جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فنّاوری

# برنامه درسی

## ( بازنگری شده )

## دوره: دکتری

## رشته: ژئوفیزیک

## گرایش: زلزله شناسی

## گروه : علوم پایه

مصوبه جلسه شماره ۹۲ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۱

کمیسیون برنامه‌ریزی آموزشی

بسم الله الرّحمن الرّحیم

## عنوان برنامه: ژئوفیزیک گرایش زلزله شناسی

۱- برنامه درسی بازنگری شده دوره دکتری رشته ژئوفیزیک گرایش زلزله شناسی در جلسه شماره ۹۲ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۱ کمیسیون برنامه ریزی آموزشی تصویب شد.

۲- برنامه درسی بازنگری شده دوره دکتری رشته ژئوفیزیک گرایش زلزله شناسی از تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۱ جایگزین برنامه درسی دوره دکتری رشته ژئوفیزیک گرایش زلزله شناسی مصوب جلسه شماره ۳۸۱ مورخ ۱۳۷۸/۰۷/۱۱ شورای عالی برنامه ریزی می شود.

۳- برنامه درسی مذکور از تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۱ برای تمامی دانشگاه ها ومؤسسه های آموزش عالی و پژوهشی کشور که طبق مقررات مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری فعالیت می کنند برای اجرا ابلاغ می شود.

۴- این برنامه درسی از تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۱ به مدت ۵ سال قابل اجرا است و پس از آن قابل بازنگری است.

عبدالرحیم نوه‌ابراهیم

دبیر شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی

# فصل اول

به نام خدا

# برنامه دوره دکتری رشته ژئوفیزیک
# گرایش: زلزله‌شناسی
# (Seismology)

## تعریف و اهداف

دوره دکتری ژئوفیزیک- زلزله‌شناسی دوره‌ای آموزشی- پژوهشی شامل دروس نظری، عملی و کار پژوهشی است که برای تربیت زلزله‌شناسان مسلط به دانش روز زلزله‌شناسی تعریف شده‌است. دانش‌آموختگان این رشته با احاطه‌یافتن به آخرین پیشرفت‌های علمی در این زمینه بایستی بتوانند با روش‌های نوین پژوهش و نوآوری، نیازهای علمی و پژوهشی کشور را تأمین نموده و در گسترش مرزهای دانش زلزله‌شناسی موثر باشند.
اهداف عمده این برنامه درسی شامل موارد زیر است:

- افزایش آگاهی درباره ساختار زمین و خواص فیزیکی آن
- فراهم آوردن بستر مناسب برای پژوهش‌های نظری و تجربی در زمینه‌های مختلف زلزله‌شناسی
- تعلیم و تربیت نیروهای متخصص برای تأمین نیاز مراکز آموزشی، پژوهشی و خدماتی
- هدایت دانشجویان برای اجرای پروژه‌های تحقیقاتی مورد نیاز کشور

## ضرورت و اهمیت

با توجه به زلزله‌خیزی کشور و ضرورت انجام مطالعات علمی و پژوهشی برای ارزیابی خطر و خطرپذیری زمین‌لرزه در نواحی مختلف فلات ایران و نیز مطالعات منطقه‌ای و جهانی در زمینه‌های مختلف زلزله‌شناسی برای آگاهی از ساختار سرعتی زمین و سازوکار رویداد زمین‌لرزه‌ها، ضرورت این رشته در مقطع دکتری مشخص می‌شود. همچنین، نیازمندی دانشگاه‌ها و موسسات علمی و پژوهشی به نیروهای متخصص، اهتمام به تربیت دانشجویان کارآمد در مقطع دکتری و بومی‌سازی دانش پیشرفته زلزله‌شناسی در کشور را می‌طلبد.

## طول دوره و شکل نظام

شکل نظام به صورت ترمی- واحدی خواهد بود. هر واحد نظری معادل ۱۶ ساعت و هر واحد عملی معادل ۳۲ ساعت در طول یک نیمسال تحصیلی تدریس می‌شود.
طول دوره حداکثر ۵ سال می‌باشد و به دو مرحله آموزشی و پژوهشی مستقل از هم تقسیم می‌شود و با دفاع از رساله پایان می‌پذیرد.

## تعداد و نوع واحدها

تعداد کل واحدهای درسی و رساله در این دوره ۳۶ واحد به شرح زیر است:

الف) دروس الزامی ۹ واحد
ب) دروس اختیاری ۶ واحد
ج) رساله ۲۱ واحد

اگر دانشجویی تعدادی از واحدهای درسی لازم را در دوره کارشناسی ارشد نگذرانده باشد، موظف است به تشخیص استاد راهنما و تأیید شورای تحصیلات تکمیلی گروه، کمبود واحدهای درسی خود را به عنوان واحدهای جبرانی تا سقف مصوب (۶ واحد)، در ابتدای مرحله آموزشی، بگذراند.

## شرایط لازم برای اجرا

اجرای این رشته در دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی- پژوهشی‌ای امکان‌پذیر است که حداقل دارای سه نیروی متخصص با درجهٔ دکتری ژئوفیزیک در زمینه زلزله‌شناسی بوده و دو نفر از آنها مرتبه علمی دانشیار یا استاد داشته باشند. همچنین، دارا بودن آزمایشگاه مستقل با تجهیزات لازم و فضای آموزشی مناسب برای این منظور الزامی است.

شرایط عمومی ورود دانشجویان به دوره دکتری ژئوفیزیک- زلزله‌شناسی مطابق ضوابط و مقررات وزرات علوم، تحقیقات و فناوری می‌باشد.

# فصل دوم

## جدول دروس الزامی

| کد | نام درس | تعداد واحد | ساعات | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | نظری | عملی | جمع |
| ۳۰۱ | زلزله‌شناسی پیشرفته | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |
| ۳۰۲ | تحلیل سریهای‌زمانی پیشرفته | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |
| ۳۰۳ | لرزه‌زمین‌ساخت پیشرفته | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |

## جدول دروس اختیاری*

| کد | نام درس | تعداد واحد | ساعات | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | نظری | عملی | جمع |
| ۳۰۴ | مکانیک زلزله و گسلش | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |
| ۳۰۵ | زلزله‌شناسی جنبش‌نیرومندزمین پیشرفته | ۳ | ۳۲ | ۳۲ | ۶۴ |
| ۳۰۶ | مطالعه ساختار سرعتی زمین | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |
| ۳۰۷ | روش‌های بررسی اثر ساختگاه | ۳ | ۳۲ | ۳۲ | ۶۴ |
| ۳۰۸ | تئوری چشمه زلزله | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |
| ۳۰۹ | روش‌های وارون در حل مسائل ژئوفیزیکی | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |
| ۳۱۰ | تئوری تخمین | ۳ | ۳۲ | ۳۲ | ۶۴ |
| ۳۱۱ | دیرینه‌زلزله‌شناسی پیشرفته | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |
| ۳۱۲ | کاربرد شبکه‌های عصبی در زلزله‌شناسی | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |
| ۳۱۳ | مباحث ویژه (مطالعات اختصاصی) | ۳ | ۴۸ | - | ۴۸ |

* دانشجو می‌تواند با تایید استاد راهنما و موافقت گروه آموزشی، از دروس مقطع دکتری سایر رشته‌های مجموعه ژئوفیزیک، و یا رشته‌های علوم پایه و مهندسی، درس مورد نیاز را انتخاب نماید.

# فصل سوم

**عنوان درس به فارسی: زلزله‌شناسی پیشرفته**

**عنوان درس به انگلیسی:Advanced Earthquake Seismology**

**تعداد واحد: ۳**

**نوع درس: نظری**

**تعداد ساعت:۴۸**

**پیش‌نیاز: ندارد**

**همنیاز:-**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد ○ ندارد● سفر علمی○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار●**

**اهداف کلی درس:** دانشجویان با گذراندن این درس ضمن یادگیری مفاهیم و اصول روش‌های وارون در زلزله‌شناسی، با روش‌های پیشرفته محاسبه پارامترهای زمین‌لرزه، ناهمسانگردی امواج لرزه‌ای، امواج سطحی و نوسانات آزاد زمین، مدل‌های وقوع پیش‌لرزه، و زمین‌لرزه اصلی و پس‌لرزه آشنا می‌شوند.

**اهداف رفتاری:**دانشجو بایستی بتواند، با روش‌های پیشرفته، پارامترهای زمین‌لرزه‌ها را تعیین کند و توانایی مطالعات ناهمگنی محیط و بررسی ویژگی زمین‌لرزه‌ها را داشته باشد.

**سرفصل درس:**

**نظری:**

**فصل اول- مقدمه**

ساختمان درونی زمین، معرفی مدل‌های جهانی مختلف ساختمان زمین، مروری بر فازهای امواج لرزه‌ای (مستقیم، انعکاسی، انکساری، تبدیلی، عمقی، محلی، ناحیه‌ای)، منحنی‌های زمان- مسافت فازهای امواج لرزه‌ای

**فصل دوم- وارون‌سازی در زلزله‌شناسی**

وارون‌سازی پارامترهای زمین‌لرزه، آشنایی با اصول توموگرافی، انواع توموگرافی، وارون‌سازی ترکیبی(Joint Inversion)

**فصل سوم- روش‌های محاسبه پارامترهای زمین‌لرزه**

روش‌های خطی و غیرخطی تعیین زمان و مکان زمین‌لرزه، روش‌های پیشرفته تعیین محل زمین‌لرزه شامل روش های مکان‌یابی نسبی، روش‌های بهینه‌سازی عمق زمین‌لرزه، عوامل مؤثر بر دامنه امواج لرزه‌ای، مقیاس‌های مختلف بزرگی، روش‌های محاسبه انرژی و شدت و افت تنش.

**فصل چهارم- ناهمسانگردی امواج لرزه‌ای**

بررسی انتشار امواج لرزه‌ای در محیط‌های ناهمسانگرد، بررسی پدیده جدایش مؤلفه‌های سریع و کند امواج برشی، روش‌های محاسبه پارامترهای ناهمسانگردی، ناهمسانگردی در سنگ‌کره و سست‌کره، ناهمسانگردی در گوشته و هسته، تحلیل راستای ناهمسانگردی و نیروهای زمین‌ساختی غالب در مناطق لرزه‌خیز.

**فصل پنجم- امواج سطحی و نوسانات آزاد زمین**

منشاء و خصوصیات انواع امواج سطحی شامل لاو و ری‌لی، پاشش امواج سطحی: منحنی پاشش سرعت‌های فاز و گروه، استفاده از پاشش امواج سطحی در مطالعات زلزله‌شناسی، مدهای نرمال زمین، هارمونیک‌های کروی، مدهای شعاعی و مماسی و کروی، مدها و انتشار امواج، جذب و جدایش و جفت‌شدگی مد.

**فصل ششم- مدل‌های وقوع پیش‌لرزه و سازوکار رخداد، مهاجرت، روابط آماری حاکم بر پس‌لرزه‌ها**

سازوکار ممکن برای رخداد پس‌لرزه‌ها، توالی زمین‌لرزه‌ها روی یک گسل، مدل‌های تنشگاه و سد جنبش در خصوص پس‌لرزه‌ها، مدل رخداد پس‌لرزه‌ها بر اساس رشد آهسته ترک، توزیع فضایی پس‌لرزه‌ها و جابجایی در اثر زمین‌لرزه اصلی، مهاجرت پس‌لرزه‌ها، روابط آماری و تجربی در مورد پس‌لرزه‌ها، آهنگ کاهش پس‌لرزه‌ها، سازوکار پس‌لرزه‌ها.

**فعالیت جانبی:** تعیین پارامترهای زمین‌لرزه به روش‌های نوین

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | - |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1. Aki, K., and Richards, P. G., 2002, Quantitative Seismology, 2nd ed., University Science Books, Sauasalito.
2. Kanamori, H., and Bowchi, E., 1982, Earthquakes, Observation, Theory and Interpretation, North-Holland Publishing Co.
3. Kennett, B. L. N., 2002, The Seismic Wavefield, Volume II, Cambridge University Press.
4. Kennett, B. L. N., 2001, Interpretation of Seismograms on Regional and Global Scales, Volumes 1& 2, Cambridge University Press.
5. Lay, T., and Wallace, T. C., 1995, Modern Global Seismology, Academic Press.
6. Stein, S., and Wysession, M., 2003, An Introduction to Earthquakes and Earth Structure, Blackwell Publishing Ltd.


**فهرست مطالعات:**


1. James, D. E., (ed.), 1989, The Encyclopedia of Solid Earth Geophysics, Van Nostrand-Reinhold.
2. Scholz, C. H., 2002, The Mechanics of Earthquakes and Faulting, Cambridge University Press, 2nd ed.
3. Udias, A., 1999, Principales of Seismology, Cambridge University Press.

**عنوان درس به فارسی: تحلیل سری‌های زمانی پیشرفته**

**عنوان درس به انگلیسی: Advanced Times Series Analysis**

**تعداد واحد: ۳**

**نوع واحد: نظری**

**تعداد ساعت:۴۸**

**پیش‌نیاز: ندارد**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد○ ندارد● سفر علمی○ کارگاه○ آزمایشگاه○ سمینار○**

**اهداف کلی درس:** دانشجویان با گذراندن این درس با اصول نظری روش‌های پیشرفته تحلیل سری‌های زمانی آشنا می شوند.

**اهداف رفتاری:**

**سرفصل درس:**

**نظری:**

**فصل اول- مروری بر سری‌های زمانی ژئوفیزیکی**

سیگنال‌ها، سیستم‌ها، همامیخت و همبستگی، سری فوریه و تبدیل فوریه، تبدیل لاپلاس و تبدیل z .

**فصل دوم ـ نمونه‌برداری و بازسازی سیگنال‌ها**

تئوری نمونه‌برداری شانون- نایکویست، کوانتش، کوانتش یکنواخت و غیریکنواخت، تابع اعوجاج، درون‌یابی با تابع سینک، درون‌یابی برپایه بهینه‌سازی، نمونه‌برداری فشرده.

**فصل سوم- تحلیل سیگنال در حوزه فرکانس**

تبدیل z چیرپ، تبدیل هیلبرت، روش‌های برپایه سیگنال تحلیلی، روش‌های تخمین طیف توان، تخمین طیف توان برپایه مدل، تخمین طیفی برپایه زیرفضای ویژه - تحلیل.

**فصل چهارم- تبدیل‌های زمان- فرکانس و زمان- مقیاس**

تبدیل گابور، تبدیل فوریه زمان کوتاه، تبدیل S، تبدیل S تعمیم‌یافته، تبدیل‌های زمان- فرکانس درجه دوم، تبدیل هیلبرت-هوانگ، تبدیل موجک پیوسته، چارچوب‌ها، تحلیل چند مقیاسی (موجک‌های متعامد، کرولت و ...)

**فصل پنجم- روش‌های تحلیل سیگنال در حوزه زمان**

فیلتر کردن و بهبود سیگنال (هموارسازی همامیختی، فیلترهای غیرخطی)، آشکارسازی لبه، آشکارسازی الگو.

**فصل ششم- روش‌های تضعیف نوفه‌های تصادفی و ضربه‌ای**

خصوصیات آماری نوفه‌های تصادفی، فیلترهای همامیختی، فیلترهای دوجانبه، فیلترهای میانگین غیرمحلی، فیلترهای انقباضی، فیلترهای جورسازی بلوک‌های سه‌بعدی، خصوصیات آماری نوفه‌های ضربه‌ای، فیلترهای میانه، روش‌های مقاوم برای تخمین پارامتر.

**فصل هفتم- مدل‌های تصادفی سیگنال‌ها**

متغیرهای تصادفی و گشتاورهای آماری مربوطه، خود همبستگی و همبستگی متقابل فرایند های تصادفی در ورودی- خروجی سیستم های LTI در حوزه های زمان و فرکانس، بردارهای تصادفی، نامساوی چبیشف و کاربرد آن، نامساوی چرنف و کاربرد آن، قضیه اعداد بزرگ در شکل‌های قوی و ضعیف، قضیه حد مرکزی و اثرات آن.

**فصل هشتم- فرایندهای تصادفی و خواص تصادفی سیگنال‌ها**

مفهوم فرایند تصادفی، گشتاورهای آماری فرایندهای تصادفی زمان گسسته و زمان پیوسته، شرایط ایستایی SSS و WSS و WSSچرخشی، مفهوم ارگادیسیتی و روابط مربوطه، پاسخ سیستم LTI به فرآیند تصادفی، نمونه برداری فرآیندهای تصادفی.

**فصل نهم- تحلیل فرآیندهای تصادفی**

بسط KL یک فرآیند تصادفی برحسب توابع اورتونرمال، فرآیندهای زنجیره‌ای مارکوف، فرآیندهای تصادفی خودبازگشتی (AR)، فرآیندهای تصادفی متوسط متحرک (MA)، فرآیندهای تصادفی ARMA.

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | ✓ |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1- Mallat, S., 2008, A Wavelet Tour of Signal Processing, 3rd Edition, The Sparse Way. Elsevier.

2- Soman, K. P., N. G. Resmi, and K. I. Ramachandran, 2010, Insight into Wavelets: From Theory to Practice.PHI Learning Pvt ltd., New Delhi.

3- Boashash, B., (ed.), 2015, Time-Frequency Signal Analysis and Processing: A Comprehensive Reference. 2nd Edition, Elsevier, Academic Press.

4- Allen, R. L., and D. W. Mills, 2004, Signal Analysis Time, Frequency, Scale, and Structure. Wiley-IEEE Press.

5- Gubbins, D., 2004, Time-series Analysis and Inverse Theory for Geophysicists. Cambridge University Press.

6- Papoulis, A. and S. U. Pillai, 2002, Probability, Random Variables and Stochastic Processes, Mc-Graw Hill.


**فهرست مطالعات:**

عنوان درس به فارسی: لرزه‌زمین‌ساخت پیشرفته

عنوان درس به انگلیسی: Advanced Seismotectonics

تعداد واحد: ۳

نوع درس: نظری

تعداد ساعت:۴۸

پیش‌نیاز: -

همنیاز:-

آموزش تکمیلی عملی: دارد○ ندارد○ سفر علمی● کارگاه○ آزمایشگاه○ سمینار ●

اهداف کلی درس:دانشجویان با گذراندن این درس با لرزه‌زمین‌ساخت محیط‌های زمین‌ساختی فشاری، لرزه‌زمین‌ساخت محیط‌های زمین‌ساختی کششی، لرزه‌زمین‌ساخت محیط‌های زمین‌ساختی امتدادلغز، و لرزه‌زمین‌ساخت محیط‌های درون قاره‌ای آشنا می‌شوند.

اهداف رفتاری:دانشجویان با گذراندن این درس با ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی محیط‌های زمین‌ساختی مختلف آشنا می‌شوند.

سرفصل درس :

نظری:

فصل اول- مقدمه: ساختمان درونی زمین، نظریه زمین‌ساخت صفحه‌ای، نظریه انبساط زمین، محیط‌های زمین‌ساختی، لغزش لرزه‌ای و بی‌لرزه، گسل‌های فعال، گسل‌های مستعد (capable faults)، قطعه‌بندی گسل‌ها، گسل‌های پنهان، ساخت‌های مرتبط با زمین‌لرزه‌های مخرب (coseismic structures)، چرخه دگرشکلی پوسته، شواهد زمین‌ریختی زمین‌لرزه‌های گذشته، روش‌های دیرینه‌زلزله‌شناسی، زمین‌لرزه‌های سرشتی (characteristic)، مهاجرت گسلش و زمین‌لرزه، روش‌های اندازه‌گیری دگرشکلی پوسته (نقشه‌برداری زمینی، موقعیت‌یابی جهانی، تداخل سنجی رادار، ...).

فصل دوم- لرزه‌زمین‌ساخت محیط‌های زمین‌ساختی فشاری

زون‌های فرورانش، دگرشکلی درونی قطعات فرورونده، لرزه‌خیزی زون‌های فرورانش، لرزه‌خیزی کم عمق در زون‌های فرورانش، سازوکار زمین‌لرزه‌های عمیق، لرزه‌خیزی دور از قطعه فرورونده، مثال‌هایی از زمین‌لرزه‌ها در زون‌های فرورانش، زون‌های برخورد قاره‌ای، لرزه‌خیزی زون‌های برخورد قاره‌ای، سازوکار زمین‌لرزه‌ها در زون‌های برخورد قاره‌ای، همگرایی مایل، پدیدهٔ افراز (partitioning)، مثال‌هایی از زمین‌لرزه‌ها در زون‌های برخورد قاره‌ای.

فصل سوم- لرزه زمین‌ساخت محیط‌های زمین‌ساختی کششی

پشته‌های میان‌اقیانوسی، کافت‌های قاره‌ای، لرزه‌خیزی در رژیم‌های کششی قاره‌ای و اقیانوسی، سازوکار زمین‌لرزه‌ها در رژیم‌های کششی، مثال‌هایی از زمین‌لرزه‌ها در محیط‌های کششی.

فصل چهارم- لرزه‌زمین‌ساخت محیط‌های زمین‌ساختی امتدادلغز

گسل‌های ترادیس(transform) و تراگذر (transcurrent)، لرزه‌خیزی در سیستم‌های ترادیس و تراگذر، سازوکار زمین‌لرزه‌ها در محیط‌های زمین‌ساختی امتدادلغز، مثال‌هایی از زمین‌لرزه‌ها در محیط‌های امتدادلغز.

فصل پنجم- لرزه‌زمین‌ساخت محیط‌های درون قاره‌ای

محیط‌های درون‌قاره‌ای متاثر از جنبش در مرز صفحات (plate boundary related)، محیط‌های میان صفحه‌ای (midplate)، لرزه‌خیزی در

محیط‌های درون قاره‌ای، سازوکار زمین‌لرزه‌ها در محیط‌های درون قاره‌ای، مثال‌هایی از زمین‌لرزه‌ها در محیط‌های درون قاره‌ای.

**فعالیت جانبی:**

بازدید صحرایی و مطالعه موردی شواهد گسلش و زمین‌ریخت‌های مرتبط با زمین‌لرزه های ایران.

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | - |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1. Keary, P., Klepeis, K. A., and Vine, F. J., 2009, Global Tectonics, Wiley-Blackwell, 3rd ed.
2. Kanamori, H., (ed.), 2007, Earthquake Seismology, Treatise on Geophysics, Vol. 4, Elsevier.
3. McCalpin, J. P., (ed.), 2009, Paleoseismology, Academic Press Inc.
4. Scholz, C. H., 2002, The Mechanics of Earthquakes and Faulting, Cambridge University Press, 2nd ed.
5. Yeats, R. S., Sieh, K., and Allen, C. R., 1997, The Geology of Earthquakes, Oxford University Press.

**عنوان درس به فارسی: مکانیک زلزله و گسلش**

**عنوان درس به انگلیسی: Mechanics of Earthquakes and Faulting**

**تعداد واحد: ۳**

**نوع واحد: نظری**

**تعداد ساعت:۴۸**

**پیش‌نیاز:ندارد**

**همنیاز: -**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد○ ندارد● سفر علمی ○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار ●**

**اهداف کلی درس:** دانشجویان با گذراندن این درس با مفاهیم اساسی مکانیک اجسام پیوسته، رفتار مکانیکی سنگ‌ها، گسیختگی شکننده و اصطکاک سنگ، مکانیک و رئولوژی گسل‌ها و مکانیک زمین‌لرزه‌ها آشنا می‌شوند.

**اهداف رفتاری:**

**سرفصل درس :**

**نظری:**

**فصل اول- مقدمه: مروری بر مفاهیم اساسی مکانیک اجسام پیوسته**

محاسبات برداری و تانسوری، جابجایی و سرعت، میزان تغییرات زمانی، شتاب، حرکات یکنواخت و لغزشی، حرکت جسم صلب، حرکت و دگرشکلی، تانسور تغییر دگرشکلی، دگرشکلی محدود و تانسورهای تغییر شکل، تغییر شکل و چرخش (rotation)، تانسورهای تغییر سرعت و گردش (Spin)، جریان ساده، قوانین بقاء (جرم، انرژی، ممان)، اصول کار واقعی.

**فصل دوم- رفتار مکانیکی سنگ‌ها**

رفتار مواد و مدل‌های رفتاری، شکستگی در مواد، خواص مکانیکی سنگ‌ها، سازوکارهای دگر شکلی و مدهای شکستگی، نقشه‌های سازوکار دگرشکلی، بررسی‌های آزمایشگاهی دگرشکلی سنگ‌ها (اصول، تکنیکها)، قوانین اساسی تجربی جریان، مثال‌هایی از بررسی‌های انجام شده بر روی سنگ‌های مختلف (کوارتز، الیوین، فلدسپات، آمفیبولیت و ...)، اثرات فشار، اندازه دانه و محیط شیمیایی بر روی حرکت یکنواخت لغزشی، مکانیک دگرشکلی طبیعی سنگ‌ها.

**فصل سوم- گسیختگی شکننده و اصطکاک سنگ (Brittle fracture and friction of rock)**

مفاهیم تئوری، تئوری‌گریفیتز (Griffith's theory)، سازوکارهای شکستگی، مطالعات تجربی مقاومت سنگ، انرژی‌های شکستگی (fracture energies)، بررسی تنش‌ها در رژیم‌های مختلف، قوانین تنش مؤثر، تماس سطوح، اصطکاک داخلی، بررسی‌های تجربی در مورد اصطکاک، اثرات میزان تغییر اصطکاک، انتقال پایداری اصطکاکی، بررسی مسائل دینامیکی.

**فصل چهارم- مکانیک و رئولوژی گسل‌ها**

چهارچوب مکانیکی، تئوری گسلش اندرسون، تئوری گسلش رونده هویرت-رابی، شکل‌گیری و رشد گسل‌ها، گسل‌سنگ‌ها و ساختارها، گسل‌سنگ‌ها و سازوکارهای دگرشکلی، بافتار (fabric) و سطوح، مدل زونهای برشی، آثار ترمومکانیکی گسلش، مقاومت زون‌های گسلی بوسته، ریخت‌شناسی گسل و آثار مکانیکی ناهمگنی، توپوگرافی و ریخت‌شناسی گسل، آثار مکانیکی بی‌نظمی گسل‌ها.

**فصل پنجم- مکانیک زمین‌لرزه‌ها**

تعادل دینامیکی، انتشار ترک‌های برشی، پدیده‌های وابسته به زمین‌لرزه، روابط مقیاس زمین‌لرزه، مشاهدات مربوط به زمین‌لرزه‌ها، مطالعات انجام شده، توالی زمین‌لرزه‌ها، رویداد مجدد زمین‌لرزه.

**فصل ششم- کاربرد روش‌های عددی (مدل‌سازی)**

روابط اساسی، روابط تنش- کرنش برای حالت‌های مختلف، پارامترهای چشمه، مدل‌های کاربردی دو بعدی و سه بعدی، مدل حرکت زمین و توابع سرعت، چند مثال.

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | - |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1. Karato, S. I., 2008, Deformation of Earth Materials, Cambridge University Press.
2. Kostrov, B. V., and Das, S., 1998, Principles of Earthquake Source Mechanics, Cambridge University Press.
3. Ranalli, G., 1987, Rheology of the Earth, Allenand Unwin.
4. Scholz, C. H., 2002, The Mechanics of earthquakes and Faulting, 2nd ed., Cambridge University Press.
5. Udias, A. R., and Buform, E., 2014, Source Mechanisms of Earthquakes, Theory and Practice, Cambridge University Press.


**فهرست مطالعات:**


1. Jaeger, J. C., and Cook, N. G. W., 1976, Fundamentals of rock mechanics: 2nd ed., Chapman and Hall.

**عنوان درس به فارسی: زلزله‌شناسی جنبش‌نیرومندزمین پیشرفته**

**عنوان درس به انگلیسی: Advanced Strong- Motion Seismology**

**تعداد واحد: ۳**

**نوع واحد: ۲ واحد نظری و ۱ واحد عملی**

**تعداد ساعت: ۳۲ ساعت نظری و ۳۲ ساعت عملی**

**پیش‌نیاز: ندارد**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد● ندارد○ سفر علمی ○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار ○**

**اهداف کلی درس:** دانشجو با گذراندن این درس قادر به برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین، برآورد اثرات چشمه، مسیر و ساختگاه، شبیه‌سازی به روشهای مختلف و ... خواهد بود.

**اهداف رفتاری:** دانشجو بایستی بتواند پارامترهای جنبش نیرومند زمین، طیف طراحی و شبیه‌سازی را به روشهای مختلف برآورد کند.

**سرفصل درس:**

**نظری:**

**فصل اول ـ مروری بر زلزله‌شناسی جنبش نیرومند زمین**

تاریخچه جنبش نیرومند زمین، مشخصه‌های جنبش نیرومند زمین، شبکه های شتاب نگاری ایران و جهان، آرایه‌های شبکه‌های شتاب نگاری، بانک داده‌های شتاب نگاری، پردازش داده های شتاب نگاری، تصحیحات داده های شتاب نگاری، مثالهایی از تاریخچه زمانی شتاب زمین‌لرزه‌های بزرگ ایران و جهان.

**فصل دوم ـ مدل‌سازی چشمه گسل عامل جنش نیرومند زمین**

برآورد پارامترهای استاتیکی و دینامیکی چشمه با مدل‌سازی در حوزه زمان، فرکانس و روش تابع گرین، برآورد توزیع لغزش و مدل‌سازی آن در روی گسل، مدل‌سازی و برآورد سازوکار کانونی و مشخصه های شکست گسل عامل جنش نیرومند زمین، روشهای برآورد اثرات راستاگرایی (directivity) و الگوی تابش (radiation pattern)، روشهای برآورد اثرات پالس حوزه نزدیک.

**فصل دوم ـ روابط تضعیف و روش برآورد**

روبط تضعیف و پارامترهای مؤثر بر آن، روابط تضعیف در ایران و جهان، مدل‌سازی روابط تضعیف، پارامترهای مدل جذب، مدلهای ریاضی و تئوری، اثرات حوزه نزدیک گسل بر روابط تضعیف، عدم قطعیت و اعتبارسنجی روابط تضعیف.

**فصل چهارم ـ برآورد اثر ساختگاه و مسیر**

مدل‌سازی فیزیکی اثرات ساختگاه و ضریب کیفیت، جداسازی اثرات ضریب کیفیت، چشمه و اثر ساختگاه، مدل‌سازی تجربی اثرات مسیر و ساختگاه، روشهای آرایه‌ای و ناکامورا در برآورد اثر ساختگاه و ... .

**فصل پنجم ـ روشهای شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین**

مقدمه، روشهای شبیه‌سازی، شبیه‌سازی به روش های تجربی، نیمه تجربی و عددی، روشهای شبیه‌سازی ترکیبی، پارامترهای موثر در شبیه‌سازی، شبیه‌سازی به روشهای عددی المان محدود و طیفی.

**فصل ششم ـ روشهای برآورد طیف زمین‌لرزه**

مقدمه، طیف پاسخ و روشهای برآورد، فاکتورهای موثر بر طیف پاسخ، طیف کشسان و غیرکشسان، برآورد طیف طرح و شتاب نگاشت منطبق بر طیف طرح، طیف مختص ساختگاه و طیف خطر یکنواخت.

**عملی:**

پردازش داده‌های شتاب‌نگاری و انجام پروژه های مرتبط.

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | ✓ |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1- Chen, W. F. and Scawthron, C., (eds.), 2003, Earthquake Engineering Handbook, CRC Press, Washington DC.

2- Pecker, A., (ed.), 2007, Advanced Earthquake Engineering Analysis, Springer, Wiein, New York.

3- Sucuoglu, H. and Akkar, S., 2014, Basic Earthquake Engineering, from Seismology to Analysis and Design, Springer Cham Heidelberg, New York.


**فهرست مطالعات:**


1- Anderson, J. G., 2001, Strong Motion Seismology, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology.

2- William, H., Lee, K., Kanamori, H., Jennings, P. C. and Kisslinger, C., 2003, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology.

**عنوان درس به فارسی: مطالعه ساختار سرعتی زمین**

**عنوان درس به انگلیسی:Velocity Structure Study of the Earth**

**تعداد واحد:۳**

**نوع درس: نظری**

**تعداد ساعت: ۴۸**

**پیش نیاز:**

**همنیاز:**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد○ ندارد● سفر علمی ○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار ○**

**اهداف کلی درس** :دانشجویان با گذراندن این درس، ضمن مرور مفاهیم و اصول حاکم بر وارون‌سازی در زلزله‌شناسی، با زمان‌سیر فازهای لرزه‌ای مختلف و ارتباط آن‌ها با ساختار زمین، با روش‌های مختلف مطالعه و تعیین ساختار سرعتی زمین شامل: تابع انتقال گیرنده، توموگرافی زمان‌سیر امواج پیکری، توموگرافی امواج سطحی و توموگرافی نوفه‌های لرزه‌ای محیطی آشنا می شوند.

**اهداف رفتاری:**

**سرفصل درس:**

**نظری:**

**فصل اول- مقدمه**

اهمیت مطالعه ساختمان زمین و کاربرد آن در سایر شاخه‌های زلزله‌شناسی، مشاهدات و روش‌های مطالعه ساختار زمین.

**فصل دوم- زمان‌سیر فازهای مختلف و ساختار زمین**

فازهای لرزه‌ای، منحنی‌های زمان مسافت برای فازهای مختلف، ساختمان زمین شامل پوسته، گوشته فوقانی و سنگ‌کره، گوشته پایینی، هسته.

**فصل سوم- روش وارون در زلزله‌شناسی**

مروری برمفاهیم و اصول حاکم بر وارون‌سازی در زلزله‌شناسی.

**فصل چهارم- تابع انتقال گیرنده**

مروری بر تابع انتقال گیرنده، آماده‌سازی داده‌ها، تفکیک پاسخ گیرنده با همانندسازی چشمه .

ایجاد مدل‌های اولیه، محاسبه تابع انتقال گیرنده، وارون‌سازی تابع گیرنده، تابع گیرنده امواج P و S.

برگردان همزمان تابع انتقال گیرنده و منحنی پاشش امواج سطحی.

**فصل پنجم- توموگرافی زمان‌سیر امواج پیکری**

تئوری وارون تعمیم‌یافته، ویژگی‌های حل وارون‌سازی تعمیم‌یافته، نایکتایی و میانگین‌های محلی شده، ایجاد مدل‌های مصنوعی برای تست نتایج.

**فصل ششم- توموگرافی امواج سطحی**

امواج لاو و ری‌لی، سرعت گروه و سرعت فاز، تعیین منحنی پاشندگی امواج سطحی، مدل‌سازی سرعت گروه و سرعت فاز، مدل‌سازی سه‌بعدی.

**فصل هفتم- توموگرافی شکل موج**

تئوری، ایجاد مدل اولیه، محاسبه عناصر ماتریس، حل تکراری سیستم خطی، LSQR، لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی و تحلیل خطا.

**فصل هشتم- توموگرافی نوفه‌های لرزه‌ای محیطی**

ویژگی نوفه‌های لرزه‌ای محیطی، نحوه بدست آوردن نوفه‌های لرزه‌ای محیطی، جهت‌یافتگی، اطلاعات موجود در فاز و دامنه نوفه‌های لرزه‌ای محیطی، نحوه محاسبه سرعت فاز و گروه از روی نوفه‌های لرزه‌ای محیطی.

**عملی:-**

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | ✓ |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1. Dmowska, R., 2015, Advances in Geophysics, Volume 56, Pages 1-312. Copyright © 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.
2. Fowler, C. M. R., 2004, The Solid Earth, An Introduction to Global Geophysics, 2nd ed., Cambridge University Press.
3. Iyer, H. M., and Hirahara, K., 1993, Seismic Tomography, Theory and Practice, Chapman & Hall.
4. Nolet, G., 1987, Seismic Tomography, Reidel Publishing Company.
5. Stein, S., and Wysession, M., 2003, An Introduction to Earthquakes and Earth Structure, Blackwell Publishing Ltd.


**فهرست مطالعات:**

**عنوان درس به فارسی: روش‌های بررسی اثر ساختگاه**

**عنوان درس به انگلیسی: Site Effect Investigation Methods**

**تعداد واحد: ۳**

**نوع واحد: نظری - عملی**

**تعداد ساعت:۳۲ ساعت نظری – ۳۲ ساعت عملی**

**پیش‌نیاز: تئوری انتشار امواج کشسان**

**همنیاز: -**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد● ندارد○ سفر علمی ○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار ○**

**اهداف کلی درس:**

آشنایی با مفاهیم اساسی و روش‌های تخمین اثر ساختگاه، بررسی روش‌های مختلف تخمین اثر ساختگاه و بررسی مزایا و کارایی روش‌های مرتبط.

**سرفصل درس:**

**نظری:**

**فصل اول- مقدمه**

مروری بر روش‌های مبتنی بر تحلیل امواج سطحی و چالش‌های مرتبط با این روش‌ها.

**فصل دوم- انتشار امواج در محیط‌های غیرهمگن خطی**

انتشار امواج سطحی در محیط‌های کشسان غیرهمگن در جهت قائم، انتشار امواج سطحی در محیط‌های غیرکشسان غیرهمگن در جهت قائم.

**فصل سوم- ثبت و برداشت (acquisition) امواج سطحی**

طراحی برداشت داده فعال (active)، روش‌های دو ایستگاهی، طراحی برداشت امواج سطحی غیرفعال (passive)، نمونه برداری، ویژگی‌های دستگاه‌های داده‌برداری مناسب.

**فصل چهارم- تحلیل ویژگی پاشندگی امواج سطحی**

خودهمبستگی مکانی، تحلیل سرعت گروه، خطاها وعدم قطعیت‌ها در تحلیل پاشندگی.

**فصل پنجم- وارون‌سازی پاشندگی امواج سطحی**

وارون‌سازی امواج سطحی به روش تحلیلی، اهمیت اطلاعات پیشین در وارون‌سازی امواج سطحی، خطاها وعدم قطعیت‌ها در وارون‌سازی امواج سطحی.

**فصل ششم- روشهای پیشرفته مبتنی بر تحلیل امواج سطحی**

تداخل‌سنجی امواج نوفه لرزه‌ای، بهره‌گیری از قطبش امواج یا بیضی‌واری (ellipticity)، H/V غیرفعال، تفسیر H/V .

**عملی:** پروژه درسی شامل تحلیل امواج سطحی.

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | ✓ |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1. Boore, D. M., 1972, Finite Difference Methods for Seismic Wave Propagation in Heterogeneous Materials, Academic Press.

2. Dziewonski, A. M., and Hales, A. L., 1972, Numerical Analysis of Dispersed Seismic Waves. In: Methods in Computational Physics, Vol. 11- Seismology: Surface Waves and Earth Oscillations (B. A. Bolt, ed.), Academic Press.

3. Foti, S., Lai, C. G., Rix, G. J., and Strobbia, C., 2014, Surface Wave Methods for Near surface Site Characterization, CRC Press.

4. Schwab, F., and Knopoff, L., 1972, Fast Surface Wave and Free Mode Computations, Academic Press.

**عنوان درس به فارسی: تئوری چشمه زلزله**

**عنوان درس به انگلیسی:Earthquake Source Theory**

**تعداد واحد: ۳**

**نوع درس: نظری**

**تعداد ساعت: ۴۸**

**پیش‌نیاز:ندارد**

**همنیاز:-**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد○ ندارد● سفر علمی ○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار ●**

اهداف کلی درس: دانشجویان با گذراندن این درس با نظریه‌های مرتبط با چشمه لرزه‌ای، تانسور گشتاور لرزه‌ای، حل معادلات موج برای چشمه نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای، تانسور گرین، روش‌های پیشرفته تعیین سازوکار کانونی زمین‌لرزه و مدل‌های شکست آشنا می‌شوند.

**سرفصل درس:**

**فصل اول- مقدمه**

مروری بر دگرشکلی، کرنش، تنش، معادلات تعادل و موج، مروری بر پارامترهای مکان، اندازه و هندسه چشمه، مروری بر تانسور گشتاور لرزه‌ای، نیروهای دوقطبی و زوج نیرو، تجزیه تانسور گشتاور و انواع چشمه.

**فصل دوم – ناپیوستگی جابجایی و آزادسازی انرژی زمین‌لرزه**

ناپیوستگی جابجایی، کشش(traction) در سطح گسل، چگالی کرنش- انرژی، موازنه انرژی، انرژی لرزه‌ای و زمین‌لرزه، افت تنش.

**فصل سوم – میدان جابجایی حاصل از زمین‌لرزه**

تانسور گرین و سومیلیانا برای محیط کشسان ساده و لایه‌ای و اثبات‌ها، نمایش انتگرالی میدان جابجایی، قضیه تقابل (Reciprocity Theorem)، بررسی مفصل سامانه نیروهای معادل، بررسی ساده نمایش انتگرالی، تانسور چگالی-گشتاور، میدان جابجایی برای لغزش مماسی، میدان جابجایی برای لغزش نامماسی، مراتب بالاتر تانسور گشتاور.

**فصل چهارم- تابع زمانی چشمه در میدان دور**

تقریب مرتبه اول، تقریب مرتبه صفرم، مدل مستطیلی گسل، مدل هاسکل، مقایسه انتگرال‌گیری‌های رویه و زمان، مدل دایره‌ای شکستگی (مدل‌های ایستا و برون)، ویژگی‌های طیفی تابع زمانی چشمه، باند بسامد پایین و گشتاور لرزه‌ای، باند بسامد بالا و فازهای توقف (stopping)، باند بسامد میانی و ابعاد چشمه، مدهای انتشار شکست، قانون‌های مقیاس‌گذاری(scaling laws).

**فصل پنجم- مدل‌های شکست**

ابعاد چشمه، مدل‌های همگن، مدل شکست گریفیس، جریان انرژی به سمت جبهه شکست برای ترک گسترش‌یابنده، تکینگی (singularity)های تنش، انتشار شکست برشی خودیخودی، مدل‌های اصطکاک شکست، گسیختگی گسل دایره‌ای، میدان جابجایی گسل دایره‌ای پویا در میدان دور، مدل‌های ناهمگن، زونار چسبندگی، مدل اصطکاک کاهش لغزش، قانون‌های اصطکاک، آغاز و پایان گسیختگی، تنشگاه‌ها و سدهای جنبشی، ترمیم (healing) و انتشار پالس گسیختگی، سرعت گسیختگی ابربرشی، راستاگرایی (directivity) و کاربرد آن.

**فصل ششم- حل‌های سطح گسل و تعیین تانسور گشتاور لرزه‌ای**

گشتاور لرزه‌ای نرده‌ای، بررسی مفصل حل سازوکار زمین‌لرزه با استفاده از قطبش اولین جنبش موج P، وارون‌سازی تانسور گشتاور، تفسیرتانسور گشتاور، ویژه‌مقدارها و ویژه‌بردارهای تانسور گشتاور، تفسیر تابع زمانی گشتاور، حل سازوکار زمین‌لرزه با استفاده از مدل‌سازی امواج درونی، سطحی و کل شکل موج، ابعاد محلی، منطقه‌ای و دورلرز، تعیین تنشگاه‌ها و زیررویدادها، بررسی سایر روش‌های تعیین سازوکار کانونی. مقایسه، مزایا و معایب روش‌های مذکور، تابع‌های تجربی گرین.

**فصل هفتم- تعیین انرژی لرزه‌ای**

تعریف انرژی لرزه‌ای و نالرزه‌ای، شار انرژی از کره کانونی، انتگرال‌گیری مستقیم روی کره کانونی، میدان موج در کره کانونی، برآورد تک‌ایستگاهه با در نظرگرفتن راستاگرایی، برآورد تک‌ایستگاهه بدون در نظرگرفتن راستاگرایی.

**فصل هشتم- تعیین افت تنش**

افت تنش ایستا، افت تنش پویا، انرژی لرزه‌ای و افت تنش، ناوابستگی افت تنش به گشتاور.

**فصل نهم- مدل‌سازی زمین‌لرزه با پویایی‌شناسی شکست و وارون‌سازی لغزش**

مروری بر تقریب چشمه نقطه‌ای، مدل چشمه کراندار، مدل‌های پویا، مدل‌سازی سه‌بعدی زمین‌لرزه، انتشار گسیختگی روی گسل یکنواخت مسطح، گسل دایره‌ای کراندار در محیط همگن، گسل مستطیلی امتدادلغز کم‌ژرفا، وارون‌سازی لغزش و محاسبه تنش در روی سطح گسل با استفاده از داده‌های لرزه‌ای، GPS و تداخل‌سنجی راداری، بررسی روش‌های مختلف تعیین لغزش.

**روش ارزیابی :**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | - |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع :**


1. Udias, A., Madariaga R., and Buforn, E., 2014, Source Mechanism of Earthquakes: Theory and Practice, Cambridge University Press.
2. Aki, K., and Richards, P. G., 2002, Quantitative Seismology, 2nd ed., University Science Books.
3. Kasahara, K., 1981, Earthquake mechanics, Cambridge University Press.
4. Kostrov, B. V., and Das, S., 1988, Principles of Earthquake Source Mechanics, Cambridge University Press.
5. Lay, T., and Wallace, T. C., 1995, Modern Global Seismology, Academic Press.

فهرست مطالعات :


6. Marone, C. J., and Blanpied, M. L., 1994, Faulting, Friction and Earthquake Mechanics, Parts I and II, Birkhauser Verlag AG.
7. Scholz, C. H., 2002, The Mechanics of Earthquakes and Faulting, Cambridge University Press, 2nd ed.
8. Stein, S., and Wysession, M., 2003, An Introduction to Earthquakes and Earth Structure, Blackwell Publishing Ltd.

**عنوان درس به فارسی:** روش‌های وارون در حل مسائل ژئوفیزیکی

**عنوان درس به انگلیسی:** Inverse Methods in Geophysical Problems

**تعداد واحد:** ۳

**نوع واحد:** نظری

**تعداد ساعت:** ۴۸

**پیش‌نیاز:** ندارد

**آموزش تکمیلی عملی:** دارد○ ندارد● سفر علمی○ کارگاه ○ آزمایشگاه○ سمینار○

**اهداف کلی درس:** دانشجویان با گذراندن این درس با اصول نظری روش‌های حل مسائل وارون ژئوفیزیکی آشنا می‌شوند.

**اهداف رفتاری:**

**سرفصل درس:**

**نظری:**

**فصل اول ـ مروری بر جبر خطی**

فضاهای برداری، بردار و ماتریس، تعامد، ضرب داخلی و نرم، استقلال خطی و رتبه (Rank)، مقادیر ویژه و بردارهای ویژه، تجزیه مقادیر تکین (SVD).

**فصل دوم ـ مروری بر آمار و احتمالات**

احتمال و متغیرهای تصادفی، مقدار چشم داشتی و واریانس، توزیع‌های مشترک(joint distributions)، توزیع‌های چند متغیره، احتمال شرطی، تئوری بیز (Bayesian)

**فصل سوم ـ رگرسیون**

مقدمه ای بر مسائل وارون ژئوفیزیکی، رگرسیون خطی و غیرخطی، رگرسیون $\ell_1$ ، $\ell_2$، $\ell_p$

**فصل چهارم ـ مسائل وارون خطی**

رتبه ناقص و بد- شرطی، منظم‌سازی و ارتباط آن با تخمین بیزی، فضاهای داده و مدل، تخمین بیشینه درستنمایی و اطلاعات اولیه، منظم‌سازی خطی و غیرخطی، SVD قطع شده، منظم‌سازی تیخونوف، منظم‌سازی تغییرات کلی (TV)، منظم‌سازی بر مبنای تنکی (Sparsity)، روش کمترین مربعات وزندار تکراری (IRLS)

**فصل پنجم ـ حلگرهای تکراری و مسائل بزرگ مقیاس**

مساله نیازمندی حافظه، روش تکراری Landweber، روش گرادیان مزدوج (CG)، روش CG برای کمترین مربعات (CGLS)، روش زیرفضای کریلوف (Krylov)

**فصل ششم ـ روش‌های تخمین پارامتر منظم‌سازی**

روش اصل تفاوت و مربع کای ($\chi^2$)، روش خم L، روش اعتبار سنجی متقابل تعمیم‌یافته (GCV)، روش SURE

**فصل هفتم ـ مسائل وارون غیرخطی**

وارون کمترین مربعات غیرخطی، روش گرادان مزدوج غیرخطی، روش تندترین کاهش (steepest descent)، روش نیوتن، روش اکام (Occam)

**فصل هشتم ـ روش‌های بهینه‌سازی جهانی**

روش‌های مونت-کارلو، روش‌های تبلور شبیه‌سازی شده، الگوریتم‌های ژنتیک

روش ارزیابی:

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | ✓ |
| | | عملکردی: ✓ | |

فهرست منابع:


1- Hansen, P. C., 1999, Rank-deficient and Discrete ill-posed Problems: Numerical Aspects of linear Inversion. Philadelphia, PA: SIAM.
2- Aster, R. C., B. Borchers, H., C. H. Thurber, 2013, Parameter Estimation and Inverse Problems, 2nd Edition. Elsevier.
3- Menke, W., 2012, Geophysical data Analysis: Discrete Inverse Theory. 3rd Edition, Elsevier.
4- Richardson, R. M., and G. Zandt, 2003, Inverse Problems in Geophysics, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.
5- Sen, M. K., and P. L. Stoffa, 2013, Global Optimization Methods in Geophysical Inversion, Cambridge University Press.
6- Taratual, A., 2005, Inverse Problem, Theory and Methods for Model Parameter Estimation, SIAM.
7- Zhdanov, M. S., 2015, Inverse Theory and Applications in Geophysics, 2nd Edition, Elsevier Science.


فهرست مطالعات:

**عنوان درس به فارسی: تئوری تخمین**

**عنوان درس به انگلیسی: Estimation Theory**

**تعداد واحد: ۳**

**نوع درس: نظری- عملی**

**تعداد ساعت:۳۲ ساعت نظری – ۳۲ ساعت عملی**

**پیش‌نیاز: سری‌های زمانی ژئوفیزیکی پیشرفته**

**همنیاز: -**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد● ندارد○ سفر علمی ○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار ○**

**اهداف کلی درس:**

آشنایی با مفاهیم اساسی و روش‌های تئوری تخمین و آشکارسازی سیگنال‌ها در پردازش سیگنال‌ها.

بررسی روش‌های مختلف تخمین سیگنال‌های تصادفی و غیرتصادفی آغشته به نوفه و بررسی عملکرد و کارایی روش‌های مرتبط.

بررسی روش‌های مختلف بهینه‌سازی در تخمین شکل‌موج و تخمین پارامترهای نهفته در سیگنال‌های تصادفی و غیرتصادفی و بررسی عملکرد و کارایی روش‌های فوق.

بررسی کاربرد این روش‌ها در پردازش سیگنال در زلزله شناسی.

**اهداف رفتاری:**

**سرفصل درس:**

**نظری:**

**فصل اول- مقدمه:** مروری بر سیگنال‌های تصادفی، سیستم‌های‌زمان گسسته با ورودی‌های تصادفی

**فصل دوم- روش‌های تخمین بهینه**

تخمین سیگنال، خصوصیات روش‌های تخمین و میزان دقت تخمین، تخمین حالت (State Estimation) ، تخمین بیزین (Bayesian Estimation) ، تخمین کمترین مربعات، تخمین بیشینه درست نمائی (Maximum Likelihood)، تخمین‌بیشینه پسین (Maximum A posteriori Estimation)، تخمین خطای کمترین مجذور میانگین (MMSE)، مقایسه روش‌های تخمین، طرح مسائل تخمین در زلزله‌شناسی.

**فصل سوم- برآوردهای پارامترهای فرایندهای تصادفی از روی داده**

آزمونهای ایستائی و ارگودیسیته ، برآورد مستقل از مدل (برآورد توابع خودهمبستگی ، برآورد توابع چگالی طیفی توان (PSD))، برآورد وابسته به مدل توابع خودهمبستگی و PSD، برآورد پارامترهای فرایند خودبرگشتی

**فصل چهارم- فیلتر کمینه میانگین مربعات خطای خطی**

خطای تخمین توسط فیلتر بهینه (وینر)، تخمین بازگشتی و فیلتر کالمن، تخمین یک سیگنال ثابت، مسئله تخمین بازگشتی، معادلات فیلتر کالمن، فیلتر کالمن حالت ثابت (Steady State Kalman Filter (SSKF))، SSKF تخمینگر نااریب (بدون بایاس)، کاربردهای فیلتر کالمن، ارائه کاربردها در زلزله شناسی

**فصل پنجم- تخمین غیرخطی**

فیلتر کالمن بسط یافته، نوفه گوسی و غیرگوسی و روش‌های آشکارسازی سیگنال‌های آغشته به نوفه.

عملی:پروژه درسی شامل برنامه نویسی MATLAB

روش ارزیابی:

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | ✓ |
| | | عملکردی: ✓ | |

فهرست منابع:


1. Levy, B., 2008, Principles of Signal Detection and Parameter Estimation, Springer.
2. Schonhoff, T., and A. Giardano, 2006, Detection and Estimation Theory and Its Applications, Prentice Hall.
3. Kailath, T., A. H. Sayed, and B. Hassibi, 2000, Linear Estimation, Prentice Hall.
4. Kay, S. M., 1998, Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory, Prentice Hall.
5. Kay, S. M., 1998, Fundamentals of Statistical Signal Processing: Detection Theory, Prentice Hall.


فهرست مطالعات:


1. Manolakis, D. G., V. K. Ingle, and S. M. Kogon, 2005, Statistical and Adaptive Signal Processing: Spectral Estimation, Signal modeling, Adaptive Filtering, and Array Processing. Boston: Artech House.
2. Srinath, M.D., P.K. Raiasekaran, and R. Viswanathan, 1996, Introduction to Statistical Signal Processing with Applications, Prentice-Hall.

**عنوان درس به فارسی: دیرینه‌زلزله‌شناسی پیشرفته**

**عنوان درس به انگلیسی: Advanced Paleoseismology**

**تعداد واحد: ۳**

**نوع درس: نظری**

**تعداد ساعت:۴۸**

**پیش‌نیاز: ندارد**

**همنیاز:-**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد○ ندارد○ سفر علمی ● کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار ●**

اهداف کلی درس: دانشجویان با گذراندن این درس با دیرینه زلزله‌شناسی در محیط‌های زمین‌ساختی مختلف و کاربرد دیرینه‌زلزله‌شناسی در برآورد خطر زمین‌لرزه آشنا می شوند.

**اهداف رفتاری:** دانشجویان با گذراندن این درس بایستی با اهمیت و کاربرد داده‌های دیرینه‌زمین‌لرزه‌ای در راستای اقدامات کاهش خطرپذیری زمین‌لرزه‌ای در نواحی مختلف زمین‌ساختی آشنا شوند.

**سرفصل درس :**

**نظری:**

**فصل اول- مقدمه:**

تعریف و هدف دیرینه‌زلزله‌شناسی، تاریخچه دیرینه‌زلزله‌شناسی، رابطه دیرینه‌زلزله‌شناسی با دیگر مطالعات نوزمین‌ساختی، طبقه‌بندی شواهد و تشخیص دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، تعیین سن و دوره بازگشت دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، تخمین بزرگی دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، کاربرد داده‌های دیرینه‌زلزله‌شناسی.

**فصل دوم- دیرینه‌زلزله‌شناسی در محیط‌های زمین‌ساختی کششی**

محیط‌های دگرشکلی کششی و ابعاد آنها، قطعه‌بندی گسل‌های نرمال، چرخه دگرشکلی زمین‌لرزه‌ای در محیط‌های کششی، شواهد زمین‌ریختی دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، تغییرات زمانی و مکانی جابجایی سطحی، ریختارهای ایجاد شده با گسلش منفرد و چند باره، شواهد چینه‌شناسی دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، رسوب‌گذاری و تشکیل خاک در زون گسلی، اندازه‌گیری جابجایی در برونزدهای گسلش نرمال، تمایز جابجایی ناشی از خزش و جابجایی ناگهانی، سن‌یابی دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، تفسیر تاریخچه دیرینه‌زلزله‌شناسی با دگرشکلی پس‌گرد (Retrodeformation).

**فصل سوم- دیرینه‌زلزله‌شناسی در محیط‌های زمین‌ساختی فشاری**

خطرات ناشی از گسلش سطحی معکوس، شواهد دیرینه‌زمین‌لرزه‌ای چین‌خوردگی همالرزه‌ای، شواهد چینه‌شناسی چین‌خوردگی سطحی فعال، ارزیابی خطرات زمین‌لرزه‌ای راندگی‌های کور، دیرینه‌زلزله‌شناسی زون‌های فرورانش، قطعه‌بندی زون‌های فرورانش، گسلش سطحی، ساختارهای صفحه‌های رورانده و مرز صفحه، زمین‌لرزه‌های فرورانشی اخیر به مثابه نمونه جدید دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، چرخه دگرشکلی زمین‌لرزه‌ای در زون‌های فرورانش، بازمانده های نهشته های همالرزه‌ای و ویژگی های آنها، شواهد فراخاست همالرزه‌ای.

**فصل چهارم- دیرینه‌زلزله‌شناسی در محیط‌های زمین‌ساختی امتدادلغز**

محیط‌های دگرشکلی امتدادلغز، سبک کلی دگرشکلی بر روی گسل‌های امتدادلغز، دگرشکلی زمین‌لرزه‌ای در گسل‌های امتدادلغز، شواهد زمین‌ریختی دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، استفاده از دورافت جانبی برای محاسبه آهنگ لغزش بلند مدت، تغییرات زمانی و مکانی

جابجایی سطحی، بازسازی جابجایی‌های زمین‌لرزه‌ای، شواهد چینه‌شناسی دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، روش‌های ترانشه‌زنی، تعیین سن دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، تفسیر تاریخچه دیرینه‌زلزله‌شناختی با دگرشکلی پس‌گرد.

**فصل پنجم- دیرینه‌زلزله‌شناسی محیط‌های آتشفشانی**

ساختارهای کششی- آتشفشانی، معیارهای شناسایی میدانی ریختارهای آتشفشانی- کششی (نتایج تجربی و مدلسازی عددی)، زمین‌ریخت‌شناسی آتشفشانی- زمین‌ساختی، روش‌های ژئوفیزیکی، تکنیک‌های دورسنجی ژئودتیکی.

**فصل ششم- کاربرد دیرینه‌زلزله‌شناسی در برآورد خطر زمین‌لرزه**

شرح مختصر روش‌های برآورد خطر زمینلرزه (روش قطعی، روش احتمالاتی)، روش های تخمین بزرگی دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها (روش های مبتنی بر شواهد اولیه، روش های مبتنی بر شواهد ثانویه)، آهنگ لغزش و رویداد مجدد دیرینه‌زمین‌لرزه‌ها، قطعه‌بندی گسل‌ها ( Fault segmentation)، مدل‌های رویداد مجدد زمین‌لرزه‌ها، استفاده از داده‌های دیرینه‌زلزله‌شناسی در تخمین خطر زلزله به روش‌های قطعی و احتمالاتی، مطالعات ساختگاهی برای گسیخت سطحی.

**فعالیت جانبی:**

بازدید از عملیات ترانشه زنی، نگاره برداری از دیواره‌ها (Logging)، نمونه برداری برای سن‌یابی، اندازه‌گیری دگرشکلی‌ها و تفسیر نتایج.

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | - |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1. Franck, A. et al. (eds.), 2011, Geological Criteria for Evaluating Seismicity Revisited: Forty Years of Paleoseismic Investigations and the Natural Record of Past Earthquakes, The Geological Society of America, Special Paper 479.

2. McCalpin, J. P.(ed.), 2009, Paleoseismology, Academic Press Inc.

3. Richerter, K., Michetti, A. M. And Silva, P. G., 2009, Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment, The Geological Society of London, Special Publ. No. 316.


**فهرست مطالعات:**

**عنوان درس به فارسی: کاربرد شبکه‌های عصبی در زلزله‌شناسی**

**عنوان درس به انگلیسی: The Application of Neural Networks in Seismology**

**تعداد واحد:۳**

**نوع درس: نظری**

**تعداد ساعت: ۴۸**

**پیش‌نیاز: ندارد**

**همنیاز:-**

**آموزش تکمیلی عملی: دارد ○ ندارد● سفر علمی ○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار○**

**اهداف کلی درس:** دانشجویان با گذراندن این درس با مفهوم شبکه‌های عصبی، سیستم‌های فازی عصبی و کاربرد آن‌ها در ساخت مدل‌های پیش‌بینی زلزله و تحلیل حساسیت آشنا می شوند.

**اهداف رفتاری:**

سرفصل درس :

**نظری:**

**فصل اول- مقدمه، آشنایی با شبکه‌های عصبی مصنوعی**

نورون با یک ورودی عددی، توابع انتقال، معماری شبکه‌های عصبی، شبکه‌های چندلایه، شبیه‌سازی با ورودی‌های هم‌زمان در یک شبکه ایستا و پویا، روش‌های آموزش شبکه، تست شبکه و استراتژی Leave-one-out.

**فصل دوم- شبکه‌های پرسپترون و شبکه‌های پس انتشار خطا**

معماری شبکه‌های Feed forward، آموزش شبکه در الگوریتم پس‌انتشار، پیش‌پردازش و استخراج ویژگی‌ها (Feature Extraction)، شبکه‌های RBF، شبکه‌های خودسازمانده و یادگیری رقابتی، قاعده یادگیری کوهونن (SOFM)، شبکه‌های عصبی هاپفیلد، معماری شبکه و طراحی شبکه عصبی.

**فصل سوم- کاربرد شبکه عصبی در زلزله‌شناسی**

استخراج ویژگی‌ها، تشخیص زمین‌لرزه از انفجار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، تشخیص الگو در زلزله‌شناسی، طبقه بندی (Discrimination ,classification) با استفاده از شبکه عصبی MLP و PNN.

**فصل چهارم- خوشه‌یابی در زلزله‌شناسی**

پیش‌یابی مکان پس‌لرزه‌ها با استفاده از شبکه عصبی کوهونن SOFM، کاربرد شبکه‌های عصبی در پردازش سیگنال‌های زلزله، کاربرد شبکه عصبی در تشخیص دامنه در سیگنال‌های لرزه‌ای، حذف نویز با استفاده از فیلترهای غیرخطی انطباقی.

**فصل پنجم- سیستم‌های فازی عصبی**

منطق فازی و تئوری مجموعه‌های فازی، مدل‌سازی فازی، سیستم استنتاج فازی (FIS)، ترکیب منطق فازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تولید خودکار قواعد و بهینه‌سازی پارامترها، تشریح روش شبیه‌سازی بزرگی- مکان با شبکه‌های عصبی مصنوعی، تکنیک‌های بهینه‌سازی و رگرسیون غیرخطی با شبکه‌های عصبی مصنوعی.

**فصل ششم- ساخت مدل پیش‌یابی زلزله با شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل حساسیت**

متغیرهای ورودی خروجی، پالایش و تقسیم‌بندی داده‌ها، تعیین ساختمان شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده، نوع و درجه ارتباط نرون‌ها، هندسه شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد استفاده، آموزش شبکه عصبی، توابع انتقال، معیار نمودن و انتخاب دسته داده‌های آموزش- آزمایش- اعتبار سنجی، آزمایش شبکه عصبی، اعتبار سنجی و تحلیل حساسیت مدل.

**روش ارزیابی:**

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| - | - | آزمون های نوشتاری: ✓ | - |
| | | عملکردی: ✓ | |

**فهرست منابع:**


1- Bishop, C. M., 1995, Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press. ISBN 0-19-853849-9 (hardback) or ISBN 0-19-853864-2 (paperback).

2- Kohonen, T., and Honkela, T., 2007, "Kohonen Network". Scholarpedia.

3- Poulton, M. M., (ed.), 2001, Computational Neural Networks For Geophysical Data Processing, Handbook of Geophysical Exploration (Volume 30), PERGAMON.


**فهرست مطالعات:**

عنوان درس به فارسی: مباحث ویژه (مطالعات اختصاصی)

عنوان درس به انگلیسی: Special Topics

تعداد واحد: ۳

نوع درس: نظری

تعداد ساعت:۴۸

پیش‌نیاز: ندارد

همنیاز:-

آموزش تکمیلی عملی: دارد ○ ندارد● سفر علمی○ کارگاه ○ آزمایشگاه ○ سمینار●

اهداف کلی درس: با توجه به موضوع رساله دکتری، در صورتی که دروس موجود در برنامه‌های درسی دکتری مباحث مورد نیاز انجام رساله را پوشش نداده باشند، دانشجو می‌تواند با هماهنگی و تایید استاد راهنما، متقاضی درس مباحث ویژه (مطالعات اختصاصی) شود. در این صورت، لازم است سرفصل درس با عنوان و محتوای مورد نیاز توسط استاد درس تهیه و پس از تایید گروه آموزشی، مطابق مقررات آموزشی، اجرایی شود.

روش ارزیابی:

| ارزشیابی مستمر | میان ترم | آزمون‌های نهایی | پروژه |
|---|---|---|---|
| | | آزمون‌های نوشتاری: ✓ | |
| | | عملکردی: ✓ | |