل اجرا است.

ماده دو- این برنامه درسی در سه فصل: مشخصات کلی، جدول های واحدهای درسی و سرفصل دروس تنظیم شده است و برای اجرا در دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی پس از اخذ مجوز پذیرش دانشجو از شورای گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی و سایر ضوابط و مقررات مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، ابلاغ می شود.

ماده سه- این برنامه درسی نمی تواند به صورت همزمان با برنامه درسی علوم کامپیوتر دارای گرایش، در یک دانشگاه یا موسسه آموزش عالی پذیرش دانشجو داشته باشد.

ماده چهار- این برنامه درسی از شروع سال تحصیلی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ به مدت ۵ سال قابل اجرا است و پس از آن، در صورت تشخیص کارگروه تخصصی مربوطه، نیاز به بازنگری دارد.

دکتر محمد رضا آهنگیان

دبیر کمیسیون برنامه ریزی آموزشی





جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای کتشر و برنامه ریزی آموزش عالی



برنامه درسی رشته

علوم کامپیوتر

COMPUTER SCIENCE

در مقطع دکتری

- بدون گرایش
- تهیه کننده: دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه صنعتی شریف



فصل اول

مشخصات کلی برنامه درسی



الف) مقدمه

دوره دکتری رشته علوم کامپیوتر به عنوان بالاترین مقطع تحصیلی دانشگاهی در رشته علوم کامپیوتر، به بررسی علمی مباحث نظری و عملی محاسبات مربوط به کامپیوتر می‌پردازد. دوره دکتری در رشته علوم کامپیوتر در دانشکده علوم ریاضی دانشگاه صنعتی شریف با توجه به اهداف عالی این دانشکده و تخصص اعضای هیات علمی آن تنظیم و در چارچوب مقررات دوره‌های دکتری دانشگاه صنعتی شریف و دانشکده علوم ریاضی اجرا می‌شود.

ب) مشخصات کلی، تعریف و اهداف

دوره دکتری در رشته علوم کامپیوتر در دانشکده علوم ریاضی دانشگاه صنعتی شریف دوره‌ای تخصصی و بدون گرایش است و زمینه تخصصی دانش‌آموختگان این دوره بر اساس دروس اخذ شده و موضوع رساله دکتری ایشان در پایان دوره تحصیلی مشخص می‌شود. هدف از دوره دکتری علوم کامپیوتر، تربیت نیروهای متخصص با مهارت‌های ویژه در زمینه‌های مختلف علوم کامپیوتر است، به گونه‌ای که دانش‌آموختگان توانایی‌های تدریس و انجام تحقیق در حداقل یک زمینه تخصصی را در دانشگاه‌ها را به دست آورده یا فعالیت حرفه‌ای در بالاترین سطح علمی در این رشته را در واحدهای پژوهشی یا صنعتی به دست آورند. دوره دکتری در رشته علوم کامپیوتر از دو مرحله آموزشی و پژوهشی به شرح زیر تشکیل می‌شود.

مرحله آموزشی

پس از پذیرش دانشجو در این دوره دکتری، مرحله آموزشی در این دوره با گذراندن دروس جبرانی (در صورت لزوم) و دروس تخصصی و همچنین گذراندن آزمون جامع در یک موضوع اصلی و یک موضوع فرعی پایان می‌یابد. موضوع‌های اصلی و فرعی آزمون جامع لزوماً منطبق با دروس گذرانیده شده توسط دانشجو نیستند و ریز مواد آزمون جامع برای موضوع اصلی (در حد 8 واحد درسی) و برای موضوع فرعی (در حد 4 واحد درسی) با پیشنهاد استاد راهنما و تصویب شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده نهایی می‌شود.

مرحله پژوهشی

این مرحله پس از پایان مرحله آموزشی و گذراندن موفقیت‌آمیز آزمون جامع با همراهی استاد راهنمای رساله دانشجو شروع می‌شود. هدف از این مرحله آشنایی دانشجو با شیوه‌های پژوهش و در نهایت تدوین رساله دکتری است که شامل دستاوردهای اصیل دانشجو در دوره دکتری خواهد بود. این مرحله با ارائه پیشنهاد پژوهشی رساله دکتری و دفاع از این پیشنهاد پژوهشی شروع می‌شود و با ثبت نام در 20 واحد درس رساله دکتری، ارائه پیشرفت کار سالانه، نگارش رساله دکتری و دفاع موفقیت‌آمیز از آن پایان می‌پذیرد.



پ) ضرورت و اهمیت

نظر به کاربرد گسترده سامانه‌های کامپیوتری در علوم و ابعاد مختلف جوامع امروزی و همچنین، اهمیت روزافزون محاسبات و روش‌های الگوریتمیک در رشته‌های مختلف علمی و فناوری‌های نوین بشری، بالاخص علوم مرتبط با داده‌ها، ضرورت و اهمیت برقراری دوره در تربیت نیروهای متخصص مورد نیاز کاملاً مشهود است.

ت) تعداد و نوع واحدهای درسی

تعداد کل واحدهای درسی دوره حداقل ۳۶ واحد شامل ۱۶ واحد آموزشی (دروس تخصصی) و ۲۰ واحد پژوهشی (رساله دکتری)، به شرح زیر است.

واحدهای آموزشی:

(الف) دروس جبرانی بنا بر تشخیص استاد راهنما و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده.

(ب) دروس در زمینه تخصصی اصلی: ۸ واحد.

(پ) سایر دروس تخصصی: ۸ واحد

زمینه‌های تخصصی دروس در فصل دوم این برنامه و در مشخصات هر درس به تفکیک درج شده است.

تبصره ۱: اخذ درس در حداقل دو زمینه تخصصی الزامی است. زمینه تخصصی اصلی از بین یکی از زمینه‌های تخصصی رشته علوم کامپیوتر (فهرست شده در فصل دوم این برنامه) انتخاب می‌شود. زمینه تخصصی فرعی می‌تواند با تایید استاد راهنما از بین تمامی زمینه‌های تخصصی رشته‌های موجود در دانشکده علوم ریاضی انتخاب شود.

تبصره ۲: گذراندن دروس مرحله آموزشی با حداقل دو استاد مختلف برای شرکت در آزمون جامع و اتمام مرحله آموزشی الزامی است.

تبصره ۳: اخذ و گذراندن هر یک از دروس تخصصی تحصیلات تکمیلی در دانشکده علوم ریاضی به عنوان دروس تخصصی بند (پ) با رعایت سایر مقررات و تایید استاد راهنما بلامانع است.

واحدهای پژوهشی:

(ت) رساله دکتری: ۲۰ واحد



جدول (۱) - توزیع واحدها

نوع دروس	تعداد واحد
دروس تخصصی	۸
دروس اختیاری	۸
رساله / پایان نامه	۲۰
جمع	۳۶

ث) مهارت، توانمندی و شایستگی دانش آموختگان

دانش آموختگان این دوره با کسب توانایی های آموزشی و پژوهشی تخصصی در انجام فعالیت هایی سازنده و مؤثر به شرح زیر نقش خواهند داشت:

(الف) تدریس و پژوهش در دانشگاه ها به منظور تربیت نیروهای متخصص و گسترش مرزهای دانش در رشته علوم کامپیوتر.

(ب) پژوهش در مؤسسات، سازمان ها و مراکز علمی-پژوهشی به منظور رفع مشکلات پیش رو، ارائه راه کارهای جدید و ایجاد ساختارهای علمی پیشرفته در زمینه های مرتبط علمی.

ج) شرایط و ضوابط ورود به دوره

مقررات پذیرش و تحصیل در دوره دکتری رشته علوم کامپیوتر در دانشکده علوم ریاضی دانشگاه صنعتی شریف، مطابق با آیین نامه ها و ضوابط وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، مقررات دوره های دکتری دانشگاه صنعتی شریف و مقررات پذیرش و تحصیل در دوره های دکتری در دانشکده علوم ریاضی تعیین می شود.



فصل دوم

عناوین دروس زمینه‌های تخصصی و مشخصات آن‌ها



عناوین زمینه‌های تخصصی و دروس هر زمینه

دروس دوره دکتری رشته علوم کامپیوتر با توجه به زمینه تخصصی درس در جدول‌های زیر تنظیم شده‌اند.

- زبان‌های رسمی و روش‌های صوری (جدول 1)

- محاسبات علمی (جدول 2)

- نظریه محاسبه و الگوریتم (جدول 3)

- محاسبات نرم و هوش مصنوعی (جدول 4)

- نظریه سیستم‌ها (جدول 5)

- محاسبات زیستی (جدول 6)

- کدگذاری و رمزنگاری (جدول 7)

- علوم داده (جدول 8)

تبصره 1: با توجه به تحولات سریع در این رشته، زمینه‌های تخصصی دروس این رشته محدود به این هشت زمینه یاد شده نیستند و بر حسب تحولات جدید در رشته و تخصص‌های موجود، زمینه‌های تخصصی دیگری می‌توانند مطرح و با رعایت ضوابط به برنامه اضافه شوند.

تبصره 2: دروس یاد شده در جدول‌های 1 تا 8 در زمان تصویب برنامه تعیین شده‌اند و دانشکده می‌تواند، بر مبنای تحولات علمی در این رشته، دروس دیگری را بنا به صلاحدید به هر یک از این جداول اضافه کند. دانشجو می‌تواند دروس اختیاری خود را از بین دروس ارائه شده در این برنامه یا دروس دیگری که با تایید استاد راهنما و شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده همراه باشد، انتخاب کند.



جدول شماره 1: دروس زبان‌های رسمی و روش‌های صوری

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
1.	وارسی گر مدل (Model Checking)	4				64		-	
2.	اثبات خودکار (Automated Reasoning)	4				64		-	
3.	برنامه‌سازی منطق (Logic Programming)	4				64		-	
4.	معناشناسی صوری (Formal Semantics)	4				64		-	
5.	توصیف صوری نرم‌افزار Software for Methods (Formal Development)	4				64		-	
6.	درستی‌یابی نرم‌افزار (Software Verification)	4				64		-	
7.	مباحثی در روش‌های صوری (Topics in Formal Methods)	4				64		اجازه استاد درس	



جدول شماره 2: دروس زمینه تخصصی محاسبات علمی

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
1.	محاسبات ماتریسی (Matrix Computations)	۴				۶۴		-	
2.	نرم افزار ریاضی پیشرفته (Advanced Mathematical Software)	۴				۶۴		-	
3.	برنامه ریزی خطی عددی (Numerical Linear Programming)	۴				۶۴		-	
4.	بهینه سازی غیر خطی عددی (Numerical Nonlinear Optimization)	۴				۶۴		محاسبات ماتریسی	
5.	برنامه ریزی خطی پیشرفته (Advanced Linear Programming)	۴				۶۴		برنامه ریزی خطی عددی	
6.	بهینه سازی غیر خطی پیشرفته (Advanced Nonlinear Optimization)	۴				۶۴		محاسبات ماتریسی	
7.	جبر خطی عددی پیشرفته (Advanced Numerical Linear Algebra)	۴				۶۴		محاسبات ماتریسی	
8.	معادلات دیفرانسیل و انتگرال عددی (Numerical Differential and Integral Equations)	۴				۶۴		-	
9.	معادلات دیفرانسیل پاره ای عددی (Numerical Partial Differential Equations)	۴				۶۴		-	
10.	فناوری ماتریس های تنک (Sparse Matrix Technology)	۴				۶۴		محاسبات ماتریسی	
11.	مدل سازی و طراحی هندسی (Geometric Modeling and Design)	۴				۶۴		محاسبات ماتریسی	
12.	برنامه ریزی صحیح و شبکه (Integer Programming and Networks)	۴				۶۴		برنامه ریزی خطی عددی	
13.	بهینه سازی ترکیبیاتی (Combinatorial Optimization)	۴				۶۴		برنامه ریزی خطی عددی	
14.	الگوریتم های موازی برای محاسبات علمی	۴				۶۴			

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
	(Parallel Algorithms for Scientific Computing)								
15.	معادلات دیفرانسیل تصادفی عددی (Numerical Stochastic Ordinary Differential Equations)	۴				۶۴			
16.	معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی عددی (Numerical Stochastic Partial Differential Equations)	۴				۶۴		شبیه سازی	
17.	شبیه سازی (Simulation)	۴				۶۴		-	
18.	بهینه سازی محدب (Convex Optimization)	۴				۶۴		-	
19.	بهینه سازی محدب پیشرفته (Advanced Convex Optimization)	۴				۶۴		بهینه سازی محدب	
20.	مباحثی در محاسبات علمی (Topics in Scientific Computing)	۴				۶۴		-	
21.	محاسبات ماتریسی (Matrix Computations)	۴				۶۴		-	



جدول شماره ۳: دروس زمینه تخصصی نظریه محاسبه و الگوریتم

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
1.	محاسبه پذیری (Computability)	4				64		-	
2.	پیچیدگی محاسبه (Computational Complexity)	4				64		-	
3.	پیچیدگی محاسبه پیشرفته Computational (Advanced Complexity)	4				64		پیچیدگی محاسبه	
4.	الگوریتم‌های موازی (Parallel Algorithms)	4				64		-	
5.	الگوریتم‌های تصادفی (Randomized Algorithms)	4				64		-	
6.	الگوریتم‌های پیشرفته (Advanced Algorithms)	4				64		-	
7.	نظریه الگوریتمی بازی‌ها (Algorithmic Game Theory)	4				64		-	
8.	الگوریتم‌های تکراری و وردشی (Iterative and Variational Algorithms)	4				64		-	
9.	گراف‌ها و الگوریتم‌ها (Graphs and Algorithms)	4				64		-	
10.	الگوریتم‌های تقریبی (Approximation Algorithms)	4				64		-	
11.	هندسه محاسباتی (Computational Geometry)	4				64		-	
12.	محاسبات کوانتومی (Quantum Computing)	4				64		-	
13.	محاسبات کوانتومی پیشرفته (Advanced Quantum Computing)	4				64		محاسبات کوانتومی	
14.	آنالیز محاسباتی (Computational Analysis)	4				64		-	
15.	نظریه شبکه محاسباتی (Computational Network Theory)	4				64		-	
16.	مباحثی در نظریه محاسبه (Topics in Theory of Computing)	4				64		اجازه استاد درس	



جدول شماره 4: دروس زمینه تخصصی محاسبات نرم و هوش مصنوعی

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
1.	محاسبات نرم پیشرفته (Advanced Soft Computing)	۴				۶۴		-	
2.	هوش مصنوعی پیشرفته (Advanced AI)	۴				۶۴		-	
3.	تشخیص الگو (Pattern Recognition)	۴				۶۴		-	
4.	پردازش زبان‌های طبیعی (Natural Languages Processing)	۴				۶۴		-	
5.	یادگیری ماشین (Machine Learning)	۴				۶۴		-	
6.	یادگیری تقویتی (Reinforcement Learning)	۴				۶۴		یادگیری ماشین	
7.	یادگیری عمیق (Deep Learning)	۴				۶۴		یادگیری ماشین	
8.	هوش مصنوعی توزیع شده و عامل‌های هوشمند (Distributed AI and Intelligent Agents)	۴				۶۴		یادگیری ماشین	
9.	مباحثی در محاسبات نرم و هوش مصنوعی (Topics in Soft Computin and AI)	۴				۶۴		اجازه استاد درس	



جدول شماره 5: دروس زمینه تخصصی نظریه سیستم‌ها

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
1.	مهندسی نرم افزار پیشرفته (Advanced Software Engineering)	۴				۶۴		-	
2.	سیستم عامل و محاسبات توزیع شده (Distributed Operating Systems and Computations)	۴				۶۴		-	
3.	پایگاه داده پیشرفته (Advanced Database)	۴				۶۴		-	
4.	سیستم های بلادرنگ (Real Time Systems)	۴				۶۴		-	
5.	سیستم های هوشمند (Intelligent Systems)	۴				۶۴		-	
6.	کامپایلر پیشرفته (Advanced Compiler)	۴				۶۴		-	
7.	امنیت در سیستم های نرم افزاری (Security in Software Systems)	۴				۶۴		-	
8.	مباحثی در نظریه سیستم ها (Topics in System Theory)	۴				۶۴		-	



جدول شماره 6: دروس زمینه تخصصی محاسبات زیستی

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
1.	بازسازی شبکه‌های زیست‌شیمیایی (Reconstruction of Biochemical Networks)	۴				۶۴		-	
2.	زیست‌شناسی محاسباتی (Computational Biology)	۴				۶۴		-	
3.	زیست‌شناسی محاسباتی پیشرفته (Advanced Computational Biology)	۴				۶۴		-	
4.	ژنومیک محاسباتی (Computational Genomics)	۴				۶۴		-	
5.	بهینه‌سازی در شبکه‌های متابولیکی (Optimization in Metabolic Networks)	۴				۶۴		بهینه‌سازی محدب، بازسازی شبکه‌های زیست‌شیمیایی	
6.	سامانه‌های زیستی (Systems Biology)	۴				۶۴		بازسازی شبکه‌های زیست‌شیمیایی	
7.	مباحثی در سامانه‌های زیستی (Topics in Systems Biology)	۴				۶۴		اجازه استاد درس	



جدول شماره ۷: دروس زمینه تخصصی کدگذاری و رمزنگاری

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
1.	مبانی ریاضی کد و رمز Mathematics of Coding and (Cryptography)	۴				۶۴		-	
2.	نظریه اطلاعات و کاربرد Information Theory and its (Application)	۴				۶۴		-	
3.	نظریه اطلاعات پیشرفته (Advanced Information Theory)	۴				۶۴		نظریه اطلاعات و کاربرد	
4.	نظریه رمزنگاری (Theory of Cryptography)	۴				۶۴		نظریه اطلاعات و کاربرد	
5.	رمزنگاری پیشرفته (Advanced Cryptography)	۴				۶۴		نظریه رمزنگاری	
6.	پروتکل های رمزنگاری (Cryptographic Protocols)	۴				۶۴		نظریه رمزنگاری	
7.	روش های صوری در رمزنگاری (Formal Methods in Cryptography)	۴				۶۴		نظریه رمزنگاری	
8.	نظریه کدگذاری (Coding Theory)	۴				۶۴		مبانی ریاضی کد و رمز	
9.	نظریه کدگذاری پیشرفته (Advanced Coding Theory)	۴				۶۴		نظریه کدگذاری	
10.	کدگذاری شبکه (Network Coding)	۴				۶۴		نظریه کدگذاری - نظریه اطلاعات و کاربرد	
11.	مباحثی در کد و رمز (Topics in Coding and Cryptography)	۴				۶۴		-	



جدول شماره ۸: دروس زمینه تخصصی علوم داده

ردیف	عنوان درس	تعداد واحد	نوع واحد			تعداد ساعات		پیش نیاز	هم نیاز
			نظری	عملی	نظری - عملی	نظری	عملی		
1.	مبانی ریاضی علوم داده (Mathematical Foundations of Data Science)	۴				۶۴		-	
2.	الگوریتم‌های علوم داده (Algorithms for Data Science)	۴				۶۴		-	
3.	بهینه‌سازی در علوم داده (Optimization for Data Science)	۴				۶۴		-	
4.	روش‌های توپولوژیک در علوم داده (Topological Data Analysis)	۴				۶۴		-	
5.	روش‌های هندسی در علوم داده (Geometric Methods for Data Science)	۴				۶۴		-	
6.	مدل‌سازی و پردازش داده‌ها با بُعد بالا (High Dimensional Data Modeling and Processing)	۴				۶۴		-	
7.	مدل‌سازی و پردازش داده‌های بزرگ (Big Data Modeling and Processing)	۴				۶۴		-	
8.	داده کاوی (Data Mining)	۴				۶۴		-	
9.	داده کاوی پیشرفته (Advanced Data Mining)	۴				۶۴		داده کاوی	
10.	مدل‌های گرافنی و استنباط علی (Graphical Models and Causal Inference)	۴				۶۴		-	
11.	یادگیری آماری (Statistical Learning)	۴				۶۴		-	
12.	یادگیری برخط (Online Learning)	۴				۶۴		-	
13.	نظریه یادگیری محاسباتی (Computational Learning Theory)	۴				۶۴		-	
14.	یادگیری پیشرفته (Advanced Learning)	۴				۶۴		-	
15.	مباحثی در علوم داده (Topics in Data Science)	۴				۶۴		-	



دروس زبان های رسمی

و

روش های صوری



عنوان درس به فارسی: واریسی گز مدل		عنوان درس به انگلیسی: Model Checking	
نوع درس و واحد			
نظری	پایه	دروس پیش نیاز:	
عملی	تخصصی	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی	اختیاری	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

سیستم‌های انتقالی، آشنایی با جبر پردازنده‌ها، سیستم‌های همزمان، خواص خطی-زمانی سیستم، منطق زمانی LTL، درستی‌یابی خواص خطی-زمانی، منطق زمانی *CTL، تجرید، روش‌های کاهش تعداد حالت‌ها، درستی‌یابی سیستم‌های احتمالی، آشنایی با واریسی گز مدل SPIN.

مراجع

- [1] C. Baier, J. Katoen, *Principles of Model Checking*, MIT Press, 2008.
- [2] E. M. Clarke, O. Grumberg, and D. A. Peled, *Model Checking*. MIT Press, 1999.



عنوان درس به فارسی: اثبات خودکار		عنوان درس به انگلیسی: Automated Reasoning	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

منطق گزاره‌ای (نحو و مغناطیسی - استنتاج طبیعی - حساب رشته‌ای - روش تابلو - رزلوشن)، منطق شهودگرایی و منطق خطی و کاربردهای این منطق‌ها در علوم کامپیوتر، منطق موجهات (نحو و معناشناسی - قضایای صحت و تمامیت - تصمیم‌پذیری)، حساب لاند (کاربرد آن در برنامه‌نویسی تابعی).

مراجع

1. محمد اردشیر: منطق ریاضی. انتشارات هرمس. چاپ دوم. 1388
- [2] Jean Goubault-Larrecqm, Ian Mackie, *Proof Theory and Automated Deductions*. Springer, - 2001(2).
- [3] D. Van Dalen, *Logic and Structure*, Springer, 2007.



عنوان درس به فارسی: برنامه سازی منطق		عنوان درس به انگلیسی: Logic Programming	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

پارادایم برنامه نویسی توصیفی Declarative Programming، زبان برنامه سازی منطقی Prolog، روش Backtracking and Unification، لیست ها در پرولوگ، طراحی پایگاه دانش برای یک عامل هوشمند در پرولوگ، روش های جستجو، برنامه سازی منطق و یادگیری ماشین، برنامه سازی منطق استقرایی Inductive Logic Programming، برنامه سازی چندعاملی منطقی Goal (منطق شناختی)، برنامه سازی چندعاملی منطقی metattem (منطق زمانی).

مراجع

- [1] M. Bramer, *Logic Programming with Prolog*, Springer, 2005.
- [2] N. C. Rowe, *Artificial Intelligence through Prolog*, 1988.
- [3] N. Lavrace, S. Dzeroski, *Inductive Logic Programming*, 1993.
- [4] R. Bordini, *Multi-Agent Programming*, Springer, 2009.



عنوان درس به فارسی: معناشناسی صوری			
عنوان درس به انگلیسی: Formal Semantics		نوع درس و واحد	
دروس پیش نیاز:		پایه ☐ نظری ☒	
دروس هم نیاز:		تخصصی ☒ عملی ☐	
تعداد واحد:		4	اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:		64	رساله / پایان نامه ☐

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

معناشناسی صوری زبان‌های برنامه نویسی، معناشناسی تابعی Denotational Semantics، حساب لاند، معناشناسی بازگشتی و نقطه ثابت، نظریه دامنه Domain Theory، معناشناسی عملیاتی Operational Semantics، معناشناسی اصول موضوعی.

مراجع

- [1] G. Winskel, *Formal Semantics of Programming Languages*, 1993.
 [2] C. Gunter, *Semantics of Programming Languages*, MIT Press, 1992.



عنوان درس به فارسی: توصیف صوری نرم افزار		عنوان درس به انگلیسی:	
نوع درس و واحد		Formal Methods for Software Development	
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

معرفی مفهوم توصیف صوری سیستم‌ها، پیشنیازهای توصیف رسمی از جبر گزاره‌ها، منطق و نظریه مجموعه‌ها، معرفی زبان Z و ابزارها مبتنی بر آن برای توصیف سیستم، امکان‌پذیری توصیف، واریسی.

مراجع

- [1] J. Woodcock, J. Davies, *Using Z: Specification, Refinements, and Proof*, 1996.
- [2] D. Lightfoot, *Formal Specification using Z*, 2001.
- [3] C. Morgan, *Programming from Specifications*. Prentice-Hall, 1990.



عنوان درس به فارسی: درستی یابی نرم افزار			
نوع درس و واحد		Software Verification	
پایه ☐ نظری ☒		دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒ عملی ☐		دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐ نظری-عملی ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

منطق هوار Hoare Logic، منطق مرتبه اول، منطق دینامیک، توصیف صوری زبان برنامه سازی java، ابزار KEY

مراجع

- [1] J. Laski, and W. Stanley, *Software Verification and Analysis*, Springer, 2009.
 [2] B. Beckert, *Verification of Object Oriented Software, the KEY Approach*, Springer, 2007.



عنوان درس به فارسی: مباحثی در روش‌های صوری		عنوان درس به انگلیسی: Topics in Formal Methods	
نوع درس و واحد			
پایه ☐ نظری ☒			دروس پیش‌نیاز:
تخصصی ☒ عملی ☐			دروس هم‌نیاز:
اختیاری ☐ نظری-عملی ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مباحث پیشرفته و یا جدید در روش‌های صوری که با نظر استاد درس و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ارائه می‌شود.

مراجع

کتاب‌ها و مقالات در مجله‌های علمی متناسب با مباحث مورد بحث تعیین می‌شوند.



دروس

زمینه تخصصی

محاسبات علمی



محاسبات ماتریسی		عنوان درس به فارسی:	
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی:	
☐ پایه ☒ نظری		Matrix Computations	
☐ عملی ☒ تخصصی		دروس پیش نیاز:	
☐ نظری-عملی ☐ اختیاری		دروس هم نیاز:	
☐ رساله / پایان نامه		4	تعداد واحد:
		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

طرح و توسعه نرم افزارهای ریاضی برای محاسبات ماتریسی، روش های مستقیم تجزیه مثلثی برای دستگاه های مربعی و مستطیلی، حالات مخصوص مانند دستگاه های معین مثبت و تجزیه چولسکی، روش های ماتریس های تنک برای حل معادلات خطی، حل مسأله مقدار بردار ویژه با روش های تکراری، روش های حل برای مسأله کمترین مربعات خطی، تصویرسازی روی فضاهای برد و پوچ، مسائل رتبه ناقص، تجزیه های قائم، تجزیه مقادیر تکین، الگوریتم QR و محاسبه تجزیه مقادیر تکین (SVD)، روش های تکراری برای حل دستگاه های خطی شامل گاوس - زایدل، SOR، روش های میرهای مزدوج و گرادیان های مزدوج، تحلیل خطاهای محاسباتی، حساسیت دستگاه های خطی و پیچیدگی الگوریتم ها.

مراجع

- [1] Å. Björck, *Numerical Methods in Matrix Computations*, Springer, 2015.
- [2] G.H. Golub, and C.F. Van Loan, *Matrix Computations, 4th Edition*, Johns Hopkins University Press, 2013.
- [3] J. Demmel, *Applied Numerical Linear Algebra*, SIAM, 1997.
- [4] L.N. Trefthen, and D. Bau III, *Numerical Linear Algebra*, SIAM, 1997.
- [5] G.W. Stewart, *Matrix Algorithms, Volume I: Basic Decompositions*, SIAM, 1998.



عنوان درس به فارسی: نرم افزار ریاضی پیشرفته			
عنوان درس به انگلیسی: Advanced Mathematical Software		نوع درس و واحد	
دروس پیش نیاز:		☐ پایه ☒ نظری	
دروس هم نیاز:		☐ عملی ☒ تخصصی	
تعداد واحد:		☐ اختیاری ☐ نظری-عملی	
تعداد ساعت:		رساله / پایان نامه ☐	
		4	
		64	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

نرم افزار ریاضی برای انجام محاسبات علمی، قابلیت اعتماد، سرعت، انعطاف و انتقال پذیری نرم افزار ریاضی در رابطه با الگوریتم های عددی برای محاسبه توابع اولیه (شامل توابع مثلثاتی و لگاریتمی، دستگاه های خطی و غیر خطی، درونیابی، بهینه سازی، تقریب توابع، مشتقات، انتگرال های معین و معادلات دیفرانسیل).

مراجع

- [1] Rice, J.R., Numerical Methods, Software, and Analysis, Second Edition, Academic Press, 2014.
- [2] Buchanan, J.L. and Turner, P.R., Numerical Methods and Analysis, McGraw-Hill College, 1992
- [3] Miller, W., The Engineering of Numerical Software, Prentice Hall, 1984.
- [4] Papers in ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS) and SIAM Journal on Scientific Computing.



عنوان درس به فارسی: برنامه‌ریزی خطی عددی		نوع درس و واحد	
عنوان درس به انگلیسی: Numerical Linear Programming			
دروس پیش‌نیاز:		☐ پایه ☒ نظری	
دروس هم‌نیاز:		☐ عملی ☒ تخصصی	
تعداد واحد:		☐ نظری-عملی ☐ اختیاری	
تعداد ساعت:		☐ رساله / پایان‌نامه	
		4	
		64	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

روش‌های عددی برای حل مسائل بهینه‌سازی خطی، روش‌های شاخه و کران و صفحه برشی برای مسأله‌های برنامه‌ریزی صحیح، روش‌های کلاسیک سیمپلکس اولیه، دوگان و اولیه - دوگان، نظریه دوگانگی و حل مسأله‌های جریان در شبکه، حمل و نقل تخصیص، تحلیل حساسیت، روش کارمارکار و ارتباط با بهینه‌سازی غیرخطی و تبدیلات تصویری.

مراجع

- [1] D. G. Luenberger and Y. Ye, *Linear and Nonlinear Programming*, 4th Edition, Springer, 2016.
 [2] M. S. Bazaraa, J. J. Jarvis, and H. D. Sherali, *Linear Programming and Network Flows*, 4th Edition, Wiley, 2009.

- [3] M. Padberg, *Linear Optimization and Extension*, Second Edition, Springer-Verlag, 1999.

4. برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی، اثر د. جی. لوئبرگر، ترجمه نظام‌الدین مهدوی امیری و محمدحسین پورکاظمی، انتشارات علمی

دانشگاه صنعتی شریف، چاپ سوم، ۱۳۹۱.



عنوان درس به فارسی: بهینه‌سازی غیرخطی عددی		عنوان درس به انگلیسی: Numerical Nonlinear Optimization	
نوع درس و واحد		محاسبات ماتریسی	
☒ نظری	☐ پایه	دروس پیش‌نیاز:	
☐ عملی	☒ تخصصی	دروس هم‌نیاز:	
☐ نظری-عملی	☐ اختیاری	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

طرح و تحلیل و پیاده‌سازی الگوریتم‌های متنوع برای حل مسائل بهینه‌سازی نامقید و مقید، مقایسه نظری و عملی روش‌ها، روش‌های نیوتن و شبه نیوتن، روش‌های سکانت و مسیرهای مزدوج، برنامه‌ریزی درجه دوم و روش‌های بهینه‌سازی با قيود خطی و غیرخطی شامل جریمه‌ای، مانعی و لاگرانژ - نیوتن، مسیرهای کاهشی و الگوریتم‌های جستجوی خطی، ناحیه اعتماد، همگرایی و نرخ همگرایی.

مراجع

- [1] J. Nocedal, and S.J. Wright, *Numerical Optimization*, Springer-Verlag, 2nd Edition, 2006.
 [2] R. Fletcher, *Practical Methods of Optimization*, 2nd Edition, John Wiley and Sons, 2001.



عنوان درس به فارسی: برنامه ریزی خطی پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Linear Programming	
نوع درس و واحد		برنامه ریزی خطی عددی	دروس پیش نیاز:
نظری ☒ پایه ☐			دروس هم نیاز:
عملی ☐ تخصصی ☒			تعداد واحد: 4
نظری-عملی ☐ اختیاری ☐			تعداد ساعت: 64
رساله / پایان نامه ☐			

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

روش های پیشرفته در برنامه ریزی خطی شامل روش های نقطه درونی اولیه، دوگان و اولیه-دوگان و برنامه ریزی نیمه معین.

مراجع

- [1] S.J. Wright, *Primal-Dual Interior-Point Methods*, SIAM, Philadelphia, 2018.
- [2] D. G. Luenberger and Y. Ye, *Linear and Nonlinear Programming*, 4th Edition, Springer, 2016.
- [3] M. Padberg, *Linear Optimization and Extension*, Second Edition, Springer-Verlag, 1999.
- [4] Y. Ye, *Interior Point Algorithms*, John Wiley and Sons, 1997.
- [5] J. Renegar, *A Mathematical View of Interior Point Methods in Convex Optimization*, SIAM, Philadelphia, 2001.
- [6] Y. Nesterov, and A. Nemirovskii, *Interior- Point Polynomial Algorithms in Convex programming*, SIAM, Philadelphia, 1994.
- [7] C. Roos, T. Terlaky, and J.-Ph. Vial, *Theory and Algorithms for Linear Optimization, An Interior Point Approach*, John Wiley and Sons, Chichester, 2001.
- [8] J. Peng, C. Roos and T. Terlaky, *Self-Regularity: A New Paradigm for Primal-Dual Interior-Point Algorithms*, Princeton University Press, Princeton, 2002.



عنوان درس به فارسی: بهینه‌سازی غیرخطی پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Nonlinear Optimization	
نوع درس و واحد		محاسبات ماتریسی	
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش‌نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

روش‌های پیشرفته عددی در بهینه‌سازی غیرخطی شامل تصویرسازی، روش‌های نقطه درونی، استراتژی‌های جریمه‌ای و لاگرانژی.

مراجع

1. برنامه ریزی خطی و غیرخطی، لوئیس گر، ترجمه نظام الدین مهدوی امیری و محمدحسین پورکاظمی، انتشارات علمی، دانشگاه صنعتی شریف، چاپ سوم، 1391

[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.

مقاله‌های علمی در مجلات معتبر بین‌المللی در زمینه‌های بهینه‌سازی شامل:

SIAM Journal on Optimization.

Mathematical Programming.

Journal of Optimization Theory and Applications.



عنوان درس به فارسی: جبر خطی عددی پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Numerical Linear Algebra	
نوع درس و واحد		محاسبات ماتریسی	
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

الگوریتم‌های تکراری برای حل دستگاه‌های خطی (لانچوز و گرادیان‌های مزدوج)، روش‌های مبتنی بر زیرفضاهای کريلوف، الگوریتم‌های مستقیم مبتنی بر تصویر بر زیرفضاهای برد و پوچ برای حل دستگاه‌های خطی، رده الگوریتم‌های ابافی-برویدن-اسپدیکاتو (ABS) برای حل دستگاه‌های خطی حقیقی و صحیح (دستگاه‌های دیوفانتی) و مسأله کم‌ترین مربعات خطی مقید، الگوریتم‌های محاسباتی برای حل مسائل مقادیر ویژه و مسائل مقادیر ویژه وارون، حل دستگاه‌های غیر خطی با خطی‌سازی.

مراجع

- [1] M.T. Chu, and G.H. Golub, *Inverse Eigenvalue Problems*, Oxford University Press, 2005.
- [2] G.W. Stewart, *Matrix Algorithms, Volume 2: Eigensystems*, SIAM, 2001.
- [3] Y. Saad, *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*, Second Edition, SIAM, 2003.
- [4] J. Abaffy, and E. Spedicato, *ABS Projection Algorithms: Mathematical Techniques for Linear and Nonlinear Equations*, Ellis Horwood Ltd., 1989.



عنوان درس به فارسی: معادلات دیفرانسیل و انتگرال عددی		عنوان درس به انگلیسی: Numerical Differential and Integral Equations	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	آنالیز عددی 1	
تخصصی ☒	عملی ☐		
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

کاربرد مدل‌های معادلات دیفرانسیل عادی در دینامیک جمعیت، مکانیک و سیستم‌های خطی، روش‌های رانگه-کاتا، چند قدمی، پیش‌گو و اصلاح‌گر، جواب‌های دوره‌ای، روش‌های پرتابی و تفاضل‌های محدود، خطاهای موضعی و سراسری، همگرایی و پایداری الگوریتم‌ها، برآورد خطاها در نرم‌افزار.

مراجع

- [1] K. Atkinson, W. Han, and D. Stewart, *Numerical Solution of Ordinary Differential Equations*, John Wiley, 2009.
- [2] K.E. Atkinson, *Numerical Solution of Integral Equations of the Second Kind*, Cambridge University Press, 2009.
- [3] W.C. Gear, *Numerical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations*, Prentice-Hall, 1971.



عنوان درس به فارسی: معادلات دیفرانسیل پاره‌ای عددی		عنوان درس به انگلیسی: Numerical Partial Differential Equations	
نوع درس و واحد			
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش‌نیاز:	
☒ تخصصی	☐ عملی	دروس هم‌نیاز:	
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان‌نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

معادلات هذلولی، بیضوی و سهموی، کاربرد در انتقال حرارت، آلودگی محیط زیست، دینامیک مایعات و آنالیز سازه، حل تقریبی معادلات و خطای بریدن، روش‌های کنترل حجم و کسرهای منقسم، روش‌های تکراری و گرادیان‌های مزدوج، گالرکین، نوثر، تفاضل‌های محدود و المان‌های محدود، همگرایی و پایداری روش‌ها، قضایای ریمن و کوشی - کاوالادسکی.

مراجع

- [1] S. Larsson and V. Thomee, *Partial Differential Equations with Numerical Methods*, Springer, 2003.
- [2] A. Quarteron, and A. Valli, *Numerical Approximation of Partial Differential Equations*, Springer-Verlag, 1997.
- [3] G. Strang, and G.J. Fix, *An Analysis of the Finite Element Method*, Prentice-Hall, 1973.
- [4] G.D. Smith, *Numerical Solution of Partial Differential Equation: Finite Difference Methods*, Clarendon Press, 1986.
- [5] R. Vichnevetsky, *Computer Method for Partial Differential Equations*, Prentice-Hall, 1981.



عنوان درس به فارسی: فناوری ماتریس‌های تنک		عنوان درس به انگلیسی:	
نوع درس و واحد		Sparse Matrix Technology	
پایه ☐	نظری ☒	محاسبات ماتریسی	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم‌نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	تعداد واحد:	
رساله / پایان‌نامه ☐		4	
		64	
		تعداد ساعت:	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

روش‌های مستقیم و تکراری برای محاسبات جبر خطی عددی، تکنولوژی ماتریس‌های تنک شامل ساختمان داده‌های متنوع، روش‌های مبتنی بر نظریه گراف و روش‌های تکراری، الگوریتم‌های موازی.

مراجع

- [1] Y. Saad, *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*, Second Edition, SIAM, 2003.
- [2] S. Pissanetsky, *Sparse Matrix Technology*, Academic Press, 1983.
- [3] A. George, and J. Liu, *Computer Solution of Large Sparse Positive Definite Systems*, Prentice-Hall, 1981.



عنوان درس به فارسی: مدل سازی و طراحی هندسی		عنوان درس به انگلیسی: Geometric Modeling and Design	
نوع درس و واحد		محاسبات ماتریسی	دروس پیش نیاز:
☐ پایه ☒ نظری	☐ تخصصی ☒ عملی		دروس هم نیاز:
☐ نظری-عملی ☐ اختیاری ☐ رساله / پایان نامه		4	تعداد واحد:
		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

الگوریتم‌های مؤثر نمایش منحنی‌ها و رویه‌ها شامل درونیابی و تقریب با B-اسپلاین‌ها، بتا اسپلاین‌ها، پیوستگی پارامتری و هندسی، با تأکید بر مقایسه الگوریتم‌ها و پیاده‌سازی‌های عملی آنها.

مراجع

- [1] N. Golovanov, *Geometric Modeling: The mathematics of shapes*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014.
- [2] G. Farin, *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design*, Fifth Edition, Morgan Kaufmann, 2001.
- [3] R.H. Bartels, B.A. Barsky, and J.C. Beatty, *An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modeling*, Morgan Kaufmann, 1995.
- [4] S. Jaffard, Y. Meyer, and R.D. Ryan, *Wavelets, Tools for Science and Technology*, SIAM, 2001.



عنوان درس به فارسی: برنامه ریزی صحیح و شبکه		عنوان درس به انگلیسی: Integer Programming and Networks	
نوع درس و واحد		برنامه ریزی خطی عددی	
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش نیاز:	
☒ تخصصی	☐ عملی	دروس هم نیاز:	
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

برنامه ریزی صحیح و کران های اولیه و دوگان، درخت پوشای مینیمال در شبکه (روش های گرافیک و الگوریتم کروسکال)، کوتاه ترین مسیر در شبکه (الگوریتم فورد- بلمن و دایسترا)، جریان ماکسیمال در شبکه، قضیه جریان ماکسیمال- برش مینیمال، جریان با کم ترین هزینه، مسأله های تخصیص و حمل و نقل، روش های برنامه ریزی پویا، شاخه و کران، صفحه برشی و آزادسازی لاگرانژی، با تأکید درس بر مقایسه الگوریتم ها، بررسی پیچیدگی های محاسباتی و پیاده سازی آنها.

مراجع

- [1] L.A. Wolsey, *Integer Programming*, Second Edition, John Wiley and Sons, 2020.
- [2] A. Schrijver, *Theory of Linear and Integer Programming*, Wiley, 1999.
- [3] G. Nemhauser and L.A. Wolsey, *Integer and Combinatorial Optimization*, Wiley, 1999.



عنوان درس به فارسی: بهینه‌سازی ترکیباتی		عنوان درس به انگلیسی: Combinatorial Optimization	
نوع درس و واحد		برنامه‌ریزی خطی عددی	
نظری	پایه	دروس پیش‌نیاز:	
عملی	تخصصی	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی	اختیاری	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

حل مسأله‌های درخت پوشای مینیمال و کوتاه‌ترین مسیر، مسأله‌های جریان در شبکه، جریان ماکسیمال و برش مینیمال، الگوریتم‌های اولیه و دوگان برای مسأله جریان با کم‌ترین هزینه، مسأله‌های جور ماکسیمال و جور کامل، پوش محدب، چند گونای صحیح، تکمدولی بودن کامل و حل مسأله برنامه‌ریزی صحیح مربوط، مسأله فروشنده دوره گرد و پیچیدگی آن، روش‌های شهودی برای حل مسأله فروشنده دوره گرد، ماترویدها و الگوریتم حریصانه، رده مسایل NP، NP-کامل بودن.

مراجع

- [1] B. Korte and J. Vygen, *Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms*, Springer-Verlag, 2018.
- [2] D.-S. Chen, R.G. Batson, and Y. Dang, *Applied Integer Programming: Modeling and Solution*, Wiley, 2010.
- [3] W.J. Cook, W.H. Cunningham, W.R. Pulleyblank, and A. Schrijver, *Combinatorial Optimization*, John Wiley and Sons, 1998.
- [4] G. Nemhauser, and L.A. Wolsey, *Integer and Combinatorial Optimization*, Wiley, 1999.
- [5] A. Schrijver, *Combinatorial Optimization*, Springer, 2003.



عنوان درس به فارسی: الگوریتم‌های موازی برای محاسبات علمی		عنوان درس به انگلیسی: Parallel Algorithms for Scientific Computing	
نوع درس و واحد			
☒ نظری	☐ پایه	دروس پیش‌نیاز:	
☐ عملی	☒ تخصصی	دروس هم‌نیاز:	
☐ نظری-عملی	☐ اختیاری	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان‌نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

رده‌بندی مدل‌های محاسبه و الگوریتم‌ها، الگوریتم‌های اولیه شامل بویش، جستجو و مرتب‌سازی، روش‌های حل موازی برای دستگاه‌های خطی شامل حل مسأله‌های چگال و تنک، روش‌های شبکه‌ای، پیش‌حالت‌سازی کريلوف، تقسیم‌بندی و افرازبندی، ضرب ماتریسی، تبدیل سریع فوری، مسأله مقادیر ویژه، روش‌های اجزای متناهی، چند شبکه‌ای و گرادیان‌های مزدوج.

مراجع

- [1] A. Grama and A.H. Sameh, *Parallel Algorithms in Computational Science and Engineering*, Birkhäuser Basel, 2020.
- [2] A. Grama, G. Karypis, V. Kumar, and A. Gupta, *Introduction to Parallel Computing*, Second Ed, Addison-Wesley, 2003.
- [3] R. Bisseling, *Parallel Scientific Computations - A Structured Approach*, BSP and MPI, Oxford University Press, 2003.
- [4] M.H. Heath, *Scientific Computing - An Introductory Survey*, Second Ed, Mc Graw-Hill, 2005.
- [5] G. Andrews, *Foundation of Multithreaded, Parallel, and Distributed Computing*, Addison-Wesley, 1999.



عنوان درس به فارسی: معادلات دیفرانسیل تصادفی عددی		عنوان درس به انگلیسی: Numerical Stochastic Ordinary Differential Equations	
نوع درس و واحد			
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

انتگرال ایتو، فرمول ایتو، مارتینگل ها، معادلات دیفرانسیل تصادفی، حل صریح معادلات دیفرانسیل تصادفی خطی، قضیه وجود و یگانگی قوی معادلات دیفرانسیل تصادفی با ضرایب لپشیتز، روش اویلر میلشتاین، معادلات دیفرانسیل تصادفی، تقریب قوی تیلور، تقریب قوی صریح، روش های چند مرحله ای، روش های قوی رانگه-کاتا، تقریب های ضعیف، تقریب ضعیف تیلور، پایداری ضعیف و قوی خطاها، پایداری لیاپانوف معادلات دیفرانسیل تصادفی، فضای احتمال گوسی، چند جمله ای هرمیت، نیمگروه اورنشتاین-اولنبرگ، حرکت براونی، بسط آشوب وینر، عملگر مشتق، انتگرال جزء به جزء، عملگر دیورژانس و انتگرال تصادفی، فضای سوبولوف گوسی، نظم و تقریب چگالی متغیرهای تصادفی، فرمول صریح برای چگالی، وجود و همواری چگالی و کاربرد آن در حل عددی ضعیف معادلات دیفرانسیل تصادفی.

مراجع

- [1] B. Kohatsu-Higa, A. Montero, and M. Malliavin, *Calculus in Finance*, Handbook of Computational and Numerical Methods in Finance, Birkhauser, 2003.
- [2] B. K. Oksendal, *Stochastic Differential Equations*, 6th Edition, 2001.
- [3] P.E. Kloeden, and Platen, *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*, Springer-Verlag, 1992.



عنوان درس به فارسی: معادلات دیفرانسیل پاره‌ای تصادفی عددی			
نوع درس و واحد		Numerical Stochastic Partial Differential Equations	
عنوان درس به انگلیسی:		شبه‌سازی	
☐ نظری	☐ پایه	دروس پیش‌نیاز:	
☐ عملی	☒ تخصصی	دروس هم‌نیاز:	
☐ نظری-عملی	☐ اختیاری	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

معادلات دیفرانسیل تصادفی پاره‌ای حرارت (سه‌موی) و موج (هذلولوی) شامل مثال‌های پایه‌ای، خوش طرح بودن، وجود و یکتایی جواب، بررسی همواری جواب تصادفی و گشتاورهای آن، تقریب عددی مسیرهای جواب با روش تفاضلات متناهی (در زمان) و تقریب عددی مسیرهای جواب با روش اجزای متناهی (در مکان) و شبه‌سازی آن به کمک روش مونت-کارلو، نرخ همگرایی قوی و ضعیف طرح، محاسبه خطای گشتاور دوم و p ام، حل عددی معادلات با نوفه لوی.

مراجع

- [1] A Jentzen, *Pathwise numerical approximations of SPDEs with additive noise under non-global Lipschitz coefficients*, Volume 31, Number 3, 375-303, Potential Analysis, Springer, 2009.
- [2] T. Caraballo, P.E. Kloeden, *The pathwise numerical approximation of stationary solutions of semilinear stochastic evolution equations*, Volume 53, number3, 301-315 Applied Mathematics and Optimization, Springer, 2006.
- [3] J. B. Walsh, *On numerical solutions of the stochastic wave equation*, Illinois J. Math. Volume 50, Number 1-3 (2006), 991-1018.
- [4] J. B. Walsh, *Finite Element Methods for Parabolic stochastic PDE's*, Volume 23, 1-33, Potential Analysis, 2005 - Springer.



عنوان درس به فارسی: شبیه سازی		عنوان درس به انگلیسی: Simulation	
نوع درس و واحد			
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

تولید اعداد و متغیرهای تصادفی: مفاهیم پایه ای مونت-کارلو، مولدهای همبستگی خطی (Linear Congruential Generators) پیاده سازی و ساختار شبکه ای روش LCG، روش های عمومی نمونه گیری: روش تبدیل وارون و روش رد و قبول، متغیرها و بردارهای تصادفی نرمال. تولید مسیر برای فرایندهای تصادفی: حرکت براونی یک-بعدی و چند-بعدی، حرکت براونی هندسی، تولید مسیر برای فرایندهای پخش (diffusion Processes). روش های تقلیل واریانس: روش متغیرهای کنترلی (Control Variables Method)، روش متغیرهای متضاد (Antithetic Variables Method)، روش نمونه گیری لایه-لایه (Stratified Sampling)، روش نمونه گیری مبتنی بر اهمیت (Importance Sampling)، روش های شبه مونت-کارلو: معیارهای پخش شدن نقاط، دنباله های «فان-در کورپات»، «هالتون»، «همرسلی»، «فاور» و «سوبول»، قضیه «کوکسما-هلاوکا».

مراجع

- [1] J.S. Dagpunar, *Simulation and Monte-Carlo*, John Wiley and Sons, 2007.
- [2] P. Glasserman, *Monte Carlo Methods in Financial Engineering*, Springer-Verlag, 2003.



عنوان درس به فارسی: بهینه‌سازی محدب		عنوان درس به انگلیسی: Convex Optimization	
نوع درس و واحد			
پایه ☐ نظری ☒			دروس پیش‌نیاز:
تخصصی ☒ عملی ☐			دروس هم‌نیاز:
اختیاری ☐ نظری-عملی ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مجموعه‌های محدب، توابع محدب و بهینه‌سازی: مبانی آنالیز محدب و نظریه بهینه‌سازی محدب شامل شرایط بهینگی، نظریه دوگانگی، قضایای دگرین و کاربردهای آن‌ها، کاربردهای متنوعی از رده‌هایی از مسائل بهینه‌سازی محدب مانند کم‌ترین مربعات، برنامه‌ریزی خطی و مربعی، برنامه‌ریزی نیمه‌معین و برنامه‌ریزی هندسی، روش‌های عددی برای حل مسائل بهینه‌سازی هموار با قید تساوی، الگوریتم نقطه داخلی برای مسائل با قیدهای نامساوی. مثال‌های متنوع کاربردی از سامانه‌های زیستی، هندسه‌ی محاسباتی، آمار، یادگیری ماشین، مهندسی برق با مدل‌های بهینه‌سازی برری می‌شوند.

مراجع

- [1] Boyd, Stephen P., and Lieven Vandenberghe. *Convex Optimization*. Cambridge University Press, 2004.
- [2] Nesterov, Yurii. *Lectures on Convex Optimization*. Springer, 2018.



عنوان درس به فارسی: بهینه‌سازی محدب پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Convex Optimization	
نوع درس و واحد			
■ نظری	☐ پایه	بهینه‌سازی محدب	
☐ عملی	■ تخصصی		
☐ نظری-عملی	☐ اختیاری		
رساله / پایان‌نامه		4	تعداد واحد:
		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

روش‌های مختلف بهینه‌سازی محدب شامل روش زیرگرادیان، روش گرادیان مزدوج، روش صفحه برشی، روش بیضوی، روش پراکسیمال، روش مسیر متناوب ضرایب، بررسی پیچیدگی محاسباتی روش‌های عددی سریع با استفاده از ساختار بلوکی یا تنک ماتریس‌ها در کاربردهای متنوع، مباحث پیشرفته در روش‌های بهینه‌سازی توزیع شده، بهینه‌سازی استوار، بهینه‌سازی تصادفی، بهینه‌سازی مجموع مربعات، روش‌های بهینه‌سازی سراسری مانند شاخه و کران و ارتباط آن‌ها با بهینه‌سازی محدب و آزادسازی‌های محدب.

مراجع

- [1] Vishnoi, Nisheeth. *Algorithms for Convex Optimization*. Cambridge University Press, 2021.
 [2] Ben-Tal, Aharon, and Arkadi Nemirovski. *Lectures on Modern Convex Optimization: Analysis, Algorithms, and Engineering Applications*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2001.



عنوان درس به فارسی:		مباحثی در محاسبات علمی	
عنوان درس به انگلیسی:		Topics in Scientific Computing	
دروس پیش نیاز:		☐ پایه ☒ نظری	
دروس هم نیاز:		☒ تخصصی ☐ عملی	
تعداد واحد:	4	☐ اختیاری ☒ نظری-عملی	
تعداد ساعت:	64	☐ رساله / پایان نامه	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مباحث پیشرفته یا جدید در محاسبات علمی که با نظر استاد درس و تأیید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ارائه می‌شود.

مراجع

کتاب‌ها و مقالات در مجله‌های علمی متناسب با مباحث مورد بحث تعیین می‌شوند.



دروس زمینه تخصصی

نظریه محاسبه

و الگوریتم



عنوان درس به فارسی:		محاسبه پذیری	
عنوان درس به انگلیسی:		Computability	
دروس پیش نیاز:		نظری ☒ پایه ☐	
دروس هم نیاز:		عملی ☐ تخصصی ☒	
تعداد واحد:	4	نظری-عملی ☐ اختیاری ☐	
تعداد ساعت:	64	رساله / پایان نامه ☐	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس آشنایی کامل با نظریه محاسبه است. پس از مقدمه و بحث در مورد مفاهیم اصلی نظیر مفاهیم مساله و محاسبه، محور اصلی بخش اول درس بررسی دقیق مدل های کلاسیک محاسبه برای مسایل تصمیم و سلسله مراتب چامسکی است. در این بخش مدل های اتوماتون و اتوماتون پشته ای و ماشین تورینگ به طور کامل مورد بحث قرار می گیرند و مفهوم محاسبه از دیدگاه مدل و همچنین گرامر مطرح و مقایسه می شود. در این ارتباط مفاهیم تحویل و قطری سازی مطرح و قضایای مقایسه گودل بحث می شود.

در بخش دوم درس مفهوم محاسبه در حالت کلی توابع محاسبه پذیر بحث شده و قضایای اصلی نظریه توابع بازگشتی نظیر قضیه smn و قضیه Rice و قضایای بازگشت و نقطه ثابت مطرح و بحث می شوند.

مراجع

- [1] R. Weber, *Computability Theory*, AMS, 2012.
- [2] D. S. Bridges, *Computability: a mathematical sketchbook*, Springer-Verlag New York, 1994.
- [3] D. A. Simovici and R. L. Tenney, *Theory of Formal Languages with Applications*, World Scientific Publishing Co. Ltd., 1999.
- [4] M. Davis, R. Sigal and E. Weyuker, *Computability, Complexity, and Languages*, Morgan Kaufmann 1994.
- [5] D. C. Kozen, *Theory of Computation*, Springer-Verlag London Limited 2006.



عنوان درس به فارسی: پیچیدگی محاسبه		عنوان درس به انگلیسی: Computational Complexity	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

یادآوری مفاهیم اصلی مربوط به نظریه محاسبه و مدل‌های محاسباتی بالاخص ماشین تورینگ، تعاریف مختلف ماشین تورینگ و تأثیر آنها بر زمان محاسبه و حافظه مصرفی، تعیین مدل‌های استاندارد ماشین تورینگ مربوط به پیچیدگی زمانی و حافظه، تعریف کلاس‌های اصلی پیچیدگی زمانی بالاخص P ، NP ، EXP ، تعریف کلاس‌های اصلی پیچیدگی حافظه بالاخص L ، NL ، $PSpace$ ، NP -Completeness و قضیه Cook-Levin، روش‌های مختلف تحویل (Reduction) بالاخص تحویل‌های Karp و Turing، تکنیک قطری سازی و اثبات قضیه Ladner، قضایای سلسله مراتبی زمانی و حافظه، تعریف NL -Completeness، قضیه Savitch، قضیه Immerman - Szelepcsényi، سلسله مراتب چند جمله‌ای و ماشین‌های تورینگ Alternating، ماشین‌های تورینگ مجهز به Oracle، پیچیدگی غیر یکنواخت، پیچیدگی مداری و کلاس $P/Poly$ ، نسبی سازی (relativization) و قضیه‌های اصلی مربوطه، (مباحث تکمیلی با نظر استاد).

مراجع

- [1] Arora, Sanjeev, Barak, Boaz, *Computational Complexity: A Modern Approach*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.
- [2] Du, Ding-Zhu, Ko, Ker-I, *Theory of Computational Complexity*, Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization. Wiley-Interscience, New York, 2000.
- [3] Papadimitriou, Christos H, *Computational Complexity*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1993.
- [4] Goldreich, Oded, *Computational Complexity: A Conceptual Perspective*, Cambridge University Press, Cambridge, 2008.



عنوان درس به فارسی: پیچیدگی محاسبه پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Computational Complexity	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	پیچیدگی محاسبه	
تخصصی ☒	عملی ☐		
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

یادآوری مفاهیم اصلی، کلاس‌های پیچیدگی زمانی و حافظه بسیار کوچک و فضایای مربوطه، ماشین‌های تورینگ تصادفی و کلاس‌های پیچیدگی مربوطه و روابط آنها MA و AM ، IP ، $Derandomization$ ، RP ، ZPP ، PP ، BPP و قضیه اصلی $IP=PSPACE$ و بحث در مورد تکنیک‌های آن، قضیه PCP و بحث در مورد اثبات‌های مختلف آن، کلاس‌های مرتبط با الگوریتم‌های تقریبی و بحث تقریب‌پذیری و نتایج منتج از قضیه PCP در این رابطه، پیچیدگی مداری، قضیه Razborov و کلاس‌های NC ، لم Hastad، پیچیدگی حسابی (Arithmetic) و مسائل مربوط به آن، پیچیدگی شمارشی و کلاس $\#P$ و قضیه Toda، (مباحث تکمیلی با نظر استاد: نظیر Fine-grained Complexity یا Parametrized Complexity یا Communication Complexity و تولید اعداد شبه تصادفی، Expander ها و Extractor ها و توابع یک طرفه و ارتباط آن‌ها یا مباحث تکمیلی دیگر)

مراجع

- [1] Arora, Sanjeev, Barak, Boaz, *Computational Complexity: A Modern Approach*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.
- [2] Du, Ding-Zhu, Ko, Ker-I, *Theory of Computational Complexity*, Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization. Wiley-Interscience, New York, 2000.
- [3] Papadimitriou, Christos H, *Computational Complexity*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1993.
- [4] Goldreich, Oded, *Computational Complexity: A Conceptual Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge, 2008.



عنوان درس به فارسی: الگوریتم‌های موازی		عنوان درس به انگلیسی: Parallel Algorithms	
نوع درس و واحد			
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش‌نیاز:	
☒ تخصصی	☐ عملی	دروس هم‌نیاز:	
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	تعداد واحد:	4
☐ رساله / پایان‌نامه		تعداد ساعت:	64

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

معماری‌های موازی و مدل محاسباتی، روش‌های نوشتن برنامه‌های موازی، تحلیل الگوریتم‌های موازی و کلاس پیچیدگی الگوریتم‌های موازی، الگوریتم‌های موازی مبتنی بر حافظه مشترک، توپولوژی شبکه‌های پردازنده‌های موازی (mesh, torus, hypercube)، مرتب‌سازی و مسیریابی موازی، ابزارهای نوشتن الگوریتم‌های موازی مانند LAM-MPI و GPU، کاربرد الگوریتم‌های موازی در حل مسائل ریاضی مانند حذف گاوسی، مسائل ماتریسی، تبدیل فوریه، روش‌های تکراری حل دستگاه معادلات و مشتقات جزئی.

مراجع

- [1] Behrooz Parhami, *Introduction to Parallel Processing: Algorithms and Architectures*, Plenum Press, 2000.
- [2] F.T. Leighton, *Introduction to Parallel Algorithms and Architectures: Arrays, Trees, Hypercubes*, Morgan Kaufmann, 1992.



عنوان درس به فارسی: الگوریتم‌های تصادفی		عنوان درس به انگلیسی: Randomized Algorithms	
نوع درس و واحد			
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش نیاز:	
☒ تخصصی	☐ عملی	دروس هم نیاز:	
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

پارادایم‌های طراحی الگوریتم‌های تصادفی، ابزارهای مورد نیاز شامل مبانی احتمال، مدل محاسباتی و کلاس‌های پیچیدگی تصادفی، محدوده‌های تصادفی مانند Chernoff Bound، زنجیره‌های مارکف و پیمایش تصادفی، روش‌های احتمالی و احتمال شرطی، روش‌های مبتنی بر نظریه بازی‌ها و نمونه‌برداری و انحراف، روش‌های جبری، داده‌ساختارهای تصادفی، کاربرد الگوریتم‌های تصادفی در هندسه محاسباتی، برنامه‌ریزی خطی، گراف و شمارش.

مراجع

- [1] R. Motwani, P. Raghavan, *Randomized Algorithms*, Cambridge University Press, 1995.
- [2] J. Hromkovic, *Design and Analysis of Randomized Algorithms*, EATCS Series, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [3] J. Hromkovic, *Algorithms for Hard Problems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.



عنوان درس به فارسی: الگوریتم‌های پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Algorithms	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش‌نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم‌نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

معرفی مدل‌های محاسباتی شامل (حافظه اصلی، حافظه خارجی و جویباری)، معرفی مدل‌های الگوریتمی شامل (قطعی، تقریبی، تصادفی، موازی و برخط)، معرفی معیارهای ارزیابی کارایی شامل (حافظه و زمان اجرا)، معرفی مدل‌های تحلیل شامل (بهترین حالت، بدترین حالت، حالت متوسط، تحلیل سرشکنی و تحلیل رقابتی). داده ساختارهای پیشرفته شامل (انواع هرم‌ها شامل (دودویی، دوجمله‌ای، فیبوناچی و چاق)، درخت Splay، درخت و آرایه پیشوندی و کاربرد آنها)، الگوریتم‌های تطابق رشته‌ها، الگوریتم‌های شبکه شاره و کاربردهای آن، پیچیدگی محاسبه شامل (معرفی کلاسهای پیچیدگی P و NP، کاهش چندجمله‌ای، اثبات NP-تمام بودن مساله ارضاپذیری، اثبات مسائل دیگری از کلاس NP-تمام در حوزه‌های مختلف شامل (ترکیبیات و گراف، مسائل عددی، مسائل منطقی و مجموعه‌ها و افراز)، عدم تقارن و کلاس co-NP، کلاس مسائل PSPACE) معرفی الگوریتم‌های تقریبی شامل (الگوریتم‌های تقریبی با ضریب تقریب ثابت، معرفی نتایج سختی (Hardness-Result) و عدم وجود الگوریتم با ضریب ثابت، نمونه الگوریتم‌های با ضریب تقریب لگاریتمی، حل نمونه مسائل پوشش راسی، فروشنده دوره گرد و حالت متریک آن و درخت اشتاینر، معرفی الگوریتم‌های تقریبی PTAS و FPTAS و حل نمونه مسائل مانند کوله پشتی، استفاده از برنامه‌ریزی خطی برای حل تقریبی مسائل و معرفی تکنیک گردکردن تصادفی، گردکردن تدریجی و integrality gap، معرفی روش Semi-definite programming)، معرفی الگوریتم‌های تصادفی شامل (دلایل و کاربردهای الگوریتم‌ها و روش‌های تصادفی برای افزایش سرعت، سادگی و امکانپذیری الگوریتم‌ها و نیز اثبات ویژگی‌ها به روش احتمالاتی (Probabilistic Method)، حل برخی مسائل بصورت تصادفی از جمله برش کمینه، پوشش مجموعه‌ای، ضرب ماتریس‌ها و تطابق رشته‌ها و چندجمله‌ای‌ها).

مراجع

- [1] T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, and C. Stein, *Introduction to Algorithms*, MIT Press, 2001.
- [2] Motwani and Raghavan, *Randomized Algorithms*, Cambridge University Press, 1995.
- [3] Nancy Lynch, *Distributed Algorithms*, Morgan Kaufmann Publishers, 1996.
- [4] RE Tarjan, *Data Structures and Network Algorithms*, SIAM, 1983.
- [5] Groetschel, Lovasz, Schrijver (aka GLS), *Geometric Algorithms and Combinatorial Optimization*, Springer-Verlag, 1993.
- [6] Vijay Vazirani, *Approximation Algorithms*, Springer, 2010.



عنوان درس به فارسی: نظریه الگوریتمی بازی‌ها		عنوان درس به انگلیسی: Algorithmic Game Theory	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش‌نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

مروری بر نظریه‌ی بازی‌ها (شامل بازی‌های جمع-صفر و جمع-دل‌خواه، تعادل‌های خالص و آمیخته. بازی‌های تکراری، بازی‌های به فرم گسترده، تعادل‌های زیربازی-کامل، تعادل نش و پیچیدگی محاسباتی یافتن آن، بازی‌های پتانسیلی و دینامیک بهترین پاسخ، تعادل‌های هم‌بسته و دینامیک‌های بدون پشیمانی، بازی‌های هموار و کران‌های بهای هرج و مرج، مثال‌هایی از بازی‌های مسیریابی و موقعیت‌یابی).

مقدمات طراحی ساز و کار (مکانیسم)، لم Myerson، طراحی ساز و کار الگوریتمیک، مزایده‌های (حراج‌های) قیمت اول و قیمت دوم، حراج‌های بهینه و صادقانه، قضیه‌ی هم‌ارزی درآمد، مزایده‌های با سود بیشینه، مزایده‌های تقریباً بهینه، مکانیسم VCG، مزایده‌های طیفی، انواع توابع مطلوبیت و تحلیل ریسک‌پذیری افراد، تبادل کلیه و تطابق‌های پایدار، مسیریابی خودخواه و هزینه هرج و مرج، تامین بیش از حد در شبکه، سلسله مراتب مفهوم تعادل، تعادل نش قوی و تعادل نش بهترین حالت، بهترین پاسخ در بازی‌ها، عدم پشیمانی در بازی‌ها، قضیه Minimax، تعادل نش خالص و PLS-completeness، تعادل نش آمیخته و PPAD.

مراجع

- [1] N. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, and V. V. Vazirani (eds), *Algorithmic Game Theory*, Cambridge University Press, 2007, 2011.
- [2] Jason D. Hartline, *Mechanism Design and Approximation*, <http://jasonhartline.com/MDnA/>.
- [3] Shoham and Leyton-Brown, *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*, Cambridge University Press, 2008.
- [4] T. Roughgarden, *Algorithmic Game Theory*, <https://cacm.acm.org/magazines/2010/7/95063-algorithmic-game-theory/fulltext>, (CACM July 2010).
- [5] T. Roughgarden, *An Algorithmic Game Theory Primer*, <http://timroughgarden.org/papers/tcs08.pdf>



عنوان درس به فارسی: الگوریتم‌های تکراری و وردشی		عنوان درس به انگلیسی: Iterative and Variational Algorithms	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش‌نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس آشنایی با مبانی نظری الگوریتم‌های تکراری و وردشی است که بر مبنای اصل وردشی گیز و روش تکرار انتروپی نسبی حاصل می‌شوند و در نهایت انواع الگوریتم‌های از جنس Expectation-Maximization یا انواع الگوریتم‌های از جنس Belief Propagation را نتیجه می‌دهند. بخش اول درس به توضیح مفاهیم مرتبط با انتروپی نسبی و نقش آن در تمرکز اندازه و Large Deviation و دوگانی آن با تابع پارش لگاریتمی به همراه قضیه Donsker-Varadhan و تبیین دوگانی مسایل Maximum Entropy و Maximum Likelihood اختصاص دارد و استخراج الگوریتم BP از تقریب Bethe و همچنین قضیه اساسی Csiszar برای همگرایی روش تکرار روی انتروپی نسبی، و نظریه mean field از قسمت‌های اصلی بخش اول است. بخش دوم درس به کاربردهای جدی این الگوریتم‌ها اختصاص دارد که مدل‌های مخلوط (Mixture) و HMM و از مثال‌های اصلی درس هستند و استاد با توجه به سلیقه و کلاس درس میتواند مباحث زیر را نیز مورد بحث قرار دهد: نمایش Loop Series و روش تقریب ناحیه‌ای Bethe در قسمت نظری و فیلترهای کالمن، کاربردها در یادگیری تقویتی، کاربردها در دیکدینگ و کدهای LDPC، مدل‌های Ising و بحث انتقال فاز.

مراجع

- [1] M. Mezard and A. Montanari, *Information, Physics, and Computation*, Oxford University Press 2009.
- [2] C. L. Byrne, *Iterative Optimization in Inverse Problems*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014.
- [3] I. Csiszar and P. C. Shields, *Information Theory and Statistics: a tutorial*, Foundation and Trends in Communications and Information Theory, Vol 1, 2004.
- [4] M. J. Wainwright and M. I. Jordan, *Graphical Models, Exponential Families, and Variational Inference*, Foundation and Trends in Machine Learning, Vol 1, 2008.



عنوان درس به فارسی: گراف‌ها و الگوریتم‌ها		عنوان درس به انگلیسی: Graphs and Algorithms	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش‌نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	تعداد واحد:	4
رساله / پایان‌نامه □		تعداد ساعت:	64

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

یادآوری مفاهیم اصلی از نظریه گراف و نظریه پیچیدگی محاسبه، الگوریتم‌های کوتاهترین مسیر و روش‌های کلی BFS و DFS، الگوریتم‌های مرتبط درخت فراگیر، الگوریتم‌های مرتبط با تطابق‌ها با تاکید بر روشهای محاسبه پرممنت و پیچیدگی محاسباتی آنها و الگوریتم‌های کلی تر تطابق‌های وزن دار و b-تطابق‌ها، الگوریتم‌های مرتبط با همبندی با تاکید بر رهیافت‌های مختلف دوگانی و طیفی و عرض درختی، الگوریتم‌های مرتبط با رنگ‌آمیزی و جریان با تاکید بر دوگانی و اهمیت ساختاری گراف‌ها بالاخص ماینورها و تاثیر آنها، تحلیل موضوع پیچیدگی محاسباتی الگوریتم‌های رنگ‌آمیزی و جریان و ارتباط آنها با حالت‌های ساده شده نظیر SBM، الگوریتم‌های مرتبط با TSP، با تاکید بر مفاهیم تقریب‌ناپذیری و ارتباط آنها با مسایل قبلی، الگوریتم‌های مرتبط با پوشش و انواع آن در گراف‌ها و ارتباط‌های مختلف آن با مسایل رمزی و هم‌پیرامونی. (موضوعات تکمیلی مورد نظر استاد)

مراجع

- [1] D. Jungnickel, *Graphs, Networks and Algorithms*, ed. IV, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998, 2004, 2008, 2013.
- [2] W. Kocay and D. L. Kreher, *Graphs, Algorithms, and Optimization*, 2nd ed., CRC Press, 2016.
- [3] T. Kloks, *Advanced graph Algorithms*,
https://www.cse.iitd.ac.in/~naveen/courses/CSL851/advanced_graph_algorithms.pdf



عنوان درس به فارسی: الگوریتم‌های تقریبی		عنوان درس به انگلیسی: Approximation Algorithms	
نوع درس و واحد			
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش‌نیاز:	
☒ تخصصی	☐ عملی	دروس هم‌نیاز:	
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان‌نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

ضرورت الگوریتم‌های تقریبی NP-complete و NP-Hardness، نمونه‌هایی از الگوریتم‌های تقریبی برای مسائل NP-complete، کلاس‌های پیچیدگی الگوریتم‌های تقریبی، PTAS و FPTAS، روش‌های گرد کردن تصادفی، حل تصادفی برنامه‌ریزی خطی و روش‌های Primal-Dual و Relaxation، Semidefinite Programming.

مراجع

- [1] D. P. Williamson and D. B. Shmoys, *The Design of Approximation Algorithms*, Cambridge University Press, 2011.
- [2] V. Vazirani, *Approximation Algorithms*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2001.
- [3] J. Hromkovic, *Algorithms for Hard Problems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.



عنوان درس به فارسی: هندسه محاسباتی			
عنوان درس به انگلیسی: Computational Geometry		نوع درس و واحد	
دروس پیش نیاز:		پایه ☐ نظری ☒	
دروس هم نیاز:		تخصصی ☒ عملی ☐	
تعداد واحد:		4	اختیاری ☐ نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:		64	رساله / پایان نامه ☐

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

اشیاء هندسه مانند نقطه، خط، پاره خط، چندضلعی و چندوجهی در فضای چندبعدی هندسی و نحوه مدلسازی و نمایش آنها، تقاطع پاره خطها، اشتراک نیم صفحه ها، مثلث بندی، پوش محدب، نمودار ورنوی، مثلث بندی دلونی، جستجوی بازه، داده ساختارهای هندسی برای مکان یابی و جستجو اشیاء هندسی، برنامه ریزی حرکت.

مراجع

[1] Mark de Berg, Otfried Cheong, Marc van Kreveld, and Mark Overmars, *Computational Geometry*, Springer, 2010



عنوان درس به فارسی: محاسبات کوانتومی		عنوان درس به انگلیسی: Quantum Computing	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

پس از مرور مختصری بر جبر خطی و نمایش دیراک، این درس شامل مباحث فرمول‌بندی ریاضی نظریه کوانتوم و اصول موضوعه مکانیک کوانتومی، ماتریس چگالی، اندازه‌گیری‌ها و ابرعملگرهای کوانتومی، معیارهای فاصله (فاصله اثر و وفاداری)، مدل‌های مداری و مجموعه گیت‌های جهانی، قضیه عدم همسانه‌سازی، سپس پروتکل‌های درنوردی کوانتومی و کدگذاری چگال، نامساوی بل، نمونه‌هایی از الگوریتم‌های کوانتومی نظیر الگوریتم سیمون، الگوریتم شور، الگوریتم جستجوی گروور و الگوریتم دویچ-جوزا، است. این درس شامل برخی مباحث تکمیلی مورد نظر استاد نظیر مباحث زیر نیز خواهد بود:

- کدگذاری کوانتومی
- باند هولوو
- مباحث تکمیلی الگوریتم‌های کوانتومی (قدم‌زدن کوانتومی، مساله زیرگروه مخفی)
- محاسبات کوانتومی بی‌دررو
- محاسبات کوانتومی بر اساس اندازه‌گیری

مراجع

[1] Nielsen, Michael and Issac Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press, 2011.



عنوان درس به فارسی: محاسبات کوانتومی پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Quantum Computing	
نوع درس و واحد		محاسبات کوانتومی	
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

این درس شامل مباحثی پیشرفته در زمینه محاسبات کوانتومی علی‌الخصوص الگوریتم‌های کوانتومی است. پس از مرور کوتاه مدل مداری کوانتومی، این درس به الگوریتم‌های تقریب فاز، لگاریتم گسسته، مسئله زیرگروه مخفی، قدم‌زدن‌های کوانتومی و پیچیدگی پرسمان کوانتومی می‌پردازد. مباحث تکمیلی این درس با نظر استاد می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- مساله هامیلتونی موضعی و پیچیدگی محاسباتی آن
- مساله شبیه‌سازی هامیلتونی کوانتومی
- محاسبات کوانتومی بی‌دررو

مراجع

[1] Andrew Childs, *Lecture Notes on Quantum Algorithms*,
<https://www.cs.umd.edu/~amchilds/qa>



عنوان درس به فارسی: آنالیز محاسباتی		عنوان درس به انگلیسی: Computational Analysis	
نوع درس و واحد			
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش نیاز:	
☒ تخصصی	☐ عملی	دروس هم نیاز:	
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	تعداد واحد:	4
رساله / پایان نامه		تعداد ساعت:	64

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

منطق ساختی، اعداد حقیقی و توابع حقیقی محاسبه پذیر، مجموعه های بسته و فشرده محاسبه پذیر، محاسبه پذیری و ماشین های تورینگ نوع ۲، محاسبه پذیری روی فضای کانتور، انتگرال و مشتق روی فضای توابع پیوسته و تحلیلی، پیچیدگی محاسبه (پیدا کردن صفر توابع)، فضاها ی هیلبرت، قضیه هان-باناخ، قضیه بیر.

مراجع

- [1] K. Weihrauch, *Computable Analysis, an Introduction*, Springer, 2000.
 [2] D. Bridges, L.S. Vita, *Techniques of Constructive Analysis*, Springer, 2006.



عنوان درس به فارسی: نظریه شبکه محاسباتی		عنوان درس به انگلیسی: Computational Network Theory	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف اصلی این درس آشنایی با الگوریتم‌هایی است که برای تحلیل شبکه‌های پیچیده که نوعا دارای ساختار نامشخص و سایز بزرگ هستند به کار می‌رود. این مدل‌های شبکه اصولا در بسیاری از موارد نظیر شبکه‌های عصبی، شبکه‌های زیستی، شبکه‌های اجتماعی یا شبکه‌های کامپیوتری یا اینترنت نمود پیدا می‌کنند و این موارد می‌توانند به عنوان مثال‌ها یا حالات خاص برای تفهیم بهتر الگوریتم‌ها در درس به کار برده شوند. محتوی درس کلا به سه بخش اصلی تقسیم می‌شود. بخش اول به بررسی الگوریتم‌های مربوط به تحلیل و استخراج ساختار شبکه اختصاص دارد که در آن الگوریتم‌های مختلف خوشه‌بندی و Community Detection و الگوریتم‌های مختلف کشف Motif بر اساس آخرین تحولات بحث و بررسی می‌شوند. در بخش دوم درس، الگوریتم‌های مختلف مربوط به شبکه‌ها در حالت ایستا ولی برای شبکه‌های پیچیده که از ساختار غیر مشخص و سایز بزرگ برخوردار هستند مورد بحث قرار می‌گیرند. این الگوریتم‌ها می‌توانند طیف وسیعی از مسائل نظیر مسایل مسیریابی یا مسایل توزیع بار و ظرفیت را در بر گیرند. در بخش سوم الگوریتم‌های مربوطه برای شبکه‌های پویا که در زمان در حال تغییر هستند مورد بحث قرار می‌گیرند که در آن الگوریتم‌های مربوط به مدل‌های گراف‌های تصادفی یا مدل‌های دیگر انواع گراف‌های دینامیک مورد بحث قرار می‌گیرد و بنا به تشخیص استاد درس می‌تواند از سطح الگوریتم‌های پایه خارج شده و در سطح پروتوکل‌ها نیز بر روی شبکه‌های پویا نظیر سیستم‌های چند عاملی یا سلولار نیز بحث شود.

مراجع

- [1] M. Dehmer, F. Emmert-Streib, S. Pickl, *Computational Network Theory: Theoretical Foundations and Applications*, Wiley-Blackwell, 2015.
- [2] K. Erciyes, *Complex Networks: an algorithmic perspective*, CRC Press, 2017.
- [3] A.-L. Barabási, *Network Science*, Cambridge University Press, 2016.
- [4] A. Barrat, M. Barthélemy and A. Vespignani, eds., *Dynamical Processes on Complex Networks*, Cambridge University Press, 2008.



عنوان درس به فارسی: مباحثی در نظریه محاسبه		عنوان درس به انگلیسی: Topics in Theory of Computing	
نوع درس و واحد		اجازه استاد درس	
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش نیاز:	
☐ عملی	☒ تخصصی	دروس هم نیاز:	
☐ نظری-عملی	☐ اختیاری	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مباحث پیشرفته و یا جدید در نظریه محاسبه که با نظر استاد درس و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ارائه می شود.

مراجع

کتابها و مقالات در مجله های علمی متناسب با مباحث مورد بحث تعیین می شوند.



دروس زمینه تخصصی

محاسبات نرم

و هوش مصنوعی



عنوان درس به فارسی: محاسبات نرم پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Soft Computing	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس آشنایی با مفاهیم پیشرفته در زمینه محاسبات نرم است. در این رویکرد با الهام از پدیده‌های طبیعی، مانند پدیده‌های زیستی تلاش می‌شود تا روش‌هایی برای حل مسئله‌ها تولید شود. معرفی روش‌های محاسبات نرم، منطق فازی، مجموعه‌های فازی، استدلال‌های تجربی، شبکه‌های عصبی یادگیری، الگوریتم‌های ژنتیکی، الگوریتم‌های اکتشافی و فرااکتشافی، جستجوی تصادفی، مدل‌سازی فازی-عصبی، کاربردها و مطالعات موردی، (مباحث منتخب با نظر استاد). این مفاهیم و روش‌ها در بسیاری از زمینه‌های کاربردی مانند تشخیص پزشکی، بینایی رایانشی، تشخیص دست خط، تشخیص الگو، هوش ماشین، بهینه سازی شبکه، طراحی VLSI به کار می‌رود.

مراجع

- [1] J.S.R.Jang, C.T.Sun and E.Mizutani, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, 1997.
- [2] Timothy J.Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, Willey, 2010.
- [3] Davis E.Goldberg, *Genetic Algorithms: Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.
- [4] Rajasekaran and G.A.V.Pai, *Neural Networks, Fuzzy Logic and Genetic Algorithms*, Prentice Hall, 2003.
- [5] R.Eberhart, P.Simpson and R.Dobbins, *Computational Intelligence - PC Tools*, AP Professional, 1996.
- [6] Haykin, Simon. *Neural networks and learning machines*, 3/E. Pearson Education India, 2010.



عنوان درس به فارسی: هوش مصنوعی پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced AI	
نوع درس و واحد			
نظری ☒ پایه ☐			دروس پیش نیاز:
عملی ☐ تخصصی ☒			دروس هم نیاز:
نظری-عملی ☐ اختیاری ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس آشنایی دانشجو با تکنیک‌های جستجو و تصمیم‌گیری در هوش مصنوعی مدرن و قابلیت استفاده از آن‌ها برای حل مسئله‌هاست. در این درس مباحث پیشرفته هوش مصنوعی در سه بخش یادگیری (Learning)، استدلال (Reasoning) و برنامه‌ریزی (Planning) مطرح می‌شود. دانشجو پس از گذراندن درس باید بتواند عاملی هوشمند طراحی کند که با کنشگری با محیط خواص آن را یادگیری کند، با استدلال خواصی از محیط را که به طور مستقیم قابل دریافت از محیط نیستند را استخراج کند و یک برنامه‌ریزی برای رسیدن به هدف انجام دهد.

مراجع

- [1] D. L. Poole, A. K. Mackworth, *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*, Cambridge University Press, 2010.
- [2] Gelfond, Michael, and Yulia Kahl. *Knowledge representation, reasoning, and the design of intelligent agents: The answer-set programming approach*. Cambridge University Press, 2014.



عنوان درس به فارسی: تشخیص الگو		عنوان درس به انگلیسی: Pattern Recognition	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

درس تشخیص الگو به تحلیل، طراحی، و توسعه روش‌های طبقه‌بندی یا توصیف الگوها، اشیاء، سیگنال‌ها و فرایندها می‌پردازد. در قلب این موضوع توانایی استنباط رفتار آماری داده از مجموعه داده‌های محدود و تخصیص داده به دسته‌ها بر اساس یک توصیف کلی از فاصله در یک فضای احتمالی قرار دارد. پس از گذراندن درس، دانشجو باید درک روشنی از طراحی و توسعه یک سیستم تشخیص الگو و رویکردهای اصلی در تشخیص الگوهای آماری و نحوی داشته باشد. دانشجو همچنین با موضوعات نظری درگیر در طراحی سیستم تشخیص الگو مانند مشکلات تحلیل داده در ابعاد بالا آشنا می‌شود.

مراجع

- [1] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2006.
- [2] C. M. Bishop, *Neural Network for Pattern Recognition*, Oxford, 1995.



عنوان درس به فارسی: پردازش زبان های طبیعی		عنوان درس به انگلیسی: Natural Language Processing	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

پردازش زبان طبیعی (NLP) و متن کاوی دانش استخراج بینش از مقادیر زیادی از داده های مرتبط با زبان طبیعی است. هدف این دوره ارائه مقدماتی نسبتاً گسترده در زمینه پردازش زبان طبیعی، مطالعه سیستم های محاسباتی است که می توانند درک و استنباط از پردازش زبان انسان داشته باشند. مسئله هایی که در این درس پوشش داده می شوند شامل مدلسازی، صورت بندی و الگوریتم های مرتبط که در مراحل تحلیل (تحلیل نحوی، تحلیل معنایی و نظایر آن) و تولید یک متن است. تمرکز اصلی این دوره بر درک اجزاء مختلف یک سیستم پردازش زبان طبیعی خواهد بود، و شامل الگوریتم های حل بهینه این مسئله ها و روش های ارزیابی عملکرد آنها است. مباحث درس شامل موضوعات عمومی و همچنین الگوریتم های انتزاعی خواهد کرد.

مراجع

- [1] D. Jurafsky, J. H. Martin, *Speech and Language Processing: An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistic, and Speech Recognition*, Prentice Hall, 2009.
- [2] V. A. Fomichov, *Semantics Oriented Natural Language Processing: Mathematical Models and Algorithms*, Springer, 2010.



عنوان درس به فارسی: یادگیری ماشین		عنوان درس به انگلیسی: Machine Learning	
نوع درس و واحد			
پایه ☐ نظری ☒			دروس پیش نیاز:
تخصصی ☒ عملی ☐			دروس هم نیاز:
اختیاری ☐ نظری-عملی ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

درس به مروری سریع به مفاهیم پایه یادگیری ماشین و سپس بررسی مفاهیم پیشرفته تر یادگیری ماشین می پردازد. مباحث درس شامل مباحث پایه یادگیری، یادگیری هسته، روش های جمع بندی و خلاصه سازی، پیش بینی ساختاری، کاهش بعد، تخمین در بعد پایین، بهینه سازی داده های بزرگ، یادگیری توزیع شده، یادگیری طیفی، یادگیری بیزی، دسته بندی چند کلاسه، انطباق با دامنه و حذف سوگیری، انتقال و یادگیری نیمه نظارت شده، یادگیری فعال، پیش بینی سری زمانی، یادگیری آگاه از حریم خصوصی است.

مراجع

- [1] E. Alpaydin, *Introduction to Machine Learning*, MIT Press, 2003.
 [2] S. Marsland, *Machine Learning, an Algorithmic Perspective*, CRC Press, 2009.



عنوان درس به فارسی: یادگیری تقویتی		عنوان درس به انگلیسی: Reinforcement Learning	
نوع درس و واحد		یادگیری ماشین	
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

برای تحقق بخشیدن هوش مصنوعی، نیازمند تولید سیستم‌های خودمختاری هستیم که خودشان یادگیرند که تصمیم‌های مناسبی اتخاذ کنند. یادگیری تقویتی یک الگوی قدرتمند برای انجام این کار است و به طیف عظیمی از کاربردها از جمله رباتیک، بازی، و سیستم بهداشت مربوط است. این کلاس مقدمه‌ای جامع در زمینه یادگیری تقویتی فراهم می‌کند و دانشجویان با چالش‌ها و رویکردهای اصلی، از جمله تعمیم و اکتشاف آشنا می‌شوند. درس شامل مباحث یادگیری مدل-پایه، یادگیری Q، جستجوی سیاست‌گذاری، یادگیری انتقالی، یادگیری تقویتی معکوس، یادگیری تقویتی نظری است.

مراجع

- [1] Sutton, Richard S., and Andrew G. Barto. *Reinforcement learning: An introduction*, Robotica 17.2 (1999): 229-235.
- [2] Marco Wiering and Martijn van Otterlo. *Reinforcement Learning: State-of-the-Art*, Springer; 2012th edition.
- [3] Stuart J. Russell and Peter Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Pearson; 3rd edition (December 1, 2009).
- [4] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville, *Deep Learning*, The MIT Press, ISBN: 0262035618, 2016.



عنوان درس به فارسی: یادگیری عمیق		عنوان درس به انگلیسی: Deep Learning	
نوع درس و واحد		یادگیری ماشین	
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

این درس مفهوم یادگیری عمیق و تحقق آن را به کمک انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی معرفی می‌کند و مفاهیم پایه و دید لازم را برای کاربرد این نوع یادگیری و انجام پژوهش در ارتباط با آن، فراهم می‌آورد. این درس شامل مباحث نورون‌ها و مغز انسان، ساختار نورون‌ها، شبکه‌های عصبی طبیعی (مفاهیم، تعاریف)، بخش‌های سازنده شبکه‌های عصبی، شبکه عصبی پرسپترون، شبکه تک لایه پرسپترون، حل مساله دسته‌بندی به کمک پرسپترون و مسائل مرتبط، مسائل جدایی پذیر خطی، شبکه چند لایه پیش‌رو و قاعده یادگیری پس‌انتشار خطا، حل مسائل دسته‌بندی و رگرسیون (تقریب تابع) به کمک این شبکه‌ها، بهبود شبکه پس‌انتشار خطا و نسخه‌های مختلف آن، نرخ آموزش و قدرت شبکه، روش‌های تنظیم (Regularization) در یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی کانولوشن، خودکدگذارها (Auto-encoders)، ماشین بولتزمن، کاربردهای یادگیری عمیق در بینایی کامپیوتر، پردازش گفتار و پردازش زبان طبیعی است.

مراجع

- [1] I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, *Deep Learning*, MIT Press, 2016.
- [2] N.D. Lewis, *Deep Learning Made Easy With R: A Gentle Introduction for Data Science*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016.
- [3] J. Heaton, *Artificial Intelligence for Humans*, Volume 3: Deep Learning and Neural Networks, Heaton Research, Inc., 2015.
- [4] J. Patterson, A. Gibson, *Deep Learning: A Practitioner's Approach*, O'Reilly Media, 2017.
- [5] D. Yu, L. Deng, *Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach*, Springer, 2015.



عنوان درس به فارسی: هوش مصنوعی توزیع شده و عامل های هوشمند		عنوان درس به انگلیسی: Distributed AI and Intelligent Agents	
نوع درس و واحد		یادگیری ماشین	
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف اصلی این درس این است که دانش جویان با روش ها و تکنیک های اساسی هوش مصنوعی توزیع شده و فناوری چند عاملی آشنا شوند. به طور ویژه این روش ها در مسائل حل مسائل با کنترل غیر متمرکز، ارائه راه حل برای مسائل توزیع شده ذاتی، ارائه راه حل برای مشکلاتی که در آن تخصص توزیع می شود، کاربرد دارند. مباحث درس شامل مدل های کلی برای روش های هماهنگی، تکنیک های هماهنگی مشترک، ساختارهای سازمانی، تبادل اطلاعات در سطح متال، برنامه ریزی چند عاملی، و همگام سازی، روش های مذاکره: اصول، پروتکل ها، توالی تولید به عنوان مذاکره، قراردادهای مذاکرات خودکار، قابلیت همکاری: روش هایی برای همکاری بین عاملی، گفتار، FIPA، KQML، معماری های چند عامل: پشتیبانی معماری سطح پایین، توسعه نرم افزار عامل گرا، نظریه عامل: مبانی منطق معین، معماری BDI، معماری عامل: معماری مشورتی، واکنشی و ترکیبی، عوامل سیار: الزامات، پیاده سازی، ایمنی برای عوامل سیار، محیط برای عوامل سیار، برخی کاربردها است.

مراجع

- [1] Woolridge, Michael, and Michael J. Wooldridge. *Introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [2] B. Moulin, B. Chaib-draa. *An Overview of Distributed Artificial Intelligence*. In: G. M. P. O'Hare, N. R. Jennings (eds). *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, John Wiley & Sons, 1996, pp. 3-56.
- [3] J. Rosenschein and G. Zlotkin, *Rules of Encounter*, MIT Press, 1994, ISBN 9 780262 181594. (Chapters 1, 2 and 3).
- [4] E. H. Durfee, *Distributed Problem Solving and Planning*, in *Multiagent Systems* (G. Weiß ed.), MIT Press, Cambridge, MA., 1999, pp. 121-164.
- [5] Cohen, Philip R., and Hector J. Levesque. *Teamwork*. *Nous* 25.4 (1991): 487-512.
- [6] P. O'Brien, R. Nicol. *FIPA - Towards a Standard for Software Agents*. *BT Technology Journal*, Vol. 16, No. 3, pp. 51-59, 1998.
- [7] D. M. Chess, C. G. Harrison, A. Kershenbaum. *Mobile Agents: Are they a good idea?* Research Report, IBM Research Division, T.J. Watson Research Center, 1995, 21 p.
- [8] M. J. Wooldridge, N. R. Jennings. *Intelligent Agents: Theory and Practice*. *Knowledge Engineering Review*, 1995, 62 p.
- [9] Anand S. Rao, Michael P. Georgeff, *Modeling Rational Agents within a BDI-Architecture*, *Proceedings of the 2nd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'91)*, 1991.



- [10] M. Wooldridge, N. R. Jennings, and D. Kinny. *The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design*. In *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 3(3):285-312. 2000.
- [11] R. H. Guttman, A. G. Moukas, P. Maes. *Agent-mediated Electronic Commerce: A Survey*. 10 p.



عنوان درس به فارسی: مباحثی در محاسبات نرم و هوش مصنوعی			
عنوان درس به انگلیسی: Topics in Soft Computing and AI		نوع درس و واحد	
دروس پیش نیاز: اجازه استاد درس		☐ پایه ☒ نظری	
دروس هم نیاز:		☒ تخصصی ☐ عملی	
تعداد واحد: 4		☐ اختیاری ☐ نظری-عملی	
تعداد ساعت: 64		☐ رساله / پایان نامه	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مباحث پیشرفته و یا جدید در محاسبات نرم و هوش مصنوعی که با نظر استاد درس و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ارائه می شود.

مراجع

کتاب ها و مقالات در مجله های علمی متناسب با مباحث مورد بحث تعیین می شوند.



دروس زمینه

تخصصی

نظریه سیستم‌ها



عنوان درس به فارسی: مهندسی نرم افزار پیشرفته			
عنوان درس به انگلیسی: Advanced Software Engineering		نوع درس و واحد	
دروس پیش نیاز:		پایه ☐ نظری ☒	
دروس هم نیاز:		تخصصی ☒ عملی ☐	
تعداد واحد:		اختیاری ☐ نظری-عملی ☐	
تعداد ساعت:		رساله / پایان نامه ☐	
		4	
		64	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس پرداختن به مباحث پیشرفته در مهندسی نرم افزار با تاکید بر جنبه های نظری آنها است. قابل ذکر است که برخی از این مفاهیم ممکن است خود در قالب یک درس مستقل نیز ارائه شوند که مغایر با مطرح شدن حداقلی آنها در این درس نیست. بصورت خاص موارد زیر در این درس بحث خواهند شد: مبانی نظری متدلوژی های تولید نرم افزار و خط تولید محصول، مهندسی نیازها، مدلسازی شی گرا، الگوهای طراحی، مدیریت پروژه و خطر، مدلسازی و تحلیل تابعی، معیارها و اندازه گیری در نرم افزار، تست نرم افزار، توصیف رسمی و واریسی برنامه، روش های سرویس گرا و جنبه گرا.

مراجع

- [1] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*, Addison-Wesley, 1995.
- [2] S.W. Ambler, M. Lines, *Disciplined Agile Delivery: A Practitioner's Guide to Agile Software Delivery in the Enterprise*. IBM Press, 2012.
- [3] Ambler, S.W., Nalbone, J., and Vizdos, M.J. *The Enterprise Unified Process: Extending the Rational Unified Process*. Prentice-Hall, 2005.
- [4] OMG. *Software and Systems Process Engineering Metamodel Specification (v2.0)*. OMG, 2008.
- [5] K. Pohl, G. Böckle, F.J. van der Linden, *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques*, Springer, 2005.



عنوان درس به فارسی: سیستم عامل و محاسبات توزیع شده		عنوان درس به انگلیسی: Distributed Operating Systems and Computations	
نوع درس و واحد			
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

معرفی سیستم‌های توزیع شده، خصوصیات و کاربردهای سیستم‌های توزیع شده، مدل‌سازی سیستم‌های توزیع شده براساس گره‌های پردازش گر و اتصالات، زمان و وضعیت جهانی، پخش پیغام مطمئن، پروتکل‌های ارتباطی مسری (Epidemic)، سیستم‌های همزمان و ناهمزمان، سیستم‌های همگون و ناهمگون، اجماع و توافق، الگوریتم‌های انتخاب رهبر و توافق، الگوریتم‌های زمانبندی، ترائش‌های توزیع شده، الگوریتم‌های تعیین سازگاری در تکرار، گروه و تعاملات گروهی، سیستم‌های P2P، Check pointing، تحمل پذیری خطا.

مراجع

- [1] N. Lynch, *Distributed Algorithms*. Morgan Kaufmann, 1996.
- [2] H. Attiya and J. Welch, *Distributed Computing: Fundamentals, Simulations, and Advanced Topics*, 2nd ed. Wiley, 2004.
- [3] G. Tel, *Introduction to Distributed Algorithms*, 2nd ed. Cambridge University Press, 2000.
- [4] J A. Silberschatz, P. B. Galvin and G. Gagne, *Operating System Concepts*, 7th Edition, Addison Wesley, 2003.
- [5] A. Tanenbaum, *Modern Operating Systems*, 3rd Edition, Prentice-Hall, 2007.
- [6] M. Singhal, *Advanced Concepts In Operating Systems*, McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2011.
- [7] Andrew S. Tanenbaum, *Distributed Operating Systems*, Prentice Hall, 1995.



عنوان درس به فارسی: پایگاه داده پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Database	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مدل‌های پایگاه اطلاعاتی شامل موجودیت-رابطه، سلسله مراتبی، شبکه‌ای، تابعی، شی گرا و منطق گرا، طراحی سیستم‌های مدیریت پایگاه داده، امنیت در پایگاه داده، پایگاه داده توزیع شده، کنترل همروندی در پایگاه داده و پردازش تراکنش‌ها، سطوح حل مسأله همروندی و مهرزمانی، پشتیبان‌گیری و بازیافت، Rollback، پایگاه داده‌های بسیار حجیم، کاربردهای جدید پایگاه داده، الگوریتم‌ها و داده‌ساختارهای نگهداری داده‌های در حافظه جانبی، تحلیل و بهینه‌سازی پرس‌وجوها.

مراجع

- [1] E.F Codd, *The Relational Model for Database Management*, Ver 2, Addison Wesley, 1990.
- [2] T.M. Connolly, and C.E. Begg, *Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management* (3th Edition), New York: Addison-WesleyPublishing. 2003.
- [3] Ramez Elmasri and Shamkant B. Navathe, *Fundamentals of Database Systems*, Fifth edition, Addison-Wesley, 2006.
- [4] J. Gray and A. Reuter, *Transaction Processing: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann, 1993.



سیستم‌های بلادرنگ		عنوان درس به فارسی:
نوع درس و واحد		عنوان درس به انگلیسی:
☐ پایه ☒ نظری	Real-time Systems	دروس پیش نیاز:
☐ عملی ☒ تخصصی		دروس هم نیاز:
☐ نظری-عملی ☐ اختیاری	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان نامه	64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

کاربردهای سیستم‌های بلادرنگ، سیستم‌های بلادرنگ نرم و سخت، مدل مرجع برای سیستم‌های بلادرنگ، زمانبندی ایستا و پویا در حالت تک پردازنده، Intractability برای سیستم‌های قبضه‌ای و غیرقبضه‌ای، تسهیم مراجع در سیستم‌های چندپردازه‌ای، سیستم‌های بلادرنگ روی معماری‌های توزیع شده و چندپردازنده‌ای، زمانبندی اولویت دار برای وظایف دوره‌ای و یک باره، سیستم‌های ترکیبی شامل بلادرنگ و عادی، Fairness در سیستم‌های بلادرنگ، ارتباطات بلادرنگ، سیستم‌های عامل بلادرنگ.

مراجع

[1] D. Jane Liu, *Real Time Systems*, Prentice Hall, 2000.



عنوان درس به فارسی: سیستم‌های هوشمند		عنوان درس به انگلیسی: Intelligent Systems	
نوع درس و واحد			
■ نظری	☐ پایه	دروس پیش نیاز:	
☐ عملی	■ تخصصی	دروس هم نیاز:	
☐ نظری-عملی	☐ اختیاری	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

وظایف و مشخصات یک سیستم هوشمند، پارادایم‌های سیستم‌های تصمیم‌یار و خبره، تکنیک‌های حل مسأله در سیستم‌های هوشمند، روش‌های استنتاج بر مبنای قانون، کسب و استخراج نیازها، استدلال ماشینی، یادگیری ماشینی، اثبات نظریه، داده کاوی، ساختارهای مبتنی بر دانش، مدیریت عدم قطعیت، راستی آزمایی و اعتبارسنجی، تحلیل داده و ارائه اطلاعات.

مراجع

- [1] Efraim Turban and Jay E. Aronso, *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, 6th edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001.
- [2] Ralph Bergmann, *Experience Management Foundations, Development Methodology, and Internet-Based Applications*, LNCS Volume 2332, 2002.
- [3] E. Turban, R. Sharda, D. Delen, *Decision Support System and Business Intelligent Systems*, 9th edition, Prentice Hall, 2010.
- [4] G.M. Marakas, *Decision Support in the 21st Century*, 2nd edition, Prentice Hall, 2003.
- [5] C. Todman, *Designing a Data Warehouse: Supporting Customer Relationship Management*, Prentice Hall Professional Technical Reference, 2000.
- [6] S.A. Brown, *Customer Relationship Management: A Strategic Imperative in the World of e-Business*, John Wiley and Sons, 1999.
- [7] A.J. Gonzalez and D. D. Dankel, *The Engineering of Knowledge-Based Systems*, Prentice Hall, 2000.



عنوان درس به فارسی: کامپایلر پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Compiler	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

تحلیل جریان کنترلی، بهینه سازی دستورات کنترلی، تشخیص حلقه، بلوک بندی، بهینه سازی و تشخیص اجرای شرطها، شکل ظاهری کد (چیدمان)، بهینه سازی و تحلیل جریان داده ها، تولید کد، سیستم های چندپردازنده ای، چند ریسمانی، مدیریت و بهینه سازی Cache.

مراجع

- [1] S. Muchnick, *Advanced Compiler Design & Implementation*, Morgan Kaufmann, 1997.
 [2] A.V. Aho, *Compilers: Principles, Techniques, and Tools*, Addison-Wesley, 2007.



عنوان درس به فارسی: امنیت در سیستم‌های نرم‌افزاری		عنوان درس به انگلیسی: Security in Software Systems	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش‌نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم‌نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

جنبه‌های نظری امنیت در طراحی سیستم‌های نرم‌افزاری شامل (کنترل دسترسی، پارامترها و فراخوانی توابع، مدیریت حافظه، مدیریت خطاها، ثبت و پایش سابقه)، جنبه‌های نظری امنیت در شبکه و ارتباطات سیستمی شامل (تحلیل ترافیک شبکه، استخراج الگوها و تشخیص حمله و نفوذ، پروتکل‌های امن و سیستم‌های رمزنگاری در شبکه، گمنامی و احراز هویت در شبکه، حریم خصوصی)، جنبه‌های نظری امنیت در پایگاه داده شامل (مدل‌های امنیتی، کنترل دسترسی اختیاری و اجباری، محرمانگی در پایگاه داده آماری، امنیت در داده‌های حجیم، امنیت در فضای ابری و برونسپاری داده).

مراجع

- [1] S. Castano, M. G. Fugini, G. Martella, and P. Samarati, *Database Security*, Addison-Wesley, 1996.
- [2] E. Bertino, R. Sandhu, *Database Security-Concepts, Approaches, and Challenges*, IEEE Transaction on Dependable and Secure Computing, vol. 2, no. 1, 2005.
- [3] M. Bishop, *Computer Security: Art and Science*, 2nd ed: Addison-Wesley, 2003.
- [4] R. S. Sandhu, E. J. Coyne, H. L. Feinstein, and C. E. Youman, *Role-Based Access Control Models*, IEEE Computer, vol. 29, pp. 38-47, 1996.
- [5] William Stallings, *Network Security Essentials: Applications and Standards*, 4th ed., Prentice Hall, 2011.
- [6] William Stallings, *Cryptography & Network Security: principles and practice*, 5th ed., Pearson, 2011.
- [7] B. Forouzan, *Cryptography & Network Security*, McGraw-Hill, 2008.



عنوان درس به فارسی: مباحثی در نظریه سیستم‌ها		عنوان درس به انگلیسی: Topics in System Theory	
نوع درس و واحد			
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش‌نیاز:	
☒ تخصصی	☐ عملی	دروس هم‌نیاز:	
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان‌نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مباحث پیشرفته و یا جدید در نظریه سیستم‌ها که با نظر استاد درس و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ارائه می‌شود.

مراجع

کتاب‌ها و مقالات در مجله‌های علمی متناسب با مباحث مورد بحث تعیین می‌شوند.



دروس زمینه

تخصصی

محاسبات زیستی



عنوان درس به فارسی: بازسازی شبکه‌های زیست‌شیمیایی		عنوان درس به انگلیسی: Reconstruction of Biochemical Networks	
نوع درس و واحد			
☐ پایه	☒ نظری	دروس پیش‌نیاز:	
☒ تخصصی	☐ عملی	دروس هم‌نیاز:	
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان‌نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مروری بر مبانی سامانه‌های زیستی، واکنش‌های شیمیایی، سینتیک آنزیمی، بازسازی شبکه‌های زیست‌شیمیایی، شبکه‌های متابولیکی، شبکه‌های تنظیم‌کننده و خودتنظیمی، شبکه‌های علامت‌دهی، نمایش ریاضیاتی شبکه‌های بازسازی‌شده، خواص توپولوژیک شبکه‌های بازسازی‌شده، فضای سطری، ستونی و پوچی ماتریس استوکیومتری، ویژگی‌های فضای پاسخ، نمونه‌گیری از فضای پاسخ، آشنایی با نرم‌افزار کبرا و پایگاه داده‌های شبکه‌های بازسازی‌شده

مراجع

- [1] Palsson, Bernhard Ø. *Systems Biology: Properties of Reconstructed Networks*. Cambridge University Press, 2006.
- [2] Palsson, Bernhard Ø. *Systems Biology: Simulation of Dynamic Network States*. Cambridge University Press, 2011.



عنوان درس به فارسی: زیست‌شناسی محاسباتی			
عنوان درس به انگلیسی: Computational Biology		نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز:		پایه ☐	نظری ☒
دروس هم‌نیاز:		تخصصی ☒	عملی ☐
تعداد واحد:		اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:		رساله / پایان‌نامه ☐	
		4	
		64	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف از این درس آشنایی دانشجو با کلیت دانش زیست‌شناسی محاسباتی و بیوانفورماتیک و اصول اساسی آن است. در پایان این درس با اندکی مرور مسائل زیست‌شناسی سلولی-مولکولی، دانشجو تصویری کلی از مسائل مطروحه در بیوانفورماتیک و الگوریتم‌های آن خواهد داشت. مطالب درس شامل موارد زیر است: مقدمه و تاریخچه بیوانفورماتیک، مقدمه‌ای بر زیست‌شناسی سلولی و مولکولی شامل آشنایی با فرآیندهای دگمای مرکزی، انواع داده‌های بیوانفورماتیک (توالی، ساختار، شبکه)، مسئله‌های پایه‌ای در بیوانفورماتیک (شامل هم‌ردیفی، پیشگویی ساختار دوم، بازسازی شبکه، تولید درخت‌های فیلوژنی، آنالیز میکروآرایه، توالی‌یابی)، پایگاه داده‌های بیوانفورماتیکی، شبکه‌ها (شامل شبکه‌های اندرکنش، شبکه‌های تنظیمی، شبکه‌های سیگنالی).

مراجع

- [1] Pevsner, Jonathan. *Bioinformatics and functional genomics*. John Wiley & Sons, 2015.
- [2] Pevsner, Pavel, and Ron Shamir, eds. *Bioinformatics for biologists*. Cambridge University Press, 2011.
- [3] Ramsden, Jeremy. *Bioinformatics: an introduction*. Vol. 21. Springer, 2015.
- [4] Xiong, Jin. *Essential bioinformatics*. Cambridge University Press, 2006.



عنوان درس به فارسی: زیست‌شناسی محاسباتی پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Computational Biology	
نوع درس و واحد			
نظری ☒ پایه ☐			دروس پیش‌نیاز:
عملی ☐ تخصصی ☒			دروس هم‌نیاز:
نظری-عملی ☐ اختیاری ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف از این درس آشنایی دانشجویان با مباحث پیشرفته‌تر الگوریتم‌های مرتبط با زیست‌شناسی محاسباتی و بیوانفورماتیک است. انتظار می‌رود دانشجویان در درس زیست‌شناسی محاسباتی، آشنایی مقدماتی با الگوریتم‌های بیوانفورماتیک پیدا کرده باشند. هدف از این درس، تقویت و عمق بخشیدن به دانش الگوریتمی دانشجویان در این زمینه است. این درس شامل مطالب است: داده‌ساختارهای رشته‌ها، الگوریتم‌های تقریبی هم‌ردیفی توالی‌ها و بازآرایی ژنوم، الگوریتم‌های تقریب همسایگی، الگوریتم‌های برنامه‌ریزی خطی و صحیح برای تحلیل شبکه‌های زیستی، تحلیل ترانسکریپتوم، تحلیل پروتئوم، تحلیل متاژنوم، تحلیل درخت‌های تکاملی، تحلیل ساختارهای پروتئین.

مراجع

- [1] Veli Mäkinen, Djamal Belazzougui, Fabio Cunial, Alexandru I. Tomescu, *Genome-scale algorithm design*. Cambridge University Press, 2015.
- [2] Wing-Kin Sun, *Algorithms in Bioinformatics, A Practical Introduction*, CRC Press, 2010.
- [3] Ion Mandoiu, Alexander Zelikovsky, *Bioinformatics Algorithms, Techniques and Applications*, Wiley-Interscience, 2008



عنوان درس به فارسی: ژنومیک محاسباتی		عنوان درس به انگلیسی: Computational Genomics	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف از این درس، آشنایی دانشجویان با محتوای ژنوم موجودات و نحوه عملکرد آنها است. یادگیری مفاهیم ابتدایی تکامل و همچنین پیدا کردن اشتراک‌های معنادار بین ژنوم موجودات از جمله مواردی هستند که این درس به آنها می‌پردازد. نحوه استخراج و تحلیل داده‌ها نیز به دانشجویان آموزش داده می‌شود. یافتن عوامل تفاوت میان افراد یک گونه و ارتباط میان بیماری‌ها و ژنوم از مباحث دیگر این درس است. مطالب درس شامل موارد زیر است: مدل‌های تکاملی رشته‌های زیستی، ساخت درخت فیلوژنی، همدیفی‌های چندگانه، مدل‌های ژنتیک جمعیت، مقایسه ژنوم در سطح موجودات، مطالعه در گستره ژنوم (GWAS).

مراجع

- [1] Gusfield, Dan. *Algorithms on strings, trees and sequences: computer science and computational biology*. Cambridge University Press, 1997
- [2] Durbin, Richard, ed. *Biological sequence analysis: probabilistic models of proteins and nucleic acids*. Cambridge university press, 1998
- [3] Durrett, Richard. *Probability models for DNA sequence evolution*. Springer, 2008
- [4] Hein, Jotun, Mikkel Schierup, and Carsten Wiuf. *Gene genealogies, variation and evolution: a primer in coalescent theory*. Oxford university press, 2004



عنوان درس به فارسی: بهینه‌سازی در شبکه‌های متابولیکی		عنوان درس به انگلیسی: Optimization in Metabolic Network	
نوع درس و واحد		دروس پیش‌نیاز: بهینه‌سازی محدب، بازسازی شبکه‌های زیست‌شیمیایی	
نظری ☒	پایه ☐	دروس هم‌نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	تعداد واحد: 4	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	تعداد ساعت: 64	
رساله / پایان‌نامه ☐			

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مروری بر مبانی بهینه‌سازی محدب، مروری بر برنامه‌ریزی خطی و نظریه دوگانگی لاگرانژ، شبکه‌های زیست‌شیمیایی، آنالیز موازنه شار، تحلیل کمی جفت‌شدگی شار، ساده‌سازی و کاهش شبکه‌های متابولیکی، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته، تحلیل ترمودینامیکی شبکه‌های متابولیکی، برطرف سازی شکاف‌ها و ناسازگاری پیش‌بینی رشد در شبکه‌های متابولیکی، شناسایی مسیرهای متصل به متابولیت‌های هدف، بهینه‌سازی دو مرحله‌ای و طراحی محاسباتی سویه، برنامه‌ریزی غیرخطی و کاربردهای آن در شبکه‌های متابولیکی، برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته و کاربردهای آن در شبکه‌های متابولیکی

مراجع

- [1] Maranas, Costas D., and Ali R. Zomorodi. *Optimization Methods in Metabolic Networks*. John Wiley & Sons, 2016.
- [2] Palsson, Bernhard Ø. *Systems Biology: Constraint-based Reconstruction and Analysis*. Cambridge University Press, 2015.



عنوان درس به فارسی:		سامانه های زیستی	
عنوان درس به انگلیسی:		Systems Biology	
دروس پیش نیاز:	بازسازی شبکه های زیست شیمیایی	نوع درس و واحد	پایه ☐ نظری ☒
دروس هم نیاز:			تخصصی ☒ عملی ☐
تعداد واحد:	4	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	64	رساله / پایان نامه ☐	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

در این درس به مطالعه رویکردهای شاخه های مختلف ریاضی مانند منطق، معادلات دیفرانسیل، سیستم های دینامیکی، روش های عددی، شبیه سازی های تصادفی، نظریه گراف، علوم داده و ... به مدل سازی سامانه های زیستی مانند متابولیسم، تنظیم بیان ژن و ترانسکریپشن پیام پرداخته می شود. هدف نهایی درس کنار هم گذاشتن این نگاه های مکمل به وجوه مختلف این سامانه ها و بررسی پیچیدگی های ظاهرشونده از برهم کنش های بین آنهاست. در پایان درس باید دانشجویان قادر به تحلیل سیستمی ابعاد مختلف یک مثال مشخص مانند بیماری سرطان باشند.

مراجع

- [1] Covert, Markus W. *Fundamentals of Systems Biology: From Synthetic Circuits to Whole-cell Models*. CRC Press, 2015.
- [2] Kriete, Andres, and Roland Eils. *Computational Systems Biology: From Molecular Mechanisms to Disease*. Academic Press, 2013.



عنوان درس به فارسی: مباحثی در سامانه‌های زیستی		عنوان درس به انگلیسی: Topics in Systems Biology	
نوع درس و واحد		سامانه‌های زیستی	
نظری ■	پایه □	دروس پیش‌نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

مباحث پیشرفته و یا جدید در سامانه‌های زیستی که با نظر استاد درس و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ارائه می‌شود.

مراجع

کتاب‌ها و مقالات در مجله‌های علمی متناسب با مباحث مورد بحث تعیین می‌شوند.



دروسی زمینه

تخصصی

کدگذاری و رمزنگاری



عنوان درس به فارسی:		مبانی ریاضی کد و رمز	
عنوان درس به انگلیسی:		Mathematics of Coding and Cryptography	
نوع درس و واحد			
دروس پیش نیاز:		پایه ☐	نظری ☒
دروس هم نیاز:		تخصصی ☒	عملی ☐
تعداد واحد:	4	اختیاری ☐	نظری-عملی ☐
تعداد ساعت:	64	رساله / پایان نامه ☐	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

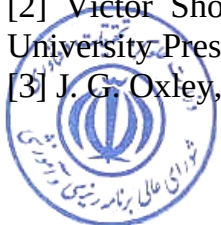
سرفصل درس

هدف از این درس آشنایی با مبانی و مفاهیم جبری و ترکیباتی مورد نیاز در نظریه رمزنگاری و کدگذاری است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مروری کوتاه بر مقدمات نظریه اعداد و جبر چون قضیه باقیمانده چینی، قضیه کوچک فرما، تابع اویلر، دنباله Lucas، نماد Jacoby و مطالب مرتبط
- الگوریتم‌های کارای ضرب، جمع، تقسیم، توان رساندن و نظایر آن در حلقه‌های متناهی و الگوریتم‌های مختلف پیمانه گرفتن مانند Barrett reduction و Montgomery reduction
- الگوریتم‌های غربالگری اعداد مرکب Bit-Array، Table-Lookup و Constructive Methods
- الگوریتم‌های آزمون اول بودن: آزمون‌های احتمالاتی Ballie-PSW، Solovay-Strassen، Miller-Rabin و آزمون قطعی Agrawal-Kayal-Saxena و مقایسه آنها از لحاظ پیچیدگی زمانی و حافظه مصرفی
- الگوریتم‌های تجزیه اعداد و مطالعه پیچیدگی محاسباتی آنها
- مبانی و تعاریف مقدماتی نظریه گروه‌ها
- میدان‌های متناهی و حلقه چند جمله‌ای‌ها - چند جمله‌ای‌های تحویل ناپذیر روی میدان‌های متناهی و توسیع میدانهای متناهی
- حساب خم‌های بیضوی
- نظریه ماتروید (در سطح تعاریف و اصول موضوعه و معادل بودن تعاریف مختلف ماترویدها)
- نمایش خطی ماترویدها و ماترویدهای نمایش پذیر و نمایش ناپذیر
- توابع زیر پیمانه‌ای و پلی ماترویدها
- بکارگیری کتابخانه اعداد بزرگ زبان ++C برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های ارائه شده در درس

مراجع

- [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.
- [3] J. G. Oxley, *Matroid Theory*, Oxford University Press, 2011.



عنوان درس به فارسی: نظریه اطلاعات و کاربرد		عنوان درس به انگلیسی: Information Theory and its Application	
نوع درس و واحد			
پایه ☐ نظری ☒			دروس پیش نیاز:
تخصصی ☒ عملی ☐			دروس هم نیاز:
اختیاری ☐ نظری-عملی ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس 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 است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- آنتروپی، آنتروپی شرطی و توام، آنتروپی نسبی، اطلاعات متقابل، نامساوی یسن (Jensen)، فانو
- خاصیت افراز مجانبی یکنواخت و خواص و اهمیت آن
- نرخ آنتروپی یک فرآیند تصادفی، آنتروپی و قدم زدن تصادفی
- فشرده‌سازی داده‌ها، نامساوی کرفت (Kraft)، کدهای بهینه، کدهای هافمن (Huffman)، کدگذاری شانون،
- ظرفیت کانال، انواع کانال‌ها و خواص آنتروپیک آنها، خواص ظرفیت کانال، نامساوی فانو و عکس قضیه کدگذاری،
- قضیه‌های شانون
- روش گونه‌ها

مراجع

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



عنوان درس به فارسی: نظریه اطلاعات پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Information Theory	
نوع درس و واحد		نظریه اطلاعات و کاربرد	
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس ارائه مباحث پیشرفته تر نظریه اطلاعات جهت استفاده در نظریه رمزنگاری و کدگذاری است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- اندازه اطلاعات
- نامساوی های شانون و نا-شانون
- لم کپی و کاربرد های آن
- پیچیدگی کولموگروف
- نظریه نرخ-انحراف
- نظریه اطلاعات و آمار (قضیه اعداد بزرگ - قضیه سانوف-آزمون فرض - اطلاعات چرنوف-اطلاعات فیشر-قضیه کرامر راثو)
- نامساوی توان-انتروپی
- نظریه اطلاعات و شمارش (شمارش تعداد همومورفیسم های گراف - لم شیرر)
- آنتروپی و نظریه گروه ها

مراجع

- [1] T.M.Cover and J.A.Thomas, *Elements, of Information Theory*, John Wiley, New York, 2006.
- [2] R. McEliece, *The Theory of Information and Coding*, Cambridge Univ. Press, 2004.
- [3] Y. Liang, H. V. Poor and S. Shamai, *Information Theoretic Security*, Now publishers Inc. 2009.
- [4] R. W. Yeung, *Information Theory and Network Coding*, Springer; 1st edition, 2008.



عنوان درس به فارسی: نظریه رمزنگاری		عنوان درس به انگلیسی: Theory of Cryptography	
نوع درس و واحد			
نظری	پایه	نظریه اطلاعات و کاربرد	
عملی	تخصصی	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی	اختیاری	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

دانشجویان در این درس نحو و امنیت اولیه‌های پایه رمزنگاری را می‌گیرند. همچنین، توانمندی لازم برای تبدیل یک سناریو مدل واقعی از یک فرآیند امنیتی را به یک مجموعه از مفاهیم حاوی تعاریف رسمی شامل نحو و امنیت فرا می‌گیرند و مهارت‌های لازم برای ارائه اولیه‌های رمزنگاری با امنیت اثبات پذیر را کسب می‌کنند. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مقدمات: رمزنگاری کلاسیک و مدرن، امنیت کامل و محدودیت‌های آن، امنیت محاسباتی، تمایزناپذیری محاسباتی، لم هبیرید
- رمزنگاری کلید خصوصی (مقارن): نحو سیستم رمز مقارن، تعاریف امنیتی مختلف برای رمز مقارن (تک پیمایی، چند پیمایی، متن اصلی انتخابی، متن رمزی انتخابی)، مولدهای شبه تصادفی، توابع شبه تصادفی، جایگشت‌های شبه تصادفی
- کد اصالت سنجی پیام: تفاوت محرمانگی و اصالت پیام، نحو کد اصالت سنجی پیام، تعاریف امنیتی (جعل ناپذیری ضعیف و قوی)، ساختارهای اصالت سنجی پیام (برای پیامهای با طول ثابت و متغیر)، رمزنگاری احراز اصالت شده
- توابع چکیده ساز و کاربردها: نحو و تعاریف امنیتی تابع چکیده ساز، ساخت کد اصالت سنجی پیام با استفاده از تابع چکیده ساز، حملات عام، مدل پیشگوی تصادفی، کاربردها (پروتکل‌های تعهد، درخت مرکل)
- رمزهای مقارن و توابع چکیده ساز عملی: معرفی چند رمزهای دنباله ای معروف (مانند RC4 و Salsa20/8)، معرفی چند رمز قالبی معروف (مانند DES و AES)، روشهای طراحی رمزهای قالبی (شبکه‌های فایستل و جایشینی-جایگشتی)، شیوه‌های بکارگیری رمزهای قالبی، روشهای طراحی توابع چکیده ساز (ساختارهای مرکل-دمگارد و اسفنجی)، چند تابع چکیده ساز معروف (مانند MD5 و SHA-3)
- رمزنگاری کلید عمومی (نامقارن): مرور کلی (تاریخچه، سناریوی استفاده، نحو و ...)، ناممکن بودن امنیت کامل، تعاریف امنیتی (متن اصلی انتخابی، متن رمزی انتخابی)، فرض‌های سختی (مساله لگاریتم گسسته، مساله‌های دیفی-هلمن محاسباتی و تصمیمی، مساله‌های تجزیه و محاسبه ریشه در هنگ اعداد مرکب)، سیستم‌های رمز نامقارن الجمال و RSA، رمزنگاری ترکیبی و پارادایم KEM-DEM
- امضای رقمی (دیجیتال): نحو و تعاریف امنیتی امضای رقمی، پارادایم hash-and-sign، امضای RSA و امضاهای مبتنی بر لگاریتم گسسته (DSA و اشنور)

مراجع

[1] Jonathan Katz, Yehuda Lindell: *Introduction to Modern Cryptography*, Second Edition. CRC Press 2014, ISBN 9781466570269.

[2] Dan Boneh and Victor Shoup: *A graduate course in applied cryptography*. Preprint version 0.5, Jan. 2020.



[3] Oded Goldreich: *The Foundations of Cryptography* - Volume 1: Basic Techniques. Cambridge University Press 2001, ISBN 0-521-79172-3.

[4] Oded Goldreich: *The Foundations of Cryptography* - Volume 2: Basic Applications. Cambridge University Press 2004, ISBN 0-521-83084-2.



عنوان درس به فارسی: رمزنگاری پیشرفته		رمزنگاری پیشرفته	
عنوان درس به انگلیسی: Advanced Cryptography		نوع درس و واحد	
دروس پیش نیاز:		نظریه رمزنگاری	
دروس هم نیاز:		تخصصی	
تعداد واحد:		4	نظری-عملی
تعداد ساعت:		64	رساله / پایان نامه

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف از این درس، آشنایی دانشجویان با مفاهیم پیشرفته تر رمزنگاری و فراهم کردن پیش نیازهای لازم برای مطالعه مقالات پیشرفته در این حوزه است. دانشجویان با گذراندن این درس فهم عمیق تری از اولیه های رمزنگاری در مقایسه با درس "نظریه رمزنگاری" بدست می آورند. همچنین، با مفاهیم بیشتر و پیشرفته تری از رمزنگاری مدرن، با تاکید بر روی جنبه های نظری، تعریف ها، و اثبات های رسمی، آشنا می شوند. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- اولیه های رمزنگاری نظری: مروری بر اولیه های پایه (مولد شبه تصادفی، تابع شبه تصادفی و جایگشت شبه تصادفی)، توابع یک-طرفه، جایگشت های یک-طرفه، جایگشت های درجه دار، اثبات به کمک استدلال ترکیبی، بیت های سخت، قضیه گلدراخ-لوین، ساخت مولد شبه تصادفی از تابع یک طرفه، ساخت تابع شبه تصادفی از مولد شبه تصادفی، ساخت جایگشت شبه تصادفی از تابع شبه تصادفی.
- اثبات دانش: اثبات ناتراوا، ساخت اثبات های ناتراوای غیر تعاملی (در سناریو مدل ها و تعاریف امنیتی مختلف)، پروتکل سیگما و اثبات های ناتراوای کارا، کاربردهای اثبات های ناتراوا.
- موضوعات پیشرفته در رمزنگاری کلید عمومی: مروری بر تعاریف نحوی و امنیتی، ساخت طرح رمزنگاری کلید عمومی دارای امنیت CPA از توابع درجه دار، امنیت CCA و خصیصه شکل پذیری، طرح رمزنگاری کرامر-شوپ، طرح رمزنگاری پثیه، طرح رمزنگاری گلدواسر-میکالی، امنیت CCA با تبدیل های عام (از توابع درجه دار (Hohenberger-Koppula-Waters)، از رمزنگاری کلید عمومی دارای امنیت CPA و اثبات های ناتراوای غیر تعاملی (Dolev-Dwork-Naor)، از طرح رمزنگاری کلید عمومی دارای امنیت CPA و مدل پیشگویی تصادفی (Fujisaki-Okamoto)، از طرح رمزنگاری کلید عمومی دارای امنیت CPA و مولد شبه تصادفی اشاره دار (Koppula-Waters).
- موضوعات پیشرفته در امضای رقمی: مروری بر مفاهیم امضای رقمی (نحو و امنیت)، ساخت امضای رقمی از توابع یک طرفه (امضای یکبار مصرف لمپورت، مبتنی بر زنجیر، مبتنی بر درخت)، ساخت امضاهای رقمی از جایگشت های درجه دار (full domain hash)، ساخت امضای رقمی از طرح های احراز هویت (Fiat-Shamir, Guillou-Quisquater, Schnorr).



- اولیه‌های رمزنگاری پیشرفته: رمزنگاری شناسه مبنا، رمزنگاری گزاره‌ای، رمزنگاری مبتنی بر خصیصه، رمزنگاری تابعی، مبهم‌سازی تمایزناپذیر، رمزنگاری هم‌ریخت.

مراجع

- [1] Jonathan Katz, Yehuda Lindell: *Introduction to Modern Cryptography*, Second Edition. CRC Press 2014, ISBN 9781466570269.
- [2] Dan Boneh and Victor Shoup: *A graduate course in applied cryptography*. Preprint version 0.5, Jan. 2020.
- [3] Oded Goldreich: *The Foundations of Cryptography* - Volumes 1,2, Cambridge University Press 2001.
- [4] Jonathan Katz: *Advanced Topics in Cryptography* (Lecture Notes). <http://www.cs.umd.edu/~jkatz/gradcrypto2>.
- [5] Jonathan Katz: *Digital Signatures*. Springer 2010.
- [6] Carmit Hazay, Yehuda Lindell: *Efficient Secure Two-Party Protocols - Techniques and Constructions*. Information Security and Cryptography, Springer 2010, pp. 3-254.



عنوان درس به فارسی:		پروتکل های رمزنگاری	
عنوان درس به انگلیسی:		Cryptographic Protocols	
دروس پیش نیاز:		نظریه رمزنگاری	
دروس هم نیاز:			
تعداد واحد:		4	
تعداد ساعت:		64	
نوع درس و واحد			
نظری	پایه		
عملی	تخصصی		
نظری-عملی	اختیاری		
رساله / پایان نامه			

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

این درس با هدف آشنایی با مکانیزم ها و خصیصه های پروتکل های رمزنگاری جهت راه اندازی و نگهداری خصیصه های امنیتی در نظر گرفته شده است. دانشجویان با گذراندن این درس یک مرور کلی و فهم مناسبی از مسائل، مفاهیم، تعاریف، مولفه های طراحی و تکنیک های اثبات برای پروتکل ها بدست آورده و نهایتاً مهارت های لازم برای تشریح، تحلیل و ساخت پروتکل های رمزنگاری امن را فرا می گیرند. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مقدمات: نظریه اعداد، نظریه گروه ها، نظریه احتمال، نظریه پیچیدگی، فرض های سخت محاسباتی (DLP, CDH, DDH)، مفهوم تمایزناپذیری، مدل پیشگوی تصادفی.
- پروتکل تبادل کلید: پروتکل پایه، حملات غیرفعال، حمله فرد در میانه، پروتکل تبادل کلید با استفاده از امضاهای رقمی، پروتکل تبادل کلید با استفاده از رمزنگاری مبتنی بر کلمه عبور.
- طرح های تعهد: تعاریف نحوی و امنیتی، طرح تعهد با استفاده از توابع درهم ساز، طرح تعهد با استفاده از مساله لگاریتم گسسته، نتایج عدم امکان در طرح های تعهد، طرح های تعهد هم ریخت
- پروتکل های احراز هویت: تعاریف نحوی و امنیتی، طرح های مبتنی بر کلمه عبور، زنجیره های درهم ساز یک-طرفه، پروتکل های پایه چالش-پاسخ (با استفاده از طرح های رمزنگاری کلید خصوصی/کلید عمومی، با استفاده از طرح های احراز اصالت کلید خصوصی/کلید عمومی)، پروتکل های احراز هویت ناتراوا (پروتکل ناتراوا Schnorr، پروتکل Schnorr و پروتکل Guillou-Quisquater)، پروتکل های احراز هویت پنهان کننده شاهد (Okamoto Protocol).
- اثبات های ناتراوا: پروتکل سیگما، ترکیب پروتکل های سیگما (Parallel, AND, EQ, OR, NEQ)، اثبات های سیگمای غیر تعاملی (امضای رقمی از پروتکل های سیگما، اثبات از اعتبارسنجی، امضاهای گروهی).
- رمزنگاری آستانه ای: تسهیم راز (طرح آستانه ای شامیر، طرح تسهیم راز واریسی پذیر (Feldman VSS, Pedersen VSS)، سیستم های رمزنگاری آستانه ای (سیستم رمزنگاری الجمال).
- محاسبات امن: مفاهیم و تعاریف محاسبات امن، انتقال کور و کاربردها، پروتکل GMW، پروتکل BGW و مدارهای درهم شده



- [1] Ronald Cramer, Ivan Damgård, Jesper Buus Nielsen: *Secure Multiparty Computation and Secret Sharing*. Cambridge University Press 2015, ISBN 9781107043053.
- [2] Gilad Asharov, Yehuda Lindell: *A Full Proof of the BGW Protocol for Perfectly Secure Multiparty Computation*. J. Cryptol. 30(1): 58-151 (2017).
- [3] Carmit Hazay, Yehuda Lindell: *Efficient Secure Two-Party Protocols - Techniques and Constructions*. Information Security and Cryptography, Springer 2010, ISBN 978-3-642-14302-1, pp. 3-254.
- [4] Yehuda Lindell: *Composition of Secure Multi-Party Protocols, A Comprehensive Study*. Lecture Notes in Computer Science 2815, Springer 2003, ISBN 3-540-20105-X.
- [5] Berry Schoenmakers: *Cryptographic Protocols* (Lecture Notes) . Version 1.6, January 30, 2021. <https://www.win.tue.nl/~berry/2DMI00/>.
- [6] Oded Goldreich: *The Foundations of Cryptography* - Volume 1: Basic Techniques. Cambridge University Press 2001, ISBN 0-521-79172-3.
- [7] Oded Goldreich: *The Foundations of Cryptography* - Volume 2: Basic Applications. Cambridge University Press 2004, ISBN 0-521-83084-2.



عنوان درس به فارسی: روش‌های صوری در رمزنگاری			
عنوان درس به انگلیسی: Formal Methods in Cryptography		نوع درس و واحد	
دروس پیش‌نیاز: نظریه رمزنگاری		نظری ☒ پایه ☐	
دروس هم‌نیاز:		تخصصی ☒ عملی ☐	
تعداد واحد:	4	اختیاری ☐ نظری-عملی ☐	
تعداد ساعت:	64	رساله / پایان‌نامه ☐	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس آشناسازی دانشجویان با چند روش صوری در مدل‌سازی و تحلیل امنیت پروتکل‌های رمزنگاری است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مرور مقدمات نظریه مجموعه‌ها و منطق
- چند ابزار واریسی گر مدل (از جمله ابزار Scyther)
- درستی‌یابی خودکار (از جمله منطق BAN)
- جبر پردازش‌های (spi-calculus و pi-calculus کاربرد)
- مدل‌سازی، توصیف و تحلیل چند پروتکل امنیتی (شامل پروتکل‌های توزیع کلید و پروتکل دیفی-هلمن) با روش‌های صوری معرفی شده در درس
- مشخص کردن چند خاصیت عمده امنیتی (چون احراز اصالت، محرمانگی، کنترل دسترسی، گمنامی و عدم انکار) با روش‌های صوری معرفی شده در درس

مراجع

- [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.



عنوان درس به فارسی: نظریه کدگذاری		عنوان درس به انگلیسی: Coding Theory	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	مبانی ریاضی کد و رمز	
عملی □	تخصصی ■		
نظری-عملی □	اختیاری □	4	
رساله / پایان نامه □		64	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس شناخت مفاهیم اساسی ساخت کد و انتقال اطلاعات از کانال نویزدار، روش های تشخیص و تصحیح خطا، آشنایی با چند کد مهم و دارای ساختار است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- کدهای بلوکی، کدهای بلوکی خطی، تعریف، مفاهیم، پارامترهای کلیدی، ماتریس مولد و ماتریس بررسی توازن، کانال های مخبراتی و معرفی مختصر بعضی از مدولاسیون های معروف
- احتمال های کشف و تصحیح خطا، کدگشایی مینیمم فاصله، کدگشایی بیشترین درستنمایی
- کران روی اندازه کدها، توزیع وزن مفاهیم و قضایا، دوگان و خوددوگانی کدها، خواص و پارامترها، مباحث مربوط به شعاع پوششی (مطالعه موردی برای بعضی از کدها)
- به دست آوردن کدهای جدید از یک کد مفروض، دوگان یک کد خطی
- چندجمله ای های شمارنده وزن
- 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 میدان های متناهی
- کدهای BCH دودویی و غیر دودویی، کدگذاری و کدگشایی، خواص و پارامترها
- کدهای رید-سولومون، کدگذاری و کدگشایی، خواص و پارامترها
- کدهای رید-مولر و انواع آنها
- کدهای آلترننت، کدهای گوپا و کدهای BCH تعمیم یافته
- روش های ترکیب کدها (ضرب کدها، تعمیم کدها، الحاق کدها، کوتاه کردن کدها و ...)
- کدهای ساخته شده با هندسه متناهی و کدهای Majority-Logic decodable
- کدهای مبتنی بر گراف، Expansion گرافی و ... (معرفی آنها)



- [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, 1982, 1992, 1999.
- [6] William E. Rayan and Shu Lin, *Channel Codes, Classical and Modern*, Cambridge University Press, 2009.



عنوان درس به فارسی: نظریه کدگذاری پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Coding Theory	
نوع درس و واحد		نظریه کدگذاری	
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس 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 است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- 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 کپه ای
- کدهای پیچشی
- کدهای پیچشی و کانال‌های خطای پاک کننده کپه ای
- کدگذاری لیستی
- کدهای پرورش-واردی
- کدهای توربو
- 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 ماتریس-های جایگشت دوری، با استفاده از طرح‌های ترکیبیاتی، با استفاده از هندسه متناهی، 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 BSC، BEC، AWGN)
- تحلیل کارایی کدهای LDPC
- تکامل چگالی Density Evolution
- روش ساخت کدهای LDPC با استفاده از تکامل چگالی



- خواص کدهای ساخته شده و تحلیل کارایی آنها
- الحاق کدها، ضرب کدها، برهم نهش کدها (Superposition) و ... با استفاده از کدهای توصیف شده بندهای فوق (پیچشی، توربو، LDPC)، نحوه کدگذاری، مزایا و معایب
- معرفی کدهای قطبی، کدهای جدید (رپتور، فواره ای و ...)

مراجع

- [1] T. Richardson, R. Urbanke, *Modern Coding Theory*, Cambridge University Press, 2008.
- [2] S. Lin, D.J. Costello, *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, Pearson-Prentice Hall, 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 به فارسی: کدگذاری شبکه		عنوان درس به انگلیسی: Network Coding	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	نظریه کدگذاری - نظریه اطلاعات و کاربرد	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

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

- تعریف و مقدمات ریاضی مورد نیاز، شبکه پروانه ای، ارتباطات بیسیم و ماهواره ای، شبکه های ارتباطی نقطه به نقطه، کران برای بیشترین جریان
- کدگذاری شبکه برای شبکه های منبع منفرد چند-پخشی، مدل شبکه های ارتباطی، بهره (gain) کدگذاری شبکه برای شبکه های ترکیبی
- کدگذاری شبکه به صورت خطی، تعاریف کدهای شبکه خطی، قضیه Koetter و Medart برای کدهای شبکه خطی، خواص مطلوب برای کدهای شبکه خطی
- تکنیک های کدگذاری شبکه، کدگذاری متمرکز (localized)، کدگذاری تصادفی
- کدگذاری شبکه منبع-منفرد به صورت خطی، شبکه های دوری، شبکه های دوری بدون تاخیر، کدهای پیچشی (convolutional) شبکه، کدگذاری و کدگشایی
- مدل شبکه تصحیح خطا
- وزن و فاصله، توانایی کشف تصحیح و تصحیح خطا
- کران همینگ، کران یکانی و کدهای MDS
- کد شبکه های تصادفی تصحیح خطا
- رویکرد نظریه ماترویدی به کدگذاری شبکه
- کدگذاری اندیس و انواع آن



مراجع

- [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*, Foundation and Trends in Networking, vol 2, no 2, pp 135-269, 2007.
- [5] Xuan Guang and Zhen Zhang, *Linear Network Error Correction Coding*, Springer, 2014.



عنوان درس به فارسی: مباحثی در کد و رمز		عنوان درس به انگلیسی: Topics in Coding and Cryptography	
نوع درس و واحد		اجازه گروه	
☐ نظری	☐ پایه	دروس پیش نیاز:	
☐ عملی	☒ تخصصی	دروس هم نیاز:	
☐ نظری-عملی	☐ اختیاری	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

مباحث پیشرفته و یا جدید در زمینه کد و رمز که با نظر استاد درس و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ارائه می شود.

مراجع

کتابها و مقالات در مجله های علمی متناسب با مباحث مورد بحث تعیین می شوند.



دروس
زمینه تخصصی
علوم داده



عنوان درس به فارسی: مبانی ریاضی علوم داده		عنوان درس به انگلیسی: Mathematical Foundations of Data Science	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس آشنایی اولیه با گستره وسیعی از مباحث ریاضیات، امار و علوم کامپیوتر نظری است که در فهم بنیادین ما از داده‌ها و چگونگی نمایش، پردازش و تحلیل آن‌ها مفید و موثر هستند. در بسیاری از موارد عنوان یک سرفصل خود موضوع درسی مستقل است که با عمق و وسعت بیشتر قابل مطالعه و پی‌گیری است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- هندسه‌ی فضاها با بُعد بالا و تجمع اندازه
- تجزیه‌ی مقادیر تکین و بهترین زیرفضای تقریب‌زننده‌ی داده‌ها
- یادگیری و مساله‌های بهینه‌سازی، منظم‌سازی، کاهش گرادیان و کاهش گرادیان تصادفی
- نمونه‌گیری و ریاضیات کار با داده‌های بزرگ
- تقریب‌های خطی و غیرخطی و نمایش فشرده‌ی داده‌ها

مراجع

[1] A. Blum, J. Hopcroft, R. Kannan, *Foundations of Data Science*, Cambridge University Press, 2020.

[2] Gabriel Peyré, *Mathematical Foundations of Data Sciences*, online draft, <https://mathematical-tours.github.io/book/>.



عنوان درس به فارسی:		الگوریتم‌های علوم داده	
عنوان درس به انگلیسی:		Algorithms for Data Science	
دروس پیش‌نیاز:		نظری ☒ پایه ☐	نوع درس و واحد
دروس هم‌نیاز:		تخصصی ☒ عملی ☐	
تعداد واحد:	4	اختیاری ☐ نظری-عملی ☐	
تعداد ساعت:	64	رساله / پایان‌نامه ☐	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس آشنایی با الگوریتم‌های مهم در علوم داده است که ما را قادر می‌سازد تا اطلاعات مفید را در کمترین زمان و با کمترین خطا از داده‌ها به دست آوریم. این الگوریتم‌ها به چند دسته مهم تقسیم می‌شوند: الگوریتم‌هایی برای کاهش بُعد و پیچیدگی داده‌ها بدون از دست دادن اطلاعات اساسی آن‌ها، الگوریتم‌هایی برای نمایش مناسب داده‌ها، الگوریتم‌هایی برای پیش‌بینی رفتار داده‌ها و الگوریتم‌هایی برای رتبه‌بندی. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- کاهش بُعد داده‌ها (الگوریتم‌هایی برای به دست آوردن نگاشتی از مجموعه داده‌های با بُعد زیاد به مجموعه‌ای با بُعد پایین‌تر، معرفی الگوریتم‌ها و ساختمان داده مربوط به MapReduce)
- استخراج اطلاعات مفید از داده‌ها (معرفی الگوریتم‌هایی برای نمایش مناسب داده‌ها و به دست آوردن اطلاعات پنهان از آن‌ها، روش‌های رگرسیون و برازش تابع، خوشه‌بندی و دسته‌بندی)
- پیش‌بینی رفتار داده‌ها (معرفی الگوریتم‌هایی که با بررسی نمونه‌هایی از داده‌ها رفتار داده‌های بعدی از این نوع را پیش‌بینی کند، الگوریتم‌های نزدیک‌ترین همسایه)
- بررسی ارتباط و رتبه‌بندی داده‌ها (الگوریتم رتبه‌بندی صفحات)

مراجع

- [1] Brian, Steele and John, Chandler and Swarna, Reddy. *Algorithms for Data Science*, Springer, 2016.
- [2] Charu C. Aggarwal. *Data Mining: The text book*, Springer, 2015.
- [3] Jure, Leskovec and Anand, Rajaraman and Jeff Ullman. *Mining massive datasets*, Stanford, 2010



عنوان درس به فارسی: بهینه‌سازی در علوم داده		عنوان درس به انگلیسی: Optimization for Data Science	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش‌نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم‌نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان‌نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

بسیاری از مسائل آماری و علوم داده در نهایت منجر به مسائلی در بهینه‌سازی می‌شوند. با آنکه نظریه ریاضی بهینه‌سازی قدمت زیادی دارد، پیشرفت‌های اخیر، این حوزه را به دو دلیل در کانون اهمیت قرار داده است: نخست کشف روش‌های نیرومندی که امکان می‌دهد در پاره‌ای موارد مسائل پیچیده را به سرعت مسائل خطی حل کنیم و دوم کاربردهای جدید و فراگیر روش‌های بهینه‌سازی محذب در حوزه‌های مختلف از جمله تحلیل و مدل‌سازی داده‌ها. هدف این درس آشنایی با مبانی نظری و روش‌های نوین در بهینه‌سازی و کاربردهای آن در علوم داده است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مجموعه‌ها و توابع محذب (مجموعه‌های محذب و مستوی، ابرصفحه‌های جداساز و تکیه‌گاه، نامساوی‌های تعمیم‌یافته، مخروط دوگان، توابع مزدوج، توابع شبه محذب، توابع لگاریتم محذب و لگاریتم مقعر)
- مسائل بهینه‌سازی محذب (بهینه‌سازی محذب، مسائل بهینه‌سازی خطی، مسائل بهینه‌سازی درجه دو، برنامه‌ریزی هندسی، بهینه‌سازی برداری)
- دوگانگی (تابع دوگان لژاندر، مساله دوگان لژاندر، تعبیر هندسی، تعبیر نقطه زینی، شرایط بهینگی، اختلال و تحلیل حساسیت، قضایای دگرین)
- تقریب و برازش (تقریب نرم، مسائل کمترین نرم، تقریب منظم، تقریب استوار، برازش تابع و درون‌یابی)
- تخمین آماری (تخمین توزیع‌های پارامتری، تخمین توزیع‌های ناپارامتری، طراحی آشکارساز بهینه و آزمون فرض، کران‌های چیشف و چرنف، طراحی آزمایش)
- مسائل هندسی (تصویر روی یک مجموعه، فاصله مجموعه‌ها، فاصله اقلیدسی و مسائل زاویه، بیضی‌گون‌های با حجم بیشینه یا کمینه، مرکزبایی، دسته‌بندی، جایابی)
- کمینه‌سازی نامقید (مسائل کمینه‌سازی نامقید، روش‌های کاهشی، روش کاهشی گرادیان، روش تندترین کاهش، روش نیوتن، self-concordance، پیاده‌سازی)
- کمینه‌سازی با قید تساوی (مسائل کمینه‌سازی با قید تساوی، روش نیوتن با قید تساوی، روش نیوتن با نقطه شروع نشدنی، پیاده‌سازی)
- روش‌های نقطه درونی (مسائل کمینه‌سازی با قید نامساوی، تابع مانعی لگاریتمی و مسیر مرکزی، روش‌های مانعی، شدنی بودن و روش‌های فاز ۱، تحلیل پیچیدگی، روش‌های نقطه درونی اولیه-دوگان، پیاده‌سازی)
- روش گرادیانی (روش کاهش گرادیانی، زیرگرادیان، روش کاهش گرادیان تصادفی، توابع لپشیتز، توابع قویاً محذب)



- [1] S. Boyd, L. Vanderberghe, *Convex Optimization*, Cambridge University Press, 2004.
- [2] S. Shalev-Shwartz and S. Ben-David, *Understanding Machine Learning From Theory to Algorithms*, Cambridge University Press, 2014



عنوان درس به فارسی: روش های توپولوژیک در علوم داده		عنوان درس به انگلیسی: Topological Data Analysis	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

تحلیل داده از نگاه توپولوژی، روشی نوین جهت بررسی و تحلیل داده ها با استفاده از ابزار توپولوژیک است. در حالت کلی استخراج اطلاعات از داده های با بعد بالا، ناکامل و دارای نویز کاری دشوار است. اولین ایده و انگیزه تحلیل داده از نگاه توپولوژی، مطالعه شکل داده است. تحلیل داده از نگاه توپولوژی، با بهره گیری از تاریخچه غنی و ابزارهای بسیار عمیق و پیشرفته مطالعه اشکال در ریاضیات، به بررسی دقیق و عددی اشکال و استخراج اطلاعات از آنها می پردازد. در این درس در ابتدا روشهای مختلف نسبت دادن یک شکل به داده بیان می شود و در ادامه به بیان دو ابزار مهم مطالعه این اشکال، همولوژی پایدار و نظریه مورس، می پردازیم. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- فلسفه تحلیل داده از نگاه توپولوژی و ترسیم شکل کلی و بیان کاربردهای مختلف.
- داده و مجتمع های سادگی (مقدمه ای بر مجتمع های سادگی، معرفی و بررسی مجتمع های سادگی از جمله، ریپ، چک و ویتنس)
- گروه های همولوژی سادگی (معرفی گروه های همولوژی سادگی بر روی میدان دلخواه، معرفی رسته گروه های همولوژی سادگی و ساخت فانکتور همولوژی از رسته فضاها توپولوژیک به رسته گروه های همولوژی، ساخت رسته همولوژی سادگی موضعی، بیان ویژگی های اصلی گروه های همولوژی، محاسبه گروه های همولوژی کره، چنبره، بطری کلین)
- همولوژی پایدار (فیلتریشن و معرفی همولوژی پایدار، بیان الگوریتم پایدار، بیان دیاگرام پایدار، بیان کاربردها)
- ساخت و استنتاج شکل های توپولوژیکی از روی داده (ساخت منحنی از روی داده، ساخت رویه در فضای سه بعدی از روی داده، محاسبه همولوژی از روی داده)
- توابع مورس (بیان مفاهیم اصلی، توابع مورس، ترانسورسالیته و توابع تکه ای خطی، معرفی گراف ریپ، مجتمع سادگی مورس - اسمیل، الگوریتم و کاربردها)

مراجع

- [1] Edelsbrunner, Herbert, and John Harer. *Computational topology: an introduction*. American Mathematical Soc., 2010.
- [2] Dey, Tamal K., Herbert Edelsbrunner, and Sumanta Guha. *Computational topology*. Contemporary mathematics 223 (1999): 109-144.
- [3] Zomorodian, Afra J., *Topology for computing*. Vol. 16. Cambridge university press, 2005.
- [4] Nakahara, Mikio. *Geometry, topology and physics*. CRC Press, 2003.
- [5] Munkres, James R., *Elements of algebraic topology*. Vol. 2. Menlo Park: Addison-Wesley, 1984.



عنوان درس به فارسی: روش های هندسی در علوم داده		
نوع درس و واحد	Geometric Methods for Data Science	
نظری ☒ پایه ☐	عنوان درس به انگلیسی:	
عملی ☐ تخصصی ☒	دروس پیش نیاز:	
نظری-عملی ☐ اختیاری ☐	دروس هم نیاز:	
رساله / پایان نامه ☐	4	تعداد واحد:
	64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

تمرکز این درس بر آموزش روش های هندسی در مدل سازی، نمایش و استخراج ساختار داده ها است که بخش مهمی از آن به کاهش بُعد غیر خطی استوار است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مفاهیم اصلی (فضای اقلیدسی، متر، اندازه، خم، خمینه ریمانی، ژئودزیک، گراف های متریک، گراف نزدیک ترین فاصله، گراف شباهت داده ها)
- یادگیری خمینه (Manifold Learning)
- الگوریتم های Isomap و Local Linear Embedding
- روش های طیفی (الگوریتم Laplacian Eigenmaps و رابطه شکل و ساختار داده با مقادیر ویژه لاپلاسین)
- PCA غیر خطی
- هسته گرمایی (Heat Kernel) ارتباط با مقادیر ویژه لاپلاسین و خواص داده)
- مباحث انتخابی (کاربردهای یادگیری خمینه در فشرده سازی داده، کاهش بُعد، حذف نویز، نمایش و مصورسازی داده، یادگیری خمینه نظارت شده)

مراجع

[1] Ma, Y. and Fu, Y., *Manifold Learning, Theory and Applications*. CRS Press, 2011.



عنوان درس به فارسی: مدل سازی و پردازش داده ها با بُعد بالا		عنوان درس به انگلیسی: High Dimensional Data Modeling and Processing	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

در اثر پیشرفت های سریع در روش های جمع آوری داده در سال های اخیر، آماردانان با مسائلی مواجه شده اند که در آن ها تعداد متغیرهای اندازه گیری شده بسیار زیاد و گاه بسیار بیشتر از تعداد مشاهدات است. به چنین داده هایی داده های با بُعد بالا می گویند و تحلیل آن ها از جمله چالش های اصلی علوم داده در دوره جدید است. هدف این درس آشنایی با مبانی ریاضی و آماری تحلیل داده های با بُعد بالا است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مفاهیم اولیه (استنباط آماری کلاسیک و بلای بُعد، فضاهای اقلیدسی با ابعاد بالا، تجمع اندازه)
- مدل های خطی در ابعاد بالا (رگرسیون ستیغی و لاسو، انتخاب متغیر، درجه آزادی)
- مدل های خطی تعمیم یافته در ابعاد بالا (رگرسیون لجستیک و پوآسون در ابعاد بالا)
- مدل های گرافیکی (گراف های وابستگی، خواص مارکوف، مدل های گوسی)
- آزمون های فرض همزمان (p -مقادیرها، کنترل خطای جمعی، نرخ کشف خطا، روش بنجامینی و هوشبرگ)
- مباحث انتخابی (گذار فاز، انتخاب مدل، جنگل های تصادفی، بیز تجربی)

مراجع

- [1] Buhlmann, P. and van de Geer, S. *Statistics of High Dimensional Data*, Springer, 2011
- [2] Efron, B. and Hastie, T., *Computer Age Statistical Inference*, Cambridge University Press, 2016
- [3] Giraud, C., *Introduction to High-Dimensional Statistics*, CRC Press, 2016
- [4] Hastie, T., Tibshirani, R. and Wainwright, M., *Statistical Learning with Sparsity*, CRC Press, 2015



عنوان درس به فارسی: مدل سازی و پردازش داده های بزرگ		عنوان درس به انگلیسی: Big Data Modeling and Processing	
نوع درس و واحد			
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

این درس مفاهیم مربوط به بزرگ داده ها و نحوه مدیریت و تحلیل آنها را معرفی می کند و دانش و بینش لازم را برای ورود به مباحث پیشرفته در این حوزه فراهم می آورد. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مقدمات (معرفی داده های بزرگ و مثال های آن، منشا تولید داده بزرگ)
- مشخصه های داده های بزرگ (حجم، سرعت، تنوع، صحت، ظرفیت و ارزش، تاثیر هر مشخصه بر جمع آوری، پایش، ذخیره سازی، تحلیل و گزارش دهی داده های بزرگ)
- مولفه های ساختاری و مدل های برنامه نویسی برای تحلیل داده های بزرگ مقیاس پذیر
- روش های دسترسی و دستکاری داده های روان (تفاوت پایگاه داده های سنتی با سامانه های مدیریت داده های بزرگ)
- Hadoop (HDF) به عنوان نظام فایل توزیع شده در Hadoop، معرفی YARN مدیریت مراجع در Hadoop، معرفی MapReduce به عنوان مدل برنامه نویسی)
- بازیابی، یکپارچه سازی و تحلیل داده های بزرگ
- تحلیل داده های بزرگ (دسته بندی، رگرسیون، خوشه بندی و تحلیل هم باشی داده های بزرگ)
- تحلیل داده های بزرگ گرافی
- پیاده سازی (پیاده سازی نمونه ای از سامانه مدیریت بزرگ داده ها و تحلیل آنها)

مراجع

- [1] R. Buyya, R. N. Calheiros, A. Vahid Dastjerdi, *Big Data. Principles and Paradigms*, Morgan Kaufmann, 2016.
- [2] F. Corea, *Big Data Analytics: A Management Perspective*, Springer, 2016.
- [3] I. Foster, R. Ghani, R. S. Jarmin, F. Kreuter, J. Lane, *Big Data and Social Science: A Practical Guide to Methods and Tools*, Chapman & Hall/CRC, 2017.
- [4] S. Suthaharan, *Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification: Thinking with Examples for Effective Learning*, 4rd Edition, Springer, 2015.
- [5] S. Liu, J. McGree, Z. Ge, Y. Xie, *Computational and Statistical Methods for Analysing Big Data with Applications*, Academic Press, 2016.
- [6] J. Hurwitz, A. Nugent, F. Halper, M. Kaufman, *Big Data for Dummies*, John Wiley & Sons, 2013.



- [7] S. Perera, T. Gunarathne, *Hadoop MapReduce Cookbook*, Packt Publishing, 2013.
- [8] J. R. Owens, B. Femiano, J. Lentz, *Hadoop Real World Solutions Cookbook*, Packt Publishing, 2013.



عنوان درس به فارسی:		داده کاوی	
عنوان درس به انگلیسی:		Data Mining	
دروس پیش نیاز:		نظری ☒ پایه ☐	
دروس هم نیاز:		تخصصی ☒ عملی ☐	
تعداد واحد:		4	
تعداد ساعت:		64	
		اختیاری ☐ نظری-عملی ☐	
		رساله / پایان نامه ☐	

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

در این درس با روش های اصلی در داده کاوی، نظیر مفاهیمی چون پیش پردازش، ذخیره سازی و پردازش داده، کاهش بعد و مدل های یادگیری با ناظر و بدون ناظر آشنا می شویم. همچنین مفاهیم و ابزارهایی که در این حوزه مطرح هستند نیز مانند مه داده، داده های جریانی، NLP و ابزارهای تحلیلی و برنامه نویسی در حوزه تحلیل داده به طور مختصر مرور خواهند شد. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- تعاریف اولیه داده کاوی، مفاهیم مرتبط، تمایز آن با سایر موضوعات مشابه، جایگاه آن در صنایع و علوم امروزی
- گام های پردازش داده (پاک سازی داده، تجمیع و تبدیل داده، کاهش داده، گسسته سازی داده)
- معرفی انبار داده، سیستم های پردازش تحلیلی بر خط. فناوری مکعب داده
- مفهوم ویژگی و روش های کاهش بعد (اصول انتخاب ویژگی به کمک روش های آماری، رتبه بندی ویژگی ها براساس آنتروپی)
- بررسی الگوریتم ها و مفاهیم مرتبط با الگوهای تکراری شامل سبدهای پرتکرار، الگوهای پرتکرار
- استخراج الگوهای نادر، استخراج الگوهای پرتکرار مقید، استخراج الگوهای فشرده یا تقریبی، استخراج قواعد همبستگی منفی)
- معرفی و بررسی روش های یادگیری با ناظر مانند دسته بندی و رگرسیون
 - معرفی روش های مرتبط با درخت تصمیم مانند ID3, C4.5, CART
 - مرور روش های طبقه بندی همراه با زمان استفاده آن ها مانند Naive Bayes، روش های مبتنی بر قاعده Rule-Based Classification، SVM، KNN و شبکه های عصبی
 - بررسی روش های مختلف ارزیابی و انتخاب مدل ها
- معرفی روش های یادگیری بدون ناظر: روش ها افرازی، روش های سلسله مراتبی: روش جمع شونده (Agglomerative) و تقسیم شونده (Divisive)، روش های چگالی پایه (Density-Based) روش های OPTICS، DBSCAN، روش های Wave Cluster، STING، روش های خوشه بندی DENCUE، روش های توری پایه (Grid-Based) روش های PROCLUS، CLIQUE، الگوهای مکرپی، روش های خوشه بندی طیفی، روش های داده های ابعاد بالا: روش های خوشه بندی مقید، روش های خوشه بندی نیمه نظارت شده
- روش های تشخیص داده های پرت (Outliers): روش های آماری (پارامتری و ناپارامتری)، روش های مجاورتی (فاصله پایه)، چگالی پایه و توری پایه، روش های خوشه بندی پایه، روش های دسته بندی پایه، مدل های نظریه اطلاعات پایه، تشخیص



- داده‌های پرت در داده‌های با ابعاد بالا، تشخیص داده‌های پرت در داده‌های رسته‌ای، روش‌های ترکیبی در تشخیص داده‌های پرت.
- معضل بلای بُعد (Curse of Dimensionality)، استخراج و انتخاب ویژگی.
 - روش‌های کاهش بُعد: تحلیل تفکیک خطی (LDA)، تحلیل عاملی، مقیاس‌گذاری چند بعدی MDS، تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل مولفه‌های اصلی مبتنی بر هسته (KPCA)، تحلیل مولفه‌های مستقل (ICA)، ISOMAP، جاسازی محلی خطی (Locally Linear Embedding)
 - روش‌های انتخاب ویژگی: روش‌های پالایشی (Filter)، روش‌های پوشه‌ای (Wrapper)، روش‌های جاسازی (Embedded)
- با توجه به دانش دانشجویان، مروری بر تعریف و جایگاه مفاهیم مطرح در حوزه داده کاوی مانند کلان‌داده، داده‌های جریانی، پردازش زبان طبیعی (NLP)، یادگیری عمیق، حفظ حریم شخصی در داده کاوی و اخلاق در داده کاوی

مراجع

- [1] J. Han, M. Kamber, J. Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, 3rd Edition, Elsevier Inc., 2012.
- [2] C. C. Aggarwal, *Data Mining: The Textbook*, Springer, 2015.
- [3] C. C. Aggarwal, J. Han, *Frequent Pattern Mining*, Springer, 2014.
- [4] M. Kantardzic, *Data Mining and Analysis: Foundations and Algorithms*, 2nd Edition, Wiley-IEEE Press, 2011.
- [5] M. J. Zaki, W. Meira, *The Handbook of Data Mining*, Cambridge University Press, 2014.
- [6] I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 3rd Edition, Elsevier Inc., 2011.
- [7] S. Marsland, *Machine Learning: An Algorithmic Perspective*, 2nd Edition, Chapman & Hall/CRC, 2014.
- [8] C. C. Aggarwal, *Privacy-Preserving Data Mining*, Springer, 2008.
- [9] C. Sammut, G.I. Webb, *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining*, Springer, 2017.
- [10] T. H. Davenport, *Big Data at Work: Dispelling the Myths, Uncovering the Opportunities*, Harvard Business Review Press, 2014.
- [11] J. Wang, *Encyclopedia of Data Warehousing and Mining*, Information Science Reference, 2008.
- [12] A. Psaltis, *Streaming Data: Understanding the real-time pipeline*, Manning Publications, 2017.



عنوان درس به فارسی: داده کاوی پیشرفته		عنوان درس به انگلیسی: Advanced Data Mining	
نوع درس و واحد		داده کاوی	
نظری ■	پایه □	دروس پیش نیاز:	
عملی □	تخصصی ■	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی □	اختیاری □	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه □		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف اصلی این درس آشنایی با مفاهیم و روشهای پیشرفته در داده کاوی است. این درس مباحثی چون شبکه‌های عصبی، روش‌های هسته (Kernel Methods)، ماشین‌های با هسته تنک و مدل‌های گرافی احتمالاتی را در حد آشنایی با اصول پیاده‌سازی و با تأکید بر چگونگی کاربرد در بر می‌گیرد. همچنین مدل‌های مرتبط با متغیرهای پنهان و مختلط، روش‌های مختلف مونتاژ الگوریتم‌ها، استنتاج تقریبی (Approximate Inference)، روش‌های نمونه‌گیری و ترکیب مدل‌ها را بررسی می‌کند. از طرفی هم این درس در حد امکان به مباحث مرتبط به پیچیدگی داده در روش‌های یادگیری می‌پردازد. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- شبکه‌های عصبی: روش‌های فیدفوروارد، Error Backpropagation، The Hessian Matrix، منظم سازی، Bayesian Neural Networks، Mixture Density Networks
- روش‌های هسته-پایه: Relevance Vector Machines، Maximum Margin Classifiers
- مدل‌های گرافیکی: شبکه‌های بیزی، استقلال شرطی، میدان‌های مارکف تصادفی، استنتاج در مدل‌های گرافیکی،
- مدل‌های درهم: الگوریتم k-means، ترکیب توزیع‌های گاوسی، نگاه به EM از دید ترکیب گاوسی
- استنتاج تقریبی: روش‌های وردشی (Variational)، درهم‌سازی وردشی توزیع‌های گاوسی، انتشار امیدریاضی (Expectation Propagation)
- متغیرهای پنهان پیوسته: PCA، PCA احتمالاتی، PCA هسته
- داده‌های دنباله‌ای: مدل‌های مارکف، مدل‌های پنهان مارکف، سیستم‌های دینامیکی خطی
- روش‌های نمونه‌گیری: روش‌های پایه، مونت کارلو، گیبس (Gibbs)
- ترکیب مدل‌ها: میانگین‌گیری مدل‌های بیزی (Bayesian Model Averaging)، کمیته‌ها، تقویت (Boosting)، مدل‌های درخت-پایه، مدل‌های درهم شرطی
- مروری بر مفاهیم پیچیدگی داده: پیچیدگی داده‌ها، پیچیدگی طبقه‌بندها

مراجع

- [1] J. Han, M. Kamber, J. Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, 3rd Edition, Elsevier Inc., 2012.
- [2] C. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2006.
- [3] A. Psaltis, *Streaming Data: Understanding the real-time pipeline*, Manning Publications, 2017.
- [4] M. J. Zaki, W. Meira, *The Handbook of Data Mining*, Cambridge University Press, 2014.
- [5] Basu M., Ho T.K., *Data Complexity in Pattern Recognition*, Springer, 2006.

عنوان درس به فارسی: مدل های گرافی و استنباط علی		عنوان درس به انگلیسی: Graphical Models and Causal Inference	
نوع درس و واحد			
پایه ☐	نظری ☒	دروس پیش نیاز:	
تخصصی ☒	عملی ☐	دروس هم نیاز:	
اختیاری ☐	نظری-عملی ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مدل های گرافی احتمالاتی چارچوبی غنی و انعطاف پذیر برای مدل سازی خانواده های بزرگ از متغیرهای تصادفی با وابستگی های پیچیده هستند. هدف این درس مرور مفاهیم اساسی مدل های گرافی احتمالاتی با ارتباطات علی یا وابستگی و روش های استنباط دقیق یا تقریبی و نیز آشنایی با نحوه استفاده از این مدل ها در عمل است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مدل های جهت دار: شبکه های بیزی (استقلال شرطی، استقلال در شبکه های بیزی، روابط علی)
- مدل های بدون جهت: شبکه های مارکوفی (توزیع گیس، شرطی کردن و استقلال در میدان های تصادفی)
- حذف متغیر (روش حذف متغیر و چالش های آن، پیچیدگی بر حسب ساختار گراف، ترتیب حذف متغیرها)
- الگوریتم های انتشار باور (الگوریتم و ویژگی ها، انتقال پیام در گراف خوشه ها، مطالعه الگوریتم در درخت ها)
- روش های نمونه گیری (روش های مونت کارلو با زنجیر مارکوف، روش گیس، روش متروپولیس-هستینگز)
- تخمین پارامتر (روش بیشترین درست نمایی و روش بیزی در مدل های گرافی جهت دار و بدون جهت)
- یادگیری ساختار شبکه (بیشترین درست نمایی و سازگاری مجانبی، یادگیری ساختار درختی، روش های اکتشافی برای یادگیری ساختار گراف، یادگیری با داده ناکامل)

مراجع

- [1] Koller, D. and Friedman, N., *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*, MIT Press, 2009.
- [2] Wainwright, M. J. and Jordan, M. I., *Graphical Models, Exponential Families and Variational Inference*, Foundation and Trends in Machine Learning, vol 1, nos 1-2, pp 1-305, 2008.



عنوان درس به فارسی: یادگیری آماری		عنوان درس به انگلیسی: Statistical Learning	
نوع درس و واحد			
نظری ☒ پایه ☐			دروس پیش نیاز:
عملی ☐ تخصصی ☒			دروس هم نیاز:
نظری-عملی ☐ اختیاری ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

یادگیری آماری به توسعه و مطالعه ابزارهایی برای مدل کردن و فهمیدن هرچه بهتر داده‌های پیچیده می‌پردازد. یادگیری از داده یعنی کشف الگوها و روندهای مهم در داده و فهمیدن آن که داده چه می‌گوید! حجم و پیچیدگی روزافزون داده‌ها در بسیاری از حوزه‌های علم و فن‌آوری و چالش‌ها و موفقیت‌های جدید در یادگیری به انقلابی در علوم داده منجر شده است. هدف از این درس، آشنایی با برخی از مهم‌ترین ابزارهای یادگیری و بررسی آن‌ها از منظر آماری است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مقدمات (مفاهیم اولیه یادگیری، انواع یادگیری، مدل‌های پارامتری و ناپارامتری)
- یادگیری نظارت شده: روش‌های خطی (رگرسیون خطی، رگرسیون ستیغی و لاسو، روش‌های خطی دسته‌بندی: مدل لجستیک، ...)
- یادگیری نظارت شده: تعمیم‌های روش خطی (مدل‌های خطی تعمیم یافته، توابع پایه، روش‌های ناپارامتری، اسپلاین هموار شده، مدل‌های جمعی، ...)
- انتخاب و ارزیابی مدل (درجه آزادی، تجزیه اریبی-واریانس، خطای آزمون و آموزش، اعتبارسنجی متقابل، روش‌های خودگردان، ...)
- یادگیری بدون نظارت (روش‌های کاهش بُعد، خوشه‌بندی، مدل‌های گرافی)
- شبکه‌های عصبی (آموزش شبکه: کاهش گرادیان و انتشار پس‌رو، کاهش گرادیان تصادفی، یادگیری عمیق)

مراجع

- [1] Jamea, G., Witten, D., Hastie, T. and Tibshirani, R., Friedman, J., *An Introduction to Statistical Learning*. 2nd edition, Springer, 2013
- [2] Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J., *The Elements of Statistical Learning*. 2nd edition, Springer, 2009



عنوان درس به فارسی: یادگیری برخط		عنوان درس به انگلیسی: Online Learning	
نوع درس و واحد			
نظری ☒	پایه ☐	دروس پیش نیاز:	
عملی ☐	تخصصی ☒	دروس هم نیاز:	
نظری-عملی ☐	اختیاری ☐	4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

یادگیری برخط چارچوبی است برای مدل سازی و طراحی فرآیند تصمیم گیری در دنباله ای از موقعیت ها، بر مبنای اطلاعاتی (نه لزوماً کامل) از تصمیم های قبلی و نتایج آن ها. در این فرآیند، یادگیرنده هم زمان که پیامدهای تصمیم های مختلف را می آموزد، هزینه ای این تصمیم ها را نیز پرداخت می کند و بنابراین مساله ای اصلی برقراری توازن است میان تصمیم هایی که منجر به کشف بهتر محیط می شوند (اکتشاف) و آن هایی که بر مبنای آنچه تا کنون یاد گرفته ایم کم ترین هزینه را دارند (بهره برداری). دسته ای خاصی از مساله های یادگیری برخط، با عنوان مساله های بندیت، مساله هایی از یادگیری برخط با بازخورد محدود را بررسی می کنند که شناخت هرچه بهتر آن ها مدل های ساده ای برای فهم نظری بهتر یادگیری تقویتی فراهم می کند. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- یادگیری برخط: صورت بندی مساله، مفهوم پشیمانی، مساله های قابل یادگیری و غیر قابل یادگیری
- بهینه سازی محدب برخط: محدب سازی، کاهش گرادیان برخط، منظم سازی
- یادگیری بندیت (Bandit): بندیت های تصادفی، بندیت های تخصصی
- چند مدل ساده: تحلیل و بررسی مدل های اسباب بازی از یادگیری برخط و مساله های بندیت

مراجع

- [1] Shalev-Shwartz, Shai., *Online learning and online convex optimization*. Foundations and trends in Machine Learning 4.2 (2011): 107-194.
- [2] Elad Hazan. *Introduction to Online Convex Optimization*, Now Publishers, 2016.
- [3] Tor Lattimore, Csaba Szepesvari. *Bandit Algorithms*. Cambridge University Press, 2020.



عنوان درس به فارسی: نظریه یادگیری محاسباتی		عنوان درس به انگلیسی: Computational Learning Theory	
نوع درس و واحد			
نظری ☒ پایه ☐			دروس پیش نیاز:
عملی ☐ تخصصی ☒			دروس هم نیاز:
نظری-عملی ☐ اختیاری ☐		4	تعداد واحد:
رساله / پایان نامه ☐		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

موضوع این درس، آشنایی با مدل‌های ریاضی و محاسباتی دقیق از یادگیری و تحلیل رفتار الگوریتم‌ها و درک میزان سختی ذاتی مساله‌های مختلف در حوزه یادگیری است. امکان تعمیم‌پذیری از داده‌های محدود، طراحی الگوریتم‌های کارآمد و درک توازن آماری-محاسباتی در مساله‌های یادگیری از دیگر اهداف درس است. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- مدل‌های اولیه یادگیری، یادگیری PAC
- یادگیری‌پذیری و همگرایی یکنواخت
- توازن اریبی و پیچیدگی محاسبه
- توابع رشد و بعد VC، قضیه اساسی یادگیری PAC
- پیچیدگی محاسباتی و زمان یادگیری
- بررسی الگوریتم‌های خاص: مدل‌های خطی، بوستینگ، درخت‌های تصمیم، شبکه‌های عصبی
- مباحث بیشتر: پیچیدگی رادماخر و اعداد پوششی، یادگیری‌پذیری چندمقیاسی، PAC بیزی

مراجع

- [1] Shai Shalev-Shwartz and Shai Ben David, *Understanding Machine Learning*, Cambridge University Press 2014
- [2] Michael Kearns and Umesh Vazirani. *An Introduction to Computational Learning Theory*. MIT Press, 1994



عنوان درس به فارسی:		یادگیری پیشرفته	
عنوان درس به انگلیسی:		Advanced Learning	
نوع درس و واحد			
■ نظری	□ پایه		
□ عملی	■ تخصصی		
□ نظری-عملی	□ اختیاری		
رساله / پایان نامه			
		4	تعداد واحد:
		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی □ آزمایشگاه □ سمینار □ کارگاه □ موارد دیگر:

سرفصل درس

هدف این درس آشنایی با موضوعات پیشرفته‌تر در حوزه یادگیری است. یادگیری منصفانه و اجتناب از سوگیری نسبت به زیرگروه‌های خاص، یادگیری مقاوم نسبت به حملات دشمنانه و استنباط‌های پیش‌رفته‌تر در مدل‌های یادگیری از قبیل ارایه‌ی بازه‌های اطمینان پیش‌بینی به جای پیش‌بینی نقطه‌ای. سرفصل درس شامل این موضوعات است:

- یادگیری منصفانه: منابع سوگیری در داده‌های بزرگ، شاخص‌های آماری تبعیض، قضایای توازن و عدم امکان، گروه‌های نابرابر و پیش‌بینی منصفانه، استنباط علی منصفانه
- یادگیری دشمنانه: انواع حمله‌ها به فرآیند یادگیری، حمله در زمان تصمیم و راه‌های مقابله، مسموم‌سازی داده و راه‌های مقابله، حمله به شبکه‌های عصبی و راه‌های مقاوم‌سازی
- اندازه‌گیری عدم قطعیت و پیش‌بینی تطبیقی: تعویض‌پذیری و بازه‌های اطمینان، پیش‌بینی تطبیقی با مدل‌های احتمالاتی و فراتر از مدل‌های احتمالاتی، پیش‌بینی تطبیقی در یادگیری برخط

مراجع

- [1] Anthony D. Joseph, Blaine Nelson, Benjamin I. P. Rubinstein, J. D. Tyger. *Adversarial Machine Learning*. Cambridge University Press, 2019.
- [2] Vineeth N. Balasubramanian, Shen-Shyang Ho, Vladimir Vovk. *Conformal Prediction for Reliable Machine Learning*. Elsevier, 2014.
- [3] Solon Barocas, Moritz Hardt, Arvind Narayanan. *Fairness and Machine Learning*. <http://www.fairmlbook.org>, 2019.



عنوان درس به فارسی: مباحثی در علوم داده		عنوان درس به انگلیسی: Topics in Data Science	
نوع درس و واحد			
☐ پایه	☒ نظری		
☒ تخصصی	☐ عملی		
☐ اختیاری	☐ نظری-عملی	4	تعداد واحد:
☐ رساله / پایان نامه		64	تعداد ساعت:

اگر واحد عملی دارد، چه نوع آموزش تکمیلی نیاز است؟: سفر علمی ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐ کارگاه ☐ موارد دیگر:

سرفصل درس

مباحث پیشرفته و یا جدید در علوم داده که با نظر استاد درس و تایید شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده ارائه می شود.

مراجع

کتابها و مقالات در مجله های علمی متناسب با مباحث مورد بحث تعیین می شوند.

