

۲- مکانیک سنگ:

۱-۲- دروس اختیاری دکتری

باید حداقل ۶ واحد از جدول زیر انتخاب شود:

جدول دروس اختیاری دکتری مکانیک سنگ

ردیف	نام درس	تعداد واحد	واحد نظری	واحد عملی	نوع واحد	تعداد ساعت
۱	مکانیک شکست پیشرفته	۳	۳	-	نظری	۴۸
۲	دینامیک سنگ پیشرفته	۳	۳	-	نظری	۴۸
۳	روش‌های تحلیل عددی پیشرفته	۳	۳	-	نظری	۴۸
۴	مکانیک چینه‌ها و روش‌های کنترل	۳	۳	-	نظری	۴۸
۵	حفاری عمیق	۳	۳	-	نظری	۴۸
۶	فرایندهای توأمان در مکانیک سنگ	۳	۳	-	نظری	۴۸
۷	سمینار ۱	۱	۱	-	-	-
۸	سمینار ۲	۱	۱	-	-	-

۱-۲- دروس اختیاری تحصیلات تکمیلی

- این دروس به تشخیص گروه آموزشی و تا سقف ۱۲ واحد از جدول دروس اختیاری تحصیلات تکمیلی انتخاب می‌شود. بدیهی است دروسی که دانشجو در دوره کارشناسی ارشد خود گذرانده است نمی‌تواند مجدداً در دوره دکتری اخذ نماید.
- در دوره دکتری، در صورت تایید استاد راهنما و گروه مربوط، دانشجو می‌تواند حداکثر دو درس خود را از سایر رشته‌های مهندسی معدن و یا سایر رشته‌های مرتبط اخذ نماید.



سرفصل دروس اختیاری دکتری مکانیک سنگ



درس پیش نیاز:	اختیاری	نوع درس	تعداد واحد	مکانیک شکست پیشرفته
			۳	
	نظری	نوع واحد	تعداد ساعت	Advanced Fracture Mechanics
			۴۸	
آموزش تکمیلی عملی: دارد <input type="checkbox"/> ندارد <input checked="" type="checkbox"/> سفر علمی <input type="checkbox"/> کارگاه <input type="checkbox"/> آزمایشگاه <input type="checkbox"/>				

اهداف کلی درس: ارائه مبانی تحلیلی و عددی موضوع مهم مکانیک شکست در مصالح مهندسی می‌باشد. هر دو قسمت مباحث تئوری و بنیادی و مبانی عددی و محاسباتی مکانیک شکست در مسائل ترد، نیمه ترد و با تغییر شکل‌های ماندگار محدود مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سرفصل درس:

- جایگاه تئوری‌های تحلیل آسیب
- پلاستیسیته، مکانیک شکست، مکانیک خرابی
- مروری بر مکانیک شکست الاستیک خطی و الاستو-پلاستیک
- روش‌های عددی در مکانیک شکست
- ترک گسسته (discrete crack) - ترک پخش شده (smearred crack)
- مبانی و فرمول‌بندی اجزا محدود سینگولار روش‌های عددی محاسبه K ، G و J
- تحلیل شکست خزش و خستگی
- مکانیک شکست دینامیکی
- ریزمکانیک و اصول همگن سازی
- رفتار میکرو و ماکرو شکست
- اصول روش‌های up-scaling در مواد دارای ریزترک - حل Eshelby ریزترک در محیط نامحدود
- روش‌های همگن سازی (homogenization) - خواص مکانیکی موثر
- مدل‌های اندر کنش ریزترک ها:
- تقریب Voigt and Reuss approximation
- الگوی توزیع رقیق Non-interacting (dilute) distribution
- الگوی Mori-Tanaka model
- الگوی Self-consistent method
- الگوی Differential scheme
- مکانیک خرابی
- المان حجمی معرف (REV)، عملیات averaging
- مدل‌های خرابی ماکروسکوپی (phenomenological) و ریزمکانیکی (micromechanical)
- متغیر خرابی و یکپارچگی - سطوح خرابی (تانسور کرنش خرابی، صلیبیت و متغیر خرابی)
- اصول تنش، کرنش و انرژی موثر - قانون جریان خرابی (evolution law)
- تابع تسلیم خرابی (damage criteria) - قانون سخت شوندگی / نرم شوندگی سطح خرابی



- ترمودینامیک خرابی

انلاف انرژی در فرآیند خرابی

تابع انرژی آزاد

نیروی ترمودینامیک متناظر با خرابی

بازگشت ناپذیری (قانون دوم ترمودینامیک)

اثرات اصطکاک ریزترک ها بر خرابی سنگ

اثرات باز و بسته شدن ریزترک ها (Unilateral effects) بر خرابی

مدلهای خرابی همسانگرد و ناهمسانگرد

موضعی شدن کرنش (strain localization) و چندشاخگی (bifurcation)

وابستگی به مش (mesh dependency) و راههای جلوگیری از آن

* دانشجوی موظف است در قالب مباحث نظری آموزش داده شده طبق نظر استاد مربوط، یک پروژه مستقل ارائه نماید.

روش ارزیابی:

ارزیابی دانشجوی در این درس، طبق نظر استاد مربوط و در موارد زیر صورت می‌پذیرد.

پروژه	آزمون‌های نهایی	میان ترم	ارزشیابی مستمر
...	آزمون نوشتاری
	...		
	عملکردی		
	...		

منابع:

1. Elasticity, Tensor, Dyadic and Engineering Approaches. Pei Chi Chou and Nicolas J. Pagano.
2. Discontinuity analysis for rock engineering, Priest S.D., 1992.
3. Fundamentals of Discrete Element Methods for Rock Engineering: Theory And Applications, Jing L., Ove S. 2007.
4. Fundamentals of Rock Mechanics. Jaeger and Cook, Third Edition, Chapman and Hall 1972.
5. Elastic and Plastic Fracture by A.G. Atkins & Y-W Mai Ellis Harwood Ltd , Publisher (January 1, 1988)
6. Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, R.W. Hertzberg, and Fourth Edition ISBN-10: 0470527803 | ISBN-13: 978-0470527801.
7. Fracture Processes in Concrete, Rock and Ceramics, Vol.1.by A. Bakker, J.G. Rotts and J.G.M. van Mier Published by CRC Press 1991.
8. Elementary Engineering Fracture Mechanics by David Brick, Kluwer academic publisher 1982.
9. Fracture Mechanics by Nestor Perez Kluwer academic publisher,
10. Fracture mechanics with an introduction to micromechanics by Frederick F. Ling, 2011
11. Engineering Damage mechanics Lemaitre J, Desmorat R. 2005.Berlin: Springer;



درس پیش‌نیاز	اختیاری	نوع درس	تعداد واحد	دینامیک سنگ پیشرفته
			۳	
	نظری	نوع واحد	تعداد ساعت	
			۴۸	
آموزش تکمیلی عملی: دارد <input type="checkbox"/> ندارد <input checked="" type="checkbox"/> سفر علمی <input type="checkbox"/> کارگاه <input type="checkbox"/> آزمایشگاه <input type="checkbox"/>				Advanced Rock Dynamics

اهداف کلی درس :

سرفصل درس:

قوانین حرکت و معادله موج در محیط‌های پیوسته و ناپیوسته

مفاهیم انرژی کرنشی، معادلات موج، امواج ایجاد شده از زلزله و انفجار، انتشار موج در محیط‌های پیوسته و ناپیوسته، میرایی در محیط‌های ناپیوسته، قوانین انتقال و انعکاس موج از سطوح ناپیوستگی‌ها، شرایط مرزی حاکم بر عبور موج از محیط‌های پیوسته و ناپیوسته

دینامیک انفجار سنگ

مکانیزم انفجار و فرآیند احتراق ماده منفجره، مکانیزم تولید و انتشار امواج الاستیک، پلاستیک و شوک در محیط، مکانیزم اندرکنش امواج قوی (امواج شوک، امواج پلاستیک) با محیط‌های سنگی، رفتار سنگ تحت عملکرد امواج با انرژی بالا، دینامیک برخورد در محیط‌های سنگی

خواص دینامیکی و شکست سنگ‌ها

خواص تک محوره، سه محوره، کنش و برش سنگ‌ها و توده سنگ‌ها، آزمایش چکشی فشار بار هایپرسیکون (SHPB) در خصوصیات کامل (رفتار بعد از شکست) و شکست سنگ‌ها و تحلیل موج در سنگ‌ها. خواص دینامیکی سنگ درزه‌دار.

مهندسی زلزله و پارامترهای مؤثر در تحلیل لرزه‌ای

تعریف زلزله، خسارات ناشی از زلزله در سازه‌های سطحی و زیرزمینی، گسل‌ها، گسل‌های فعال و صدمات ناشی از حرکت آن‌ها، مفاهیم زلزله شناسی، بزرگی، شدت، میراری، انرژی زلزله، شتاب، طیف و تاریخچه زمانی زلزله. رخدادهای لرزه‌ای، تعیین ویژگی‌های لرزه‌ای منطقه و زلزله پایه طراحی و تحلیل خطر زلزله.

روش‌های تحلیلی و عددی سازه‌های زیرزمینی تحت بارهای زمین لرزه روش‌های تحلیلی و عددی دینامیکی تحلیل سازه‌های زیرزمینی تأثیر بارهای دینامیکی بر نگهداری سازه‌های زیرزمینی.

موارد خاص

✓ بارهای دینامیکی ناشی از حرکت قطار و تحلیل آن

✓ بارهای دینامیکی ناشی از بمب‌های شدیدانفجار و تحلیل آن

✓ بارهای دینامیکی سیکلی

♦ دانشجوی موظف است در قالب مساحت نظری آموزش داده شده طبق نظر استاد مربوطه، یک پروژه مستقل ارائه نماید.



روش ارزیابی:

ارزیابی دانشجو در این درس، طبق نظر استاد مربوط و در موارد زیر صورت می‌پذیرد.

پروژه	آزمون‌های نهایی	میان‌ترم	ارزشیابی مستمر
...	آزمون نوشتاری
	...		
	عملکردی		
	...		

منابع:

1. Zhou, Y. & Zhao, J., 2011, Advances in Rock Dynamics and Application, CRC Press.
2. Zhao, J. & Jianchun, L., 2013, Rock Dynamics and Application – State of the art, CRC Press.



درس پیش‌نیاز:	اختیاری	نوع درس	تعداد واحد	روش‌های تحلیل عددی پیشرفته
			۳	
	نظری	نوع واحد	تعداد ساعت	Advanced Numerical Methods
			۴۸	
آموزش تکمیلی عملی: دارد <input type="checkbox"/> ندارد <input checked="" type="checkbox"/> سفر علمی <input type="checkbox"/> کارگاه <input type="checkbox"/> آزمایشگاه <input type="checkbox"/>				

اهداف کلی درس:

آشنایی با روش‌های عددی در حل مسائل مربوط به خاک و سنگ

سرفصل درس:

- مروری بر روش اجزاء محدود خطی:
- روش کار مجازی، المان‌های مثلثی، روش اجزاء محدود ایزوپارامتریک
- روش اجزاء محدود غیر خطی (غیر خطی مادی):
- بیان انواع معادلات رفتاری غیر خطی و معادلات کلی آن‌ها شامل:
- الاستیسته غیر خطی، الاستوپلاستیته با جریان‌های همراه و غیر همراه و معادلات دیفرانسیل مربوطه، دیسکو پلاستیسته و معادلات مربوطه
- انتگرال گیری از معادلات الاستوپلاستیته و دیسکوپلاستیته به روش صفحات برشی (Cutting Plane) و نزدیک‌ترین نقطه تصویر (CPP(Closest Projection Point)
- روش نیوتون، رانسون استاندارد برای حل معادلات اجزاء محدود غیر خطی (روش حل غیر صریح)
- المان‌های تماسی (Contact) و درزه، و تماسی سازه خاک
- بیان شرایط سینماتیک سطوح تماس، درزه‌ها، معادلات رفتاری مختلف مربوط به سطوح تماسی و درزه‌ها (الاستیک، الاستیک پلاستیک)
- انتگرال گیری از معادلات رفتاری مربوط به درزه، تماس و تماسی سازه خاک
- بیان روش کار مجازی برای درزه‌ها و ارایه المان‌های مربوطه
- حل مسائل در برگزیده فشار آب حفره‌ای
- چگونگی در نظر گرفتن فشار آب حفره‌ای در حالت پایا (فشار ثابت)
- حل مسائل تحکیم به روش پیوست
- حل مسائل دینامیک جامدات دینامیکی
- معرفی ماتریس جرم، ماتریس استهلاک خطی و طریقه بدست آوردن آن‌ها بیان کلی معادلات دینامیکی خطی به صورت ماتریسی
- حل به صورت انتگرال گیری مستقیم، روش تفاضل مرکزی، روش دیلسون و روش نیومارک
- برهم گذاری تبدیل به پایه جابجایی عمومی شده مدال (Modal Generalized Displace)، با در نظر گرفتن استهلاک و بدون در نظر گیری استهلاک
- چگونگی تعیین استهلاک رایلی، بیان المان‌های مرزی جاذب
- حل مسائل غیر خطی به روش دینامیکی صریح (Explicit)

دانشجوی موظف است در قالب مهاجرت نظری آموزش داده شده طبق نظر استاد مربوط، یک پروژه مستقل ارائه نماید.



روش ارزیابی:

ارزیابی دانشجو در این درس، طبق نظر استاد مربوط و در موارد زیر صورت می‌پذیرد.

پروژه	آزمون‌های نهایی	میان‌ترم	ارزشیابی مستمر
...	آزمون نوشتاری
	...		
	عملکردی		
	...		

منابع:

1. Finite Element Procedures: K. J. Balhe published by prentice hall, 1982.
2. Finite Element Hand Book: D. H. Norrie published by Mc Graw Hill, (1993)
3. Non Linear Finite Element Method, Liao



درس پیش نیاز	اختیاری	نوع درس	تعداد واحد	مکانیک چینه‌ها و روش‌های کنترل
			۳	
	نظری	نوع واحد	تعداد ساعت	
			۴۸	
آموزش تکمیلی عملی: دارد <input type="checkbox"/> ندارد <input checked="" type="checkbox"/> سفر علمی <input type="checkbox"/> کارگاه <input type="checkbox"/> آزمایشگاه <input type="checkbox"/>				Mechanics of Strata and Methods of Control

اهداف کلی درس:

درک بهتر از رفتار لایه‌ها تحت اثر تنش و روش‌های کنترل آن‌ها

سرفصل درس:

- اهمیت کنترل طبقه در مهندسی معدن و توسعه انرژی و کارهای عمرانی

کانی‌ها و فلزات استراتژیک

عرضه و تقاضای انرژی

- آخرین دستاوردها در کاربردهای کنترل طبقه

روش‌های عمده معدنکاری و حفاری

مقاهیم طراحی در مهندسی سنگ

اهمیت و جایگاه داده‌های ژئوتکنیکی

آخرین پیشرفت‌ها و نوآوری‌ها

- بهسازی و تقویت طبقات و چینه‌ها یا ملحقات تقویتی (بولت‌ها)

مکانیسم اندرکنش سنگ و نگهداری

بولت‌های مکانیکی و تزریقی

راهنمای طراحی برای سیستم بولت

- کنترل طبقه و توزیع تنش و طراحی پایه‌های زیرزمینی

- کنترل طبقه و توزیع تنش و تغییر شکل‌ها در اطراف کارگاه‌های جبهه‌کار طولانی

تجارب جبهه‌کار طولانی در کشورهای مختلف

مکانیک کنترل طبقه

نشست سطح زمین در طول معدن‌کاری به روش جبهه‌کار طولانی

- کنترل طبقه، توزیع تنش و پایداری جاه‌های معدنی، عمرانی و نفتی

روش‌های متداول کنترل طبقه در جاه‌های معدنی، عمرانی و نفتی

- کنترل پایداری کف فضاهای زیرزمینی و رفتار طبقات

آنالیز ظرفیت باربری (تحمل)

اندازه‌گیری درجای ظرفیت باربری (تحمل)

آنالیز فاکتور برآمدگی

- استخراج نفت به روش معدنکاری - نوآوری‌ها در زمینه توسعه انرژی

روش‌های معدنکاری نفت سنگین



معدنکاری شیل های نفتی

-کنترل طبقات در تونل های ذخیره سازی و دفع مواد رادیواکتیو

وضعیت برنامه ی دفع مواد رادیواکتیو در کشورهای پیشرفته

شناسایی میزان نشست مخازن

مفاهیم طراحی مخازن

مفاهیم کنترل طبقه در طراحی مخزن

آزمایش های درجا در سایت های مخزن

چالش های ژئوتکنیکی

- رفتار طبقات در پدیده انفجار سنگ و کنترل آن

رخداد انفجار سنگ

اندازه گیری ها و آنالیز داده ها

تعادل انرژی

مکانیسم انفجار سنگ: منبع انرژی جنبشی

کنترل مخاطره ی انفجار سنگ

- طراحی لنگه ها و پایه های زیر آبی

- اصول پایدارسازی و نگهداری در محیط های استاتیکی و دینامیکی

« دانشجوی موظف است در قالب مباحث نظری آموزش داده شده طبق نظر استاد مربوط، یک پروژه مستقل ارائه نماید.

روش ارزیابی:



ارزیابی دانشجوی در این درس، طبق نظر استاد مربوط و در موارد زیر صورت می پذیرد.

پروژه	آزمون های نهایی	میان ترم	ارزشیابی مستمر
...	آزمون نوشتاری
	...		
	عملکردی		
	...		

منابع:

1. Evillascusay potvin(ed.), Ground support in mining and underground construction, Balkema, Singapore.
2. Z.T. Bienawski, 1987. Strata control in mineral Engineering, Balkema, Rotterdam.
3. M.J. Jermik, 1987. Ground mechanics in hard rock mining, Balkema, Rotterdam.
4. S. Peng, J. Zhang, 2007. Engineering geology for underground rocks, Springer, New York.
5. A. Hudson, P. Harison, 1997. Engineering Rock Mechanics, Pegramon, UK.
6. Y. Zhao (ed.), 2011. Advances in rock dynamics and applications, CRC Press Book.

درس پیش‌نیاز:	اختیاری	نوع درس	تعداد واحد	حفاری عمیق
			۳	
	نظری	نوع واحد	تعداد ساعت	
			۴۸	
آموزش تکمیلی عملی: دارد <input type="checkbox"/> ندارد <input checked="" type="checkbox"/> سفر علمی <input type="checkbox"/> کارگاه <input type="checkbox"/> آزمایشگاه <input type="checkbox"/>				

اهداف کلی درس:

سرفصل درس:

مکانیزم حفاری و نفوذ در سنگ

روش‌های حفاری عمیق

دکل‌ها و دستگاه‌های حفاری

سیال حفاری

تجهیزات درون گمانه‌ای

مته‌های حفاری مغزه‌گیری

طراحی عملیات حفاری عمیق

مانده یابی و تحلیل ریسک

گزارش دهی و تحلیل لاگ گمانه‌ها

• دانشجوی موظف است در قالب مباحث نظری آموزش داده شده طبق نظر استاد مربوط، یک پروژه مستقل ارائه نماید.

روش ارزیابی:

ارزیابی دانشجوی در این درس، طبق نظر استاد مربوط و در موارد زیر صورت می‌پذیرد.

پروژه	آزمون‌های نهایی	میان‌ترم	ارزشیابی مستمر
....	آزمون نوشتاری
		
	عملکردی		
		

منابع:

1. Bourgoyne, Adam T. Millheim, Keith K. Chenevert, Martin E. Young, F.S. Applied Drilling Engineering. SPE, 1986
2. Bourgoyne, A.T. Young, F.S "A Multiple Regression Approach to Optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection". SPE, 1974, PP 371-374



3. Yasar, E. Ranjith, P.G. Viete, D.R. "An experimental investigation into the drilling and physico-mechanical properties of a rock-like brittle material". J. Petroleum Sci. and Eng. 2011, PP 185-193
4. Lund, J. Cooley, C. Gonzalez, J. Sexton, T. "Laboratory drill rig for PDC bearing and cutter development". Diamond Tooling J. 2007, 20-24
5. Speer, John W. "A Method for Determining Optimum Drilling Techniques". Presented at the spring meeting of the Southern District, Division of Production, Houston, Texas, February 1958
6. Garnier, A.J. Lingen, N.H. "Phenomena Affecting Drilling Rates at Depth". SPE, 1959, 232-239
7. Eren, Tuna, "Real-Time-Optimization of Drilling Parameters during Drilling Operations". PhD thesis, The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, 2010



درس پیش‌نیاز:	اختیاری	نوع درس	تعداد واحد	فرایندهای توأمان در مکانیک سنگ
			۳	
	نظری	نوع واحد	تعداد ساعت	
			۴۸	
آموزش تکمیلی عملی: دارد <input type="checkbox"/> ندارد <input checked="" type="checkbox"/> سفر علمی <input type="checkbox"/> کارگاه <input type="checkbox"/> آزمایشگاه <input type="checkbox"/>				

اهداف کلی درس:

آشنای با تئوری‌های مکانیک جامدات در سنگ

سرفصل درس:

بررسی رفتار دگرشکل پذیری محیط‌های متخلخل در فضای دو بعدی و سه بعدی و به روش‌های تحلیلی و عددی
 بررسی رفتار دگرشکل پذیری محیط‌های درزه دار و دارای تخلخل دوگانه و به روش‌های تحلیلی و عددی
 بررسی معیارهای مقاومتی توده سنگ متخلخل در محیط‌های مختلف
 بررسی معیارهای مقاومتی توده سنگ متخلخل درزه دار و دارای تخلخل دوگانه در محیط‌های مختلف
 معادلات و محاسبات نفوذپذیری محیط‌های متخلخل درزه دار و دارای تخلخل دوگانه
 معادلات ترمودینامیکی و برآورد تنش‌های حرارتی و دگرشکل پذیری سنگ‌ها
 معادلات نفوذ و انتقال در سنگ‌ها و بر روی پدیده‌های انتقال مواد و انحلال شیمیایی
 پدیده‌های توأمان یک‌طرفه (کوچک) در سنگ‌ها



- روش‌های تحلیلی و عددی پدیده توأمان مکانیکی- نفوذپذیری

- روش‌های تحلیلی و عددی پدیده توأمان حرارتی - مکانیکی- نفوذپذیری

پدیده‌های توأمان شیمیایی - مکانیکی- نفوذپذیری

پدیده‌های توأمان دوطرفه و چند طرفه (بزرگ) در سنگ‌ها

- پدیده توأمان تنش- نفوذپذیری

مقدمه‌ای بر پدیده‌های توأمان در سنگ‌ها تحت بار دینامیکی

* دانشجو موظف است در قالب مباحث نظری آموزش داده شده طبق نظر استاد مربوط، یک پروژه مستقل ارائه نماید.

روش ارزیابی:

ارزیابی دانشجو در این درس، طبق نظر استاد مربوط و در موارد زیر صورت می‌پذیرد.

پروژه	آزمون‌های نهایی	میان‌ترم	ارزشیابی مستمر
....	آزمون نوشتاری
		
	عملکردی		
		

منابع:

1. Fundamental of Discrete Elements Method, Jing and stephansson, 2008.
2. Fundamental of Rock mechanic, Jaeger, Cook and Zimmerman, 2007.
3. Flow and Transport in Porous Media and Fractured, M. Sahim, 2011.
4. 4-Flow and Contaminant Transport in Fractured Rock, Jacob Bear, C-F. Tsang, Ghislain De Marsily, 1993.
5. Diffusion and Advection Phenomenon

