دانشگاه تهران

مشخصات کلی، برنامه درسی و سرفصل دروس

دوره: دکتری

رشته: ژئوفیزیک با ۵ گرایش

۱- زلزله شناسی

۲- ژئوالکتریک

۳- ژئومغناطیس

۴- گرانی سنجی

۵- لرزه شناسی

موسسه ژئوفیزیک

مصوب جلسه مورخ ۸۸/۲/۹ شورای برنامه ریزی آموزشی دانشگاه

این برنامه بر اساس آیین نامه وزارتی تفویض اختیارات برنامه ریزی درسی به دانشگاههای دارای هیات ممیزه توسط اعضای هیات علمی گروه فیزیک زمین موسسه ژئوفیزیک بازنگری شده و در یکصد و نود و چهارمین جلسه شورای برنامه ریزی آموزشی دانشگاه مورخ ۸۸/۲/۹ به تصویب رسیده است.

مصوبه شورای برنامه ریزی آموزشی دانشگاه تهران در خصوص برنامه درسی

رشته: ژئوفیزیک با ۵ گرایش

مقطع : دکتری

برنامه درسی دوره دکتری ژئوفیزیک با ۵ گرایش که توسط اعضای هیات علمی گروه فیزیک زمین موسسه ژئوفیزیک بازنگری شده است با اکثریت آراء به تصویب رسید.

- این برنامه از تاریخ تصویب لازم الاجرا است.
- هر نوع تغییر در برنامه مجاز نیست مگر آنکه به تصویب شورای برنامه ریزی آموزشی دانشگاه برسد.

سید مهدی قمصری
معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه

عبدالرضا سیف
دبیرشورای برنامه ریزی آموزشی دانشگاه

رای صادره جلسه مورخ ۸۸/۲/۹ شورای برنامه ریزی آموزشی دانشگاه در مورد بازنگری برنامه درسی رشته ژئوفیزیک با ۵ گرایش در مقطع دکتری صحیح است، به واحد ذیربط ابلاغ شود.

فرهاد رهبر
ریاست دانشگاه تهران

دانشگاه تهران

مشخصات کلی برنامه و سرفصل دروس

دوره دکتری ژئوفیزیک

با ۵ گرایش

زلزله‌شناسی-ژئوالکتریک-ژئومغناطیس-گرانی‌سنجی

لرزه‌شناسی

خرداد ماه ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

مشخصات کلی دوره دکتری رشتهٔ ژئوفیزیک
مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۱- تعریف و اهداف

دوره دکتری ژئوفیزیک برنامه‌ای آموزشی- پژوهشی است که برای ارتقاء علمی دانشجویان تهیه شده است تا آنها با احاطه یافتن به زمینه‌های مدون ژئوفیزیک و آشنایی با آخرین پیشرفت‌ها بتوانند به کمک روش‌های نوین پژوهش با نوآوری خود نیازهای کشور را تأمین نمایند و در توسعه و گسترش مرزهای دانش ژئوفیزیک مؤثر باشند.

اهداف عمده این برنامه شامل موارد زیر است:

- افزایش آگاهی درباره خواص فیزیکی زمین
- تحقیق در مبانی نظری و تجربی زمینه‌های مختلف ژئوفیزیک
- تعلیم و تربیت نیروهای متخصص برای تأمین نیاز مراکز آموزشی، پژوهشی و خدماتی
- هدایت دانشجویان برای اجرای پروژه‌های تحقیقاتی کشور

۲- نقش و توانایی فارغ التحصیلان

دانشجویانی که طی این برنامه فارغ التحصیل می شوند به جدیدترین نظریه های ژئوفیزیکی و روش های نوین پژوهش این رشته آگاهی دارند. این دانشجویان با توجه به گرایش مورد انتخاب خود می توانند به کمک روش‌های نوین پژوهش همراه با نوآوری نیازهای کشور را تأمین نمایند و در توسعه و گسترش مرزهای دانش ژئوفیزیک نقش مؤثری داشته باشند.

۳- ضرورت و اهمیت

افزایش آگاهی جامعه درباره خواص فیزیکی زمین، تحقیق در مبانی نظری و تجربی زمینه‌های مختلف ژئوفیزیک، تعلیم و تربیت نیروهای متخصص برای تأمین نیاز مراکز آموزشی، پژوهشی و خدماتی اهمیت فراوان دارد. همچنین هدایت دانشجویان برای اجرای پروژه‌های تحقیقاتی و صنعتی کشور ضروری است.

۴- طول دوره و شکل نظام آموزشی

با توجه به آئین نامه دوره دکتری دانشگاه تهران، دورهٔ دکتری ژئوفیزیک شامل دو مرحله آموزشی و پژوهشی است که جمع واحدهای این دو مرحله ۴۲ واحد است. حداکثر و حداقل مدت مجاز تحصیل مطابق آئین نامه مذکور می‌باشد. این دوره با توجه به امکانات موجود در یک یا چند گرایش از گرایش‌های ژئوفیزیک شامل زلزله‌شناسی، ژئوالکتریک، ژئومغناطیس، گرانی‌سنجی و لرزه‌شناسی دایر می‌گردد.

مرحله آموزشی از زمان پذیرفته شدن دانشجو در امتحان ورودی آغاز و با موفقیت در امتحان جامع و یا دفاع از طرح پژوهشی رساله خاتمه می‌یابد. مرحله پژوهشی به طور رسمی پس از تصویب طرح پژوهشی رساله آغاز می‌شود.

۵- تعداد و نوع واحد ها

مرحله آموزشی شامل گذراندن ۱۸ واحد درسی است. انتخاب کلیه دروس به پیشنهاد استاد راهنمای دانشجو و با تصویب شورای تحصیلات تکمیلی گروه می‌باشد. دانشجو می‌تواند با توافق استاد راهنما تحقیقات اولیه مرحله پژوهشی خود را حین مرحله پژوهشی خود آغاز نماید.

اگر دانشجویی تعدادی از واحدهای درسی لازم را در دوره کارشناسی ارشد نگذرانده باشد، موظف است به تشخیص استاد راهنما و تأئید شورای تحصیلات تکمیلی گروه کمبود واحدهای درسی خود را از جدول ۱ با توجه به گرایش تحت عنوان واحدهای جبرانی در مرحله آموزشی بگذراند. حداکثر تعداد واحدهای جبرانی ۸ واحد و حداقل نمره قبولی، بدون احتساب در میانگین کل نمرات دانشجو در هر درس، ۱۴ از ۲۰ می‌باشد. به ازای گذراندن ۸ واحد جبرانی یک نیمسال تحصیلی به مدت مجاز مرحله آموزشی افزوده می‌شود. تعداد واحدهای رساله ۲۴ واحد است. این مرحله با تدوین و دفاع از رساله پایان می‌پذیرد.

۵-۱- دروس جبرانی برای کلیه گرایشها حداکثر ۸ واحد مندرج در جدول ۱ است.

۵-۲- دروس اصلی برای کلیه گرایشها ۶ واحد مندرج در جدول ۲ است.

۵-۳- دروس تخصصی در هر گرایش ۶ تا ۹ واحد مطابق موارد زیر است:

۵-۳-۱ گرایش زلزله شناسی: ۶ تا ۹ واحد به شرح جدول ۳-۱

۵-۳-۲ گرایش ژئوالکتریک: ۶ تا ۹ واحد به شرح جدول ۳-۲

۵-۳-۳ گرایش ژئو مغناطیس: ۶ تا ۹ واحد به شرح جدول ۳-۳

۵-۳-۴ گرایش گرانی سنجی: ۶ تا ۹ واحد به شرح جدول ۳-۴

۵-۳-۵ گرایش لرزه شناسی: ۶ تا ۹ واحد به شرح جدول ۳-۵

۵-۴- دروس اختیاری در هر گرایش ۳ تا ۶ واحد است. این دروس میتوانند از فهرست دروس اختیاری (جدول ۴) یا از دروس تخصصی هر یک از گرایشهای این برنامه انتخاب شود.

۶- نحوه پذیرش دانشجو

شرایط عمومی ورود دانشجویان مطابق ضوابط و مقررات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری می باشد.

تبصره- ۱: دارندگان مدرک معادل کارشناسی ارشد نمی‌توانند در این دوره شرکت کنند.

۷- مواد و ضرائب امتحانی رشته ژئوفیزیک

مواد امتحانی برای رشته ژئوفیزیک علاوه بر دروس فیلترهای دیجیتال و زبان تخصصی، از موضوعات درسی بشرح ذیل می باشد:

زلزله شناسی، ژئوالکتریک، ژئومغناطیس، گرانی سنجی و لرزه شناسی

توجه: دانشجویان شرکت کننده یکی از پنج موضوع درسی بالا را به دلخواه به عنوان تخصص انتخاب کرده و امتحان می دهند و علاوه بر آن در یک موضوع درسی دیگر از پنج موضوع بالا به دلخواه امتحان می دهند. ضرایب مواد امتحانی برای موضوع درسی انتخاب شده به عنوان تخصص ۳ و برای موضوع درسی دیگر انتخابی از سایر تخصص ها ۱ است. همچنین ضرایب مواد امتحانی برای درس فیلترهای دیجیتال ۱ و برای زبان تخصصی ۰/۵ می باشد.

جدول دروس جبرانی

جدول شماره: ۱
جدول دروس جبرانی رشته ژئوفیزیک گرایش های مختلف در مقطع دکتری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیشنیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	آمار و احتمال	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	ـــ
۲	آمار و احتمال پیشرفته	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	آمار و احتمال
۳	اکتشاف به روش گرانی	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	گرانی سنجی
۴	اکتشاف به روش EM	۲	ـــ	۲	۳۲	ـــ	۳۲	ژئوالکتریک
۵	اکتشاف به روش IP	۱	۱	۲	۱۶	۳۲	۴۸	ـــ
۶	اکتشاف به روش مقاومت ویژه	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ژئوالکتریک
۷	اکتشاف به روش مغناطیسی	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ژئومغناطیس ۱
۸	الکترومغناطیس	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	ـــ
۹	الکترومغناطیس پیشرفته	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	الکترومغناطیس
۱۰	پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی	۲	ـــ	۲	۳۲	ـــ	۳۲	لرزه شناسی و فیلتر های دیجیتال
۱۱	تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی	۲	ـــ	۲	۳۲	ـــ	۳۲	لرزه شناسی
۱۲	تئوری انتشار امواج کشسان	۲	ـــ	۲	۳۲	ـــ	۳۲	معادلات دیفرانسیل و ریاضیات در ژئوفیزیک
۱۳	چاه‌پیمایی	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ـــ
۱۴	روشهای لرزه‌ای در مهندسی	۲	ـــ	۲	۳۲	ـــ	۳۲	لرزه شناسی
۱۵	ریاضیات در ژئوفیزیک	۲	ـــ	۲	۳۲	ـــ	۳۲	ـــ
۱۶	زلزله‌شناسی ۱	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ـــ
۱۷	زلزله‌شناسی ۲	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	زلزله شناسی ۱
۱۸	زلزله‌شناسی مهندسی	۱	۱	۲	۱۶	۳۲	۴۸	زلزله شناسی ۱
۱۹	ژئوالکتریک	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ـــ
۲۰	ژئودزی فیزیکی	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	گرانی سنجی
۲۱	ژئومغناطیس ۱	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ـــ
۲۲	ژئومغناطیس ۲	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	ژئومغناطیس ۱
۲۳	عملیات لرزه‌ای بازتابی	۲	ـــ	۲	۳۲	ـــ	۳۲	لرزه شناسی
۲۴	فیلترهای دیجیتال	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	ـــ
۲۵	کشند زمین	۳	ـــ	۳	۴۸	ـــ	۴۸	گرانی سنجی
۲۶	گرانی سنجی	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ـــ
۲۷	لرزه زمینساخت	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	زلزله شناسی ۱
۲۸	لرزه‌شناسی	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ـــ
۲۹	معادلات دیفرانسیل	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ـــ
۳۰	مغناطیس سنگها و دیرینه مغناطیس	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	ژئومغناطیس ۱
جمع کل		۶۷	۱۴	۸۱	۱۰۷۲	۴۴۸	۱۵۲۰	ـــ

دانشجو با نظر گروه باید ۸ واحد از مجموعه دروس جبرانی ارائه شده در جدول بالا را انتخاب کند

جداول دروس اصلی،
تخصصی و انتخابی گرایش

جدول شماره: ۲

جدول دروس اصلی رشته ژئوفیزیک گرایش های مختلف در مقطع دکتری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیشنیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	روش های وارون در ژئوفیزیک	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۲	تحلیل سری های زمانی پیشرفته	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
جمع کل		۶	—	۶	۹۶	—	۹۶	—

جدول شماره: ۳-۱
جدول دروس تخصصی رشته ژئوفیزیک گرایش زلزله شناسی در مقطع دکتری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیشنیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	تئوری چشمه زلزله	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۲	زلزله‌شناسی پیشرفته	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۳	لرزه زمین‌ساخت پیشرفته	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۴	مکانیک زلزله و گسلش	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۵	روش های مطالعه ساختار زمین	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
جمع کل		۱۳	۲	۱۵	۲۰۸	۶۴	۲۷۲	—

دانشجو با نظر گروه باید ۶ تا ۹ واحد از مجموعه دروس تخصصی ارائه شده در جدول بالا را انتخاب کند

جدول شماره: ۳-۲

جدول دروس تخصصی رشته ژئوفیزیک گرایش ژئوالکتریک در مقطع دکتری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیشنیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	توموگرافی الکتریکی	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۲	روش های مدلسازی پیشرفته در ژئوالکتریک	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۳	روش سطحی تشدید مغناطیسی هسته**(PMR)**	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۴	روش فرکانس خیلی پایین	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
جمع کل		۸	۴	۱۲	۱۲۸	۱۲۸	۲۵۶	—

دانشجو با نظر گروه باید ۶ تا ۹ واحد از مجموعه دروس تخصصی ارائه شده در جدول بالا را انتخاب کند

جدول شماره: ۳-۳

جدول دروس تخصصی رشته ژئوفیزیک گرایش ژئومغناطیس در مقطع دکتری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیشنیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	دیرینه مغناطیس پیشرفته	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۲	روش های اکتشافی پیشرفته در ژئومغناطیس	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۳	ژئومغناطیس پیشرفته	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۴	روش مگنتوتلوریک	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
جمع کل		۹	۳	۱۲	۱۴۴	۹۶	۲۴۰	—

دانشجو با نظر گروه باید ۶ تا ۹ واحد از مجموعه دروس تخصصی ارائه شده در جدول بالا را انتخاب کند

جدول شماره: ۳-۴
جدول دروس تخصصی رشته ژئوفیزیک گرایش گرانی سنجی در مقطع دکتری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیشنیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	اکتشافات گرانی سنجی پیشرفته	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۲	تئوری ژئودتیک	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۳	ژئودینامیک پیشرفته	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۴	سنجش از دور و ژئوفیزیک	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
جمع کل		۱۱	۱	۱۲	۱۷۶	۳۲	۲۰۸	—

دانشجو با نظر گروه باید ۶ تا ۹ واحد از مجموعه دروس تخصصی ارائه شده در جدول بالا را انتخاب کند

جدول شماره: ۳-۵

جدول دروس تخصصی رشته ژئوفیزیک گرایش لرزه شناسی در مقطع دکتری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیشنیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	انتشار موج در محیط های متخلخل	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۲	پردازش پیشرفته داده های لرزه ای بازتابی	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۳	توموگرافی لرزه ای	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۴	روش های پرتو لرزه ای	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۵	نشانگرهای لرزه ای	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
جمع کل		۱۵	—	۱۵	۲۴۰	—	۲۴۰	—

دانشجو با نظر گروه باید ۶ تا ۹ واحد از مجموعه دروس تخصصی ارائه شده در جدول بالا را انتخاب کند

جدول شماره: ۴

جدول دروس اختیاری رشته ژئوفیزیک برای کلیه گرایش ها در مقطع دکتری

ردیف	نام درس	تعداد واحد			تعداد ساعات			پیشنیاز
		نظری	عملی	جمع	نظری	عملی	جمع	
۱	پروفیل لرزه ای قائم	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۲	تعیین ویژگی های لرزه ای مخزن	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۳	چاه‌پیمایی پیشرفته	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۴	خواص فیزیکی و مکانیکی سنگها	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۵	دیرینه زلزله‌شناسی پیشرفته	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۶	زلزله‌شناسی جنبش شدید زمین	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۷	زلزله‌شناسی مهندسی و تحلیل خطرپذیری	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۸	سیستم جهانی موضع یابی	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۹	کاربرد ژئوکرونولوژی کواترنری در ژئوفیزیک	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۱۰	لرزه‌نگارها و شبکه‌های لرزه‌نگاری	۲	۱	۳	۳۲	۳۲	۶۴	—
۱۱	مباحث ویژه	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
۱۲	مدلسازی در زلزله شناسی	۳	—	۳	۴۸	—	۴۸	—
جمع کل		۳۱	۵	۳۶	۴۹۶	۱۶۰	۶۵۶	—

توجه: دانشجو با نظر گروه ۰ تا ۶ واحد از مجموعه دروس اختیاری ارائه شده در جدول بالا را انتخاب می کند

سرفصل دروس اصلی

بسمه تعالی

نام درس: **روش‌های وارون در ژئوفیزیک**
(Inverse methods in geophysics)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با نحوه استفاده و کاربرد الگوریتم های مختلف وارونسازی داده های ژئوفیزیکی آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه

مساله وارون در حالت گسسته

فصل ۲- مساله کلی وارون در حالت گسسته

فضای مدل و فضای داده، حالت های اطلاعات، اطلاعات به دست آمده از نظریه های فیزیکی (حل مستقیم مساله)، تعریف حل مساله وارون، استفاده از حل مساله وارون، حالت های خاص.

فصل ۳- روش‌های سعی و خطا

روش مونت کارلو، جستجو برای محدوده مدل های قابل قبول، محاسبه غیر خطی واریانس ها، شبیه سازی بادوام، الگوریتم روش ژنتیک.

فصل ۴- معیار روش کمترین مربعات «L_2-norm)

روش های تحلیل در کمترین مربعات، تجزیه و تحلیل قدرت تفکیک و خطا، ریاضیات کمترین مربعات حالت گسسته، روش های قدرت تفکیک، فرمول های ویژه برای مسایل خطی، الگو های ویژه برای مسایل قابل خطی شدن، روش حل مسایل غیر خطی (شامل روش گرادیان، نیوتون و ...).

فصل ۵- مقادیر معیار کمترین مربعات (L_1-norm) و معیار کمترین (L_∞-norm)

قاعده L_p (L_p-norm)، معیار (L_1-norm) برای قدرت تفکیک، معیار L_1-norm و روش فرود سریع،
معیار L_1 -norm و روش های برنامه ریزی خطی، روش وارون با استفاده از چگالی احتمالی کوشی،
معیار L_∞-norm برای قدرت تفکیک در مسایل وارون، قاعده I_∞-norm و روش فرود سریع،
معیار L_∞-norm و روش های برنامه ریزی خطی.

فصل ۶- معیار کمترین مربعات در فضاهای وابسته

عملگرهای کوواریانس و فضاهای عملی، عملگرهای مشتق و عملگرهای ترانهاده در فضاهای وابسته، روش ها و قدرت تفکیک، مثال (مساله وارون و توموگرافی)، مثال (وارون موجک های صوتی، و تحلیل تفکیک پذیری و خطا، حل تفصیلی).

منابع درسی:

1. **Aster, R.C., Borchers, B., and Thurber, C.H., 2005, Parameter estimation and inverse problems, Elsevier.**
2. **Blakely, R. J., 1996, Potential theory in gravity & magnetic applications: Cambridge University Press.**
3. **Menke, W., 1984, Geophysical data analysis – discrete inverse theory: Academic Press.**
4. **Parker, R. L., 1994, Geophysical inverse theory, Princeton University Press.**
5. **Tarantola, A., 2002, Inverse problem theory, methods for data fitting and model parameter estimation, Elsevier.**

بسمه تعالی

نام درس: **تحلیل سری‌های زمانی پیشرفته**
(Advanced time series analysis)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با نحوه استفاده و کاربرد الگوریتم های مختلف تحلیل سری‌های زمانی داده های ژئوفیزیکی آشنا می شوند.

فصل ۱- سری‌های زمانی

برآورد تابع‌های انتقال، طراحی سیستم‌های کنترل گسسته، مدل‌های تصادفی ایستا و ناایستا برای پیش‌بینی و کنترل، مدل‌های تابع انتقال، ایده‌های اساسی در مدل‌سازی، امساک.

فصل ۲- تابع خود همبستگی و طیف

خواص خود همبستگی مدل‌های ایستا، سری‌های زمانی و فرایندهای تصادفی، فرایندهای تصادفی ایستا، تابع‌های اتوکواریانس و خود همبستگی، خواص طیفی مدل‌های ایستا، آنالیز واریانس، طیف و تابع چگالی طیفی.

فصل ۳- مدل‌های ایستای خطی

فرایند خطی کلی، شرایط ایستایی و عکس‌پذیری فرایند خطی، فرایندهای اتورگرسیو و میانگین متحرک، فرایند اتورگرسیو، شرایط ایستایی برای فرایندهای اتورگرسیو، تابع خود همبستگی و طیف فرایندهای اتورگرسیو، فرایند اتورگرسیو مرتبه اول (فرایند مارکوف)، فرایند اتورگرسیو مرتبه دوم، تابع خود همبستگی جزیی، برآورد تابع خود همبستگی جزیی، فرایندهای میانگین متحرک، شرایط عکس‌پذیری، فرایندهای میانگین متحرک، تابع خود همبستگی و طیف فرایند میانگین متحرک، فرایند میانگین متحرک مرتبه اول، میانگین متحرک مرتبه دوم، فرایندهای مخلوط اتورگرسیو و میانگین متحرک، خواص ایستایی و عکس‌پذیری، تابع همبستگی و طیف فرایند مخلوط، فرایند اتورگرسیو مرتبه اول و میانگین متحرک مرتبه اول.

فصل ۴- پیش‌بینی

پیش‌بینی‌های با کمینهٔ میانگین توان دوم خطا و خواص آنها، سه صورت اساسی برای پیش‌بینی، محاسبه و به هنگام کردن پیش‌بینی‌ها، محاسبه وزن‌های ψ، محاسبه حدود احتمالی پیش‌بینی‌ها برای هر زمان انتظار، تابع پیش‌بینی و وزن‌های پیش‌بینی.

فصل ۵- شناسایی مدل

هدف‌های شناسایی، تکنیک‌های شناسایی، استفاده از تابع‌های خود همبستگی و خود همبستگی جزیی در شناسایی، برآوردهای اولیه پارامترها، برآورد اولیه برای فرایندهای میانگین متحرک، برآوردهای اولیه برای فرایندهای اتورگرسیو، برآوردهای اولیه برای فرایندهای مخلوط اتورگرسیو، میانگین متحرک، برآورد اولیه واریانس باقیمانده‌ها.

فصل ۶- برآورد مدل

تابع درستنمایی، انتخاب مقادیر آغازی برای محاسبه شرطی، برخی نتایج برآوردی برای مدل‌های خاص، فرایندهای اتورگرسیو، فرایندهای میانگین متحرک، فرایندهای مخلوط.

فصل ۷- بازرسی تشخیصی مدل

فلسفه کلی، بازرسی تشخیصی اعمال شده در باقیمانده، بازرسی خود همبستگی‌ها، آزمون یکجای نقص برازش، استفاده از باقیمانده‌ها برای اصلاح مدل، ماهیت خود همبستگی‌های موجود در باقیمانده‌ها وقتی مدل نادرستی به کار برده می‌شود.

فصل ۸- کاربرد سری‌های زمانی در ژئوفیزیک

ایستا کردن سری‌های زمانی حاصل از پدیده‌های ژئوفیزیکی، ایستا کردن با فاصله زمانی کوچک، ایستا کردن به طریق بهنجارسازی توسط توابع واریانس، ایستا کردن محتوی فرکانسی، برازش و انجام آزمایش‌های مختلف.

منابع درسی:

1. **Box, G. E. P., and Jenkins, G., 1976, Time series analysis-Forecasting and control, Holden-Day.**
2. **Brockwell, P. J., and Davis, R. A., 1990, Time series-Theory and methods, Springer.**
3. **Findley, D. F., 1981, Applied time series analysis-II, Academic Press.**
4. **Granger, C., and Anderson, A. P., 1978, An introduction to bilinear time series models, Vandenhoek and Ruprecht.**
5. **Jaacek, G., and Swift, L., 1993, Time series-Forecasting simulation and application, Ellis Horwood Limited.**

سرفصل دروس
گرایش زلزله‌شناسی

بسمه تعالی

نام درس: **تئوری چشمه زلزله**
(Earthquake source theory)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با تانسور گشتاور لرزه‌ای، چشمه لرزه‌ای و ساز و کار کانونی زمین لرزه، روشهای تعیین ساز و کار چشمه زمینلرزه، و مدلهای شکست آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه

بزرگی و ممان لرزه‌ای، طیف چشمه و قانون Scaling، افت استرس و انرژی زلزله، جهت و سرعت شکستگی، تعیین ابعاد گسلش، معادله حرکت، شکست و در رفتگی، معرفی هندسه سطح شکست.

فصل ۲- تانسور گشتاور لرزه‌ای

تعریف تانسور گشتاور لرزه‌ای، تانسور گشتاور لرزه‌ای برای لغزش روی یک گسل، معرفی نیروهای دو قطبی و کوپلی و تانسور ممان آنها، معادل بودن گشتاور دو جفت نیرو با دو کوپل فشارشی و کششی، انواع چشمه و تفکیک تانسور گشتاور، برگردان تانسور گشتاور، تانسورهای گشتاور.

فصل ۳- چشمه لرزه‌ای و ساز و کار کانونی زمین لرزه

تابع گرین الاستودینامیک، محاسبه مقدار جابجائی در نقطه مشاهده، تابع گرین برای یک محیط نامحدود، محاسبه جابجائی ناشی از چشمه ضربه و چشمه اختیاری، جواب تابع گرین الاستو دینامیک در محیط همگن و ایزوتوپ و نامحدود، تفکیک میدان جابجائی به عبارتهای میدان نزدیک و دور و خصوصیات آنها، الگوی تشعشع امواج P و S از یک چشمه نقطه‌ای، سیستم نیروهای معادل چشمه نقطه‌ای، محاسبه میدان جابجائی ناشی از سیستم یک جفت نیرو و دو جفت نیرو، محاسبه میدان جابجائی ناشی از یک درفتگی برشی در سیستم مختصات کروی، الگوی تشعشع امواج P و SV و SH برای یک جفت نیرو و دو جفت نیرو با استفاده از ممان لرزه‌ای آنها، توابع زمانی چشمه، معادل بودن سیستم دو جفت نیرو با دو کوپل فشارشی و کششی.

فصل ۴- روشهای تعیین ساز و کار چشمه زمینلرزه

حل مکانیسم زمین لرزه با استفاده از پولاریته اولین جنبش موج P، استفاده از پولاریته موج S، حل مکانیسم زمین لرزه با استفاده از مدل‌سازی امواج درونی، الگوی تشعشع امواج سطحی، حل مکانیسم زمین لرزه با استفاده از امواج سطحی، مزایا و معایب روشهای مذکور.

فصل ۵- مدلهای شکست

ابعاد چشمه، مدلهای سینماتیک، مدل هاسکل، جهت یافتگی و کاربرد آن ، مدل برون، شکل‌گیری و انتشار شکست و توقف آن، مدلهای دینامیکی شکست.

منابع درسی:

1. **Aki, K., and Richards, P. G., 2002, Quantitative seismology, 2nd ed., University Science Books.**
2. **Kasahara, K., 1981, Earthquake mechanics, Cambridge University Press.**
3. **Kennett, B. L. N., 2001, The seismic wavefield, Volume I: introduction and theoretical development, Cambridge University Press.**
4. **Kostrov, B. V., and Das, S., 1988, Principal of earthquake source mechanics, Cambridge University Press.**
5. **Lay, T., and Wallace, T. C., 1995, Modern global seismology, Academic Press.**
6. **Marone, C. J., and Blanpied, M. L., 1994, Faulting, friction and earthquake mechanics, Parts I and II, Birkhauser Verlag AG.**
7. **Pujol, J., 2003, Elastic wave propagation and generation in seismology, Cambridge University Press.**
8. **Scholz, C. H., 1990, The mechanics of earthquakes and faulting, Cambridge University Press.**
9. **Stein, S., and Wysession, M., 2003, An introduction to earthquakes and earth Structure, Blackwell Publishing Ltd.**
10. **Udias, A., 1999, Principal of seismology, Cambridge University Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **زلزله‌شناسی پیشرفته**
(Advanced earthquake seismology)

تعداد واحد:۳
نوع واحد: (۲واحد نظری – ۱ واحد عملی)
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با روشهای محاسبه پارامترهای زمین لرزه، ناهمسانگردی امواج لرزه‌ای، امواج سطحی و نوسانات آزاد زمین، مدلهای وقوع پیشلرزه، زمین‌لرزه اصلی و پسلرزه و سونامی آشنا می شوند.

فصل ۱: 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، توموگرافی با استفاده از زمان رسید امواج لرزه‌ای.

فصل ۲- روشهای محاسبه پارامترهای زمین لرزه

روشهای خطی و غیرخطی تعیین موقعیت زمان و مکان زمین‌لرزه از جمله روش گایگر، روشهای پیشرفته تعیین محل مجدد مکان زمین‌لرزه، روشهیای بهینه‌سازی عمق زمین‌لرزه، عوامق مؤثر بر دامنه امواج لرزه‌ای، مقیاسهای مختلف بزرگی، روشهای محاسبه انرژی و شدت و افت استرس.

فصل ۳- 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 لیتوسفر و استنوسفر، ناهمسانگردی در گوشته و هسته، تحلیل راستای ناهمسانگردی و نیروهای تکتونیکی غالب در مناطق لرزه‌خیز.

فصل ۴- امواج سطحی و نوسانات آزاد زمین

منشاء و خصوصیات امواج سطحی، پاشش امواج سطحی، استفاده از مطالعات پاشش امواج سطحی در زلزله‌شناسی، مدهای نرمال زمین، هارمونیکهای کروی، مدهای شعاعی و مماسی و کروی، مدها و انتشار امواج، جذب و جدایش و حفت‌شدگی مد.

فصل ۵- مدلهای وقوع پیشلرزه، زمین‌لرزه اصلی و پسلرزه

مکانیسم ممکن برای رخداد پسلرزه‌ها، توالی زمین لرزه‌ها روی یک گسل، مدلهی اسپریتی و باریر در خصوص پسلرزه‌ها، مدل رخداد پسلرزه‌ها بر اساس رشد آهسته ترک، توزیع فضایی پسلرزه‌ها و جابجایی در اثر زلزله اصلی، مهاجرت پسلرزه‌ها، روابط آماری و تجربی در مورد پسلرزه‌ها، آهنگ کاهش پسلرزه‌ها، ساز و کار پسلرزه‌ها.

فصل ۶- سونامی

عوامل ایجاد کننده سونامی، سرعت امواج سونامی و ارتباط آن با عمق آب، پاشش امواج سونامی، دامنه امواج سونامی و ارتباط آن با آزیموت شکست و عمق آب، ارتباط دامنه امواج سونامی با ساز و کار زمین‌لرزه، ممان لرزه‌ای و رابطه انرژی زمین لرزه با سونامی، سیستمهای هشدار دهنده سونامی.

واحد عملی

آشنایی با نرم‌افزارهای متداول تعیین مکان و پردازش پیشرفته، T-Time, Hypo71, Seisan, SAC.

منابع درسی:

1. **Aki, K., and Richards, P. G., 2002, Quantitative seismology, 2nd ed., University Science Books, Sauasalito.**
2. **James, D. E., ed., 1989, The encyclopedia of solid earth geophysics, Van Nostrand-Reinhold.**
3. **Kanamori, H., and Bowchi, E., 1982, Earthquakes, observation, theory and interpretation, North-Holland Publishing Co.**
4. **Kennett, B. L. N., 2002, The seismic wavefield, Volume II, Cambridge University Press.**
5. **Kennett, B. L. N., 2001, Interpretation of seismograms on regional and global scales, Volume 1, 2, Cambridge University Press.**
6. **Lay, T., and Wallace, T. C., 1995, Modern global seismology, Academic Press.**
7. **Scholz, C. H., 1990, The Mechanics of earthquakes and faulting, Cambridge University Press.**
8. **Stein, S., and Wysession, M., 2003, An introduction to earthquakes and earth structure, Blackwell Publishing Ltd.**
9. **Udias, A., 1999, Principal of seismology, Cambridge University Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **لرزه زمین‌ساخت پیشرفته**
(Advanced seismotectonics)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری و عملی (۲ واحد نظری و ۱ واحد عملی)
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با لرزه زمینساخت محیطهای تکتونیکی فشاری، لرزه زمینساخت محیطهای تکتونیکی کششی، لرزه زمینساخت محیطهای تکتونیکی امتداد لغز، و لرزه زمینساخت محیطهای درون قاره‌ای آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه: ساختمان درونی زمین، نظریه تکتونیک صفحه‌ای، نظریه انبساط زمین، محیطهای تکتونیکی، لغزش لرزه‌ای و بیلرزه، گسلهای جنبا، گسلهای با توان جنبش، قطعه‌بندی گسلها، گسلهای پنهان، ساختهای مرتبط با زمینلرزه‌های مخرب (coseismic structures)، چرخه دگرشکلی پوسته، شواهد زمینریختی زمینلرزه‌های گذشته، روشهای دیرینه زلزله‌شناسی، زمینلرزه‌های سرشتی (characteristic)، مهاجرت گسلش و زمینلرزه، روشهای اندازه گیری دگرشکلی پوسته (نقشه برداری زمینی، موقعیت یابی جهانی، تداخل سنجی رادار، ...).

فصل ۲- لرزه زمینساخت محیطهای تکتونیکی فشاری

مناطق فرورانش، دگر شکلی درونی قطعات فرورونده، لرزه‌خیزی مناطق فرورانش، لرزه‌خیزی کم عمق در مناطق فرورانش، سازوکار زمینلرزه‌های عمیق، لرزه‌خیزی دور از قطعه فرو رونده، مثالهایی از زمینلرزه‌ها در مناطق فرو رانش، مناطق برخورد قاره‌ای، لرزه‌خیزی مناطق برخورد قاره‌ای، سازوکار زمینلرزه‌ها در مناطق برخورد قاره‌ای، همگرایی مایل، پدیدهٔ افراز (partitioning)، مثالهایی از زمینلرزه‌ها در مناطق برخورد قاره‌ای.

فصل ۳- لرزه زمینساخت محیطهای تکتونیکی کششی

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

فصل ۴- لرزه زمینساخت محیطهای تکتونیکی امتداد لغز

گسلهای تبدیلی (transform) و تراگذر (transcurrent)، لرزه‌خیزی در سیستمهای تبدیلی و تراگذر، سازوکار زمینلرزه‌ها در محیطهای تکتونیکی امتداد لغز، مثالهایی از زمینلرزه‌ها در محیطهای امتداد لغز.

فصل ۵- لرزه زمینساخت محیطهای درون قاره‌ای

محیطهای درون قاره‌ای 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.

واحد عملی

برداشت صحرایی و مطالعه موردی شواهد گسلش و زمینریخهای مرتبط با زمینلرزه های ایران.

بازدید صحرایی و مشاهدات مرتبط با تکتونیک جنبا و لرزه زمینساخت در نواحی تکتونیکی مختلف ایران.

منابع درسی:

1. **Keary, P., and Vine, F. J., 1996, Global tectonics, Blackwell science (2nd ed).**
2. **Lay, T., and Wallace, T. C., 1995, Modern global seismology, Academic Press.**
3. **McCalpin, J. P., (ed), 1996, Paleoseismology, Academic Press.**
4. **Scholz, C. H., 1990, The mechanics of earthquakes and faulting, Cambridge University press.**
5. **Yeats, R. S., Sieh, K., and Allen, C. R., 1997, The geology of earthquakes, Oxford University Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **مکانیک زلزله و گسلش**
(Mechanics of earthquake and faulting)

تعداد واحد:۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: 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 زمین لرزه‌ها آشنا می شوند.

فصل ۱- 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 ۲- رفتار مکانیکی سنگها

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

فصل ۳- گسیختگی شکننده و اصطکاک سنگ (Brittle fracture and friction of rock)

مفاهیم تئوری، تئوری گریفیتز، (Griffith theory)، مکانیسمهای شکستگی، مطالعات تجربی مقاومت سنگ، انرژیهای شکستگی (fracture energies)، بررسی استرسها در رژیمهای مختلف، قوانین استرس مؤثر، تماس سطوح، اصطکاک داخلی، بررسیهای تجربی در مورد اصطکاک، اثرات میزان تغییر روی اصطکاک، انتقال پایداری اصطکاکی، بررسی مسائل دینامیکی.

فصل ۴- مکانیک و رئولوژی گسلها

چهارچوب مکانیکی، تئوری گسلش اندرسون، تئوری گسلش رواندهٔ هویرت – رابی، شکل‌گیری و رشد گسلها، گسله سنگها و ساختارها، گسله سنگها و مکانیسم‌های دگر شکلی، فابریک و سطوح، مدل زونهای برشی، آثار ترمومکانیکی گسلش، مقاومت زونهای گسلی پوسته، ریخت‌شناسی گسل و آثار مکانیکی ناهمگنی، توپوگرافی و ریخت‌شناسی گسل، آثار مکانیکی بی‌نظمی گسلها.

فصل ۵- مکانیک زمین لرزه‌ها

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 ۶- کاربرد روشهای عددی (مدلسازی)

روابط اساسی، روابط استرس – استرین برای حالتهای مختلف، پارامترهای چشمه، مدلهای کاربردی دو بعدی و سه بعدی، مدل حرکت زمین و توابع سرعت، چند مثال.

منابع درسی:

1. **Jaeger, J. C., and Cook, N. G. W., 1976, Fundamentals of rock mechanics: 2nd ed., Chapman and Hall.**
2. **Ranalli, G., 1987, Rheology of the earth, Allenand Unwin.**
3. **Scholz, C. H., 1990, The mechanics of earthquakes and faulting, Cambridge University Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **روش‌های مطالعه ساختار زمین**
(Interior earth structure study methods)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با زمان سیر فازهای مختلف و ساختار زمین، روش وارون در زلزله‌شناسی، روش تابع انتقال گیرنده، روش توموگرافی زمان سیر امواج پیکری، روش توموگرافی امواج سطحی و توموگرافی شکل موج آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه
اهمیت مطالعه ساختمان زمین و کاربرد آن در سایر شاخه‌های زلزله‌شناسی، مشاهدات و روشهای مطالعه ساختار زمین.

فصل ۲- زمان سیر فازهای مختلف و ساختار زمین
پوسته، گوشته فوقانی و لیتوسفر، گوشته پایینی، هسته.

فصل ۳- روش وارون در زلزله‌شناسی

فصل ۴- روش تابع انتقال گیرنده
- مروری بر تابع انتقال گیرنده، آماده‌سازی داده‌ها، تفکیک پاسخ گیرنده با همانندسازی چشمه بروش انگستون.
- ایجاد مدل‌های اولیه، محاسبه تابع انتقال گیرنده، مدل‌سازی شکل موج و محاسبه مدل، برگردان همزمان تابع انتقال گیرنده و منحنی پاشندگی امواج سطحی.

فصل ۵- روش توموگرافی زمان سیر امواج پیکری
تئوری، برگردان عمومی، ویژگی‌های حل برگردان عمومی شده، تغییرات حل، ایجاد مدل‌های مصنوعی تست نتایج، توموگرافی فازهای Pn و Sn .

فصل ۶- روش توموگرافی امواج سطحی
امواج لاو و ریلی، سرعت گروه و سرعت فاز، پاشندگی امواج سطحی، مدل‌سازی سرعت گروه و سرعت فاز، مدل‌سازی سه بعدی.

فصل ۷- توموگرافی شکل موج
تئوری، ایجاد مدل اولیه، محاسبه عناصر ماتریس، حل تکراری سیستم خطی، LSQR، لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی و تحلیل خطا.

منابع درسی:

1. **Dmowslca, R., 2003, Advances in geophysics, Elsevier, Copyrighted Material, Volume 46.**
2. **Fowler, C. M. R., 2002, The solid earth, an introduction to global geophysics, Royal Holloway, University of London.**
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.**

سرفصل دروس
گرایش ژئوالکتریک

بسمه تعالی

نام درس: **توموگرافی الکتریکی**
(Electerical tomography)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: ۲واحد نظری- ۱ واحد عملی
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با توموگرافی انتقال، توموگرافی الکتریکی دو بعدی و سه بعدی، توموگرافی الکترومغناطیسی، و مدل‌سازی وارون در حوزه فاز و فرکانس آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه

توموگرافی و انواع آن، تحولات جدید در توموگرافی کامپیوتری الکتریکی، توموگرافی رادیولوژیکی و قضیه برش (slice) مرکزی، تفاوت بین توموگرافی الکتریکی و رادیولوژیکی، وارونسازی مقاومت ویژه و هدایت ویژه الکتریکی اندازه گیری شده، وارونسازی همزمان.

فصل ۲- توموگرافی انتقال (Transmission tomography)

پس انتشار (Back projection)، توموگرافی چاه به چاه و پیکربندی ترکیبی (combined configuration)، پارامتری کردن فضای مدل(model space)، فرمول بندی احتمالاتی مسئله وارون، حل مسئله وارون با استفاده از روشهای مونت کارلو و گرادیان، توموگرافی به روشهای بازسازی (ART, SIRT, CGT)، مثال‌های رایانه ای.

فصل ۳- توموگرافی الکتریکی دو بعدی و سه بعدی

اندازه گیری های توموگرافی الکتریکی دوبعدی و سه بعدی، مدلسازی و تعبیر و تفسیر توموگرافی الکتریکی دو بعدی و سه بعدی، توموگرافی دو بعدی و سه بعدی مقاومت ویژه و هدایت ویژه الکتریکی، تصویرسازی چاه به چاه (crosshole imaging) الکتریکی دوبعدی و سه‌بعدی.

فصل ۴- توموگرافی الکترومغناطیسی

پی جوئی های الکترومغناطیسی چاه به سطح، توموگرافی برای مقاومت ویژه، شکل لایه و تضعیف برای داده های GPR، توموگرافی داده های الکتریکی حاصل از چشمه های مصنوعی برای کاربردهای معدنی و مهندسی.

فصل ۵- مدل‌سازی وارون در حوزه فاز و فرکانس

وارون‌سازی داده‌های حوزه فاز و فرکانس برای چشمه، چگونگی استفاده از پارامترها برای مدل‌سازی وارون در حوزه فرکانس، وارون‌سازی مدل‌های الکتریکی مرکب، مسائل غیر خطی. توموگرافی چاه به چاه برای حالت لایه‌ای و ناهمسانگرد، انتخاب فرکانس مؤثر برای وارون‌سازی داده‌های الکتریکی سطحی.

واحد عملی

به صلاحدید مدرس بازدید از عملیات اکتشافی و شرکت در پروژه‌های مرتبط با موضوع درس و تهیه گزارش عملی انجام می‌گردد.

منابع درسی:

1. **Hansen, P. C., 1998, Rank-deficient and discrete ill-posed problems: Numerical aspects of linear inversion, Society of Industrial and Applied Mathematics.**
2. **Jackson, M. J., 1996, 3DTOM, three-dimensional geophysical tomography, USBM Report of Investigation 9617.**
3. **Saad, Y., 1996, Iterative methods for sparse linear systems, Prindle, Webber &Schmidt.**
4. **Tikhonov, A. N., and Arsenin, V. Y., 1977, Solutions of ill-posed problems, W. H. Winston and Sons.**
5. **Zhdanov, M. S., 2002, Geophysical inverse theory and regularization problems, Elsevier.**

بسمه تعالی

نام درس: **روش‌های مدلسازی پیشرفته در ژئوالکتریک**
(Advanced modeling in resistivity)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: ۲ واحد نظری- ۱ واحد عملی
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با بهینه‌سازی در مدل پیشرو یک‌بعدی، مدل‌سازی دوبعدی با روش تفاضل‌های محدود، مدل‌سازی دوبعدی و مدل‌سازی سه‌بعدی آشنا می شوند.

مقدمه ۱- مدل‌سازی پیشرو مقاومت ویژه الکتریکی در محیط لایه‌ای، مدل‌سازی پیشرو با استفاده از تابع تبدیل مقاومت ویژه الکتریکی، مدل‌سازی پیشرو با استفاده از تابع مقاومت ویژه الکتریکی.

فصل ۲- بهینه‌سازی در مدل پیشرو یک‌بعدی

روش گوس، روش مارکوارت- لونبرگ، روش زهدی.

فصل ۳- مدل‌سازی دوبعدی با روش تفاضل‌های محدود

حل معادله لاپلاس، شرایط مرزی، روش تکرار ژاکوب، روش تکرار گوس- سیدال، روش SOR، حل معادله پواسن، اعتبار حل عددی، ماتریس قطری، الگوریتم توماس، روش ADI، شرایط مرزی، معادلات تفاضل‌های محدود، گسسته‌سازی با سطح، فرمول‌بندی ماتریسی، پاسخ مقاومت ویژه الکتریکی ساختارهای دوبعدی.

فصل ۴- مدل‌سازی دوبعدی با روش اجزاء محدود

روش گالرکین، اجزاء مثلثی، شبکه اجزاء محدود، ماتریس رسانایی (Conductance)، معادله پایه، معادله پایه المان، ماتریس رسانایی کلی (Global Conductance).

فصل ۵- مدل‌سازی سه‌بعدی

مسأله مقدار مرزی، فرمول‌بندی معادلات اجزاء محدود، مقیاس‌بندی ماتریس ضرایب پیش‌شرط SSOR، پیش‌شرط IG، مقایسه روش‌های اجزاء محدود با تفاضل‌های محدود.

واحد عملی

به صلاحدید مدرس بازدید از عملیات اکتشافی و شرکت در پروژه‌های مرتبط با موضوع درس و تهیه گزارش عملی انجام می‌گردد.

منابع درسی:

1. **Lapidus, L., and Pimder, G. F., 1982, Numerical solution of partial differential equations in science and engineering, John Wiley and Sons.**
2. **Parasnis, D. S., 1997, Principles of applied Geophysics, Chapman and Hall.**
3. **Thompson, J. F., Soni, B. K., and Weatherill, N. P., 1999, Handbook of Grid Generation, CRC Press.**
4. **Yungul, S. H., 1996, Electrical methods in geophysical exploration of deep sedimentary basins, Chpman and Hall.**
5. **Zhdanov, M. S., and Keller, G. V., 1994, The geoelectrical methods in geophysical exploration, Elsevier.**

بسمه تعالی

نام درس: **روش سطحی تشدید مغناطیسی هسته (PMR)**
(Proton Magnetic Resonance method)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: ۲ واحد نظری- ۱ واحد عملی
پیش نیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با اصول روش، کاربرد روش، مفاهیم پایه دستگاهها، پی جویی های صحرائی، پردازش و تفسیر داده ها و ارزیابی صحت داده های این روش آشنا می شوند.

فصل ۱- اصول روش

تشدید مغناطیسی هسته ، هسته اتم هیدروژن، مقایسه با روش مقاومت ویژه الکتریکی، ممان مغناطیسی در ارتباط با میدان مغناطیسی زمین، SNMR ، MRS.

فصل ۲- کاربرد روش

اکتشاف مستقیم آب، تفکیک آبخوان از ناحیه غیراشباع، تعیین محتوی آب آبخوان، برآورد هدایت هیدرولیکی، تعیین مقدار آب در ناحیه غیر آبخوان، برآورد مقدار آب و خواص هیدرولیکی در کارست ها و آبخوانهای درزوشکافدار.

فصل ۳- مفاهیم پایه

ممان مغناطیسی مولکول آب، حالت تعادل پروتون آب، فرکانس لارمور، دامنه سیگنال و ارتباط آن با محتوای آب ، زمان واهلش و ارتباط آن با نفوذپذیری آبخوان، اندازه دانه های آبخوان، فاز و ارتباط آن با مقاومت ویژه الکتریکی، تخلخل مفید، حداکثر دامنه سیگنال.

فصل ۴- دستگاهها

آکواتم، هیدروسکوپ، اِن اِم آر میدی، ویستا کلرا اِم آر اِس، نویس پلاس،کنورتور، ژنراتور، آماده سازی خازنها، فرستنده، گیرنده.

فصل ۵- پی جویی های صحرائی

مدلسازی پیشرو، شکل لوپ (دایره ای، مربعی، شکل ۸ انگلیسی)، داده برداری، محدودیت های حاصل از نوفه شهری و خطوط انتقال برق.

فصل ۶- پردازش و تفسیر داده ها

تبدیل منحنی سونداژ به مقطع محتوی آب –عمق، نفوذپذیری–عمق، مراحل قبل از وارون سازی، وجود نوفه در منحنی های کاهشی، کاربرد انواع فیلتر، انتخاب پنجره مناسب، کاربرد ماتریس لایه ها.

فصل ۷- ارزیابی صحت داده ها

اندازه گیری میدان مغناطیسی در داخل لوپ، اجتناب از خطوط نیرو و منابع ایجاد نوفه، تنظیم دقیق لوپ، موازی بودن محور لوپ نوع هشت با نوفه خطی، نوفه داخل وسائل متحرک، تعیین تعداد استک ها، عدم اختلاف فرکانس معرفی شده با فرکانس دریافتی

بیش از یک هرتز، ترکیب روش با سایر روشهای ژئوفیزیکی، توپوگرافی محل اندازه گیری، زمان عملیات بسته به نوفه محل و تعداد استک ها.

فصل ۸- کاربردهای عملی

سایت های مختلف انجام شده، آزمایش دستگاه، مقایسه نتایج داده ها با گمانه حفر شده، آبخوان عمیق در زیر ناحیه غیراشباع، تعیین عمق مورد مطالعه و تفکیک پذیری روش، آب زیرزمینی در زیر خاک حاوی املاح، کار در مناطق با شدت کم میدان مغناطیسی، کار در مناطق درزوشکافدار آبدار، اندازه گیری در محلهای با نوفه بالا، آبخوان در مناطق شن و ماسه ای، تعیین مناطق شکستگی در سنگها.

واحد عملی

به صلاحدید مدرس بازدید از عملیات اکتشافی و شرکت در پروژه‌های مرتبط با موضوع درس و تهیه گزارش عملی انجام می‌گردد.

منابع درسی:

1. **Knodel k., Lange, G., and Voigt, H.–J., 2007, Environmental Geology, Springer.**
2. **Kirsch, R., 2006, Groundwater Geophysics, Springer.**

بسمه تعالی

نام درس: **روش فرکانس خیلی پایین (VLF method)**

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: ۲ واحد نظری- ۱ واحد عملی
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با ترازهای سیگنال و نوفه فرکانس خیلی پائین، پاسخ موج تخت از مدل زمین با لایه‌بندی افقی، پاسخ موج تخت از هدف‌های دوبعدی، پاسخ موج تخت از اهداف سه‌بعدی و روش‌های پردازش داده‌ها و تفسیر نتایج داده های به دست آمده از این روش آشنا می شوند.

مقدمه ۱- هدف، تاریخچه، باند فرکانسی مورد استفاده، عمق مورد بررسی، زمینه‌های کاربردی، گسیلنده‌های VLF.

فصل ۲- ترازهای سیگنال و نوفه VLF

پارامترهای مؤثر در امواج رادیوئی که با باند فرکانسی VLF منتشر می‌شوند، نوفه‌های جوی در محدودهٔ فرکانسی VLF، VLF-R و VLF-EM.

فصل ۳- پاسخ موج تخت از مدل زمین با لایه‌بندی افقی

نیم‌فضای همگن (مقاومت ویژه ظاهری، میل موج (wave tilt))، نیم فضای همگن (میدان‌های زیر سطح زمین)، مدل زمین لایه‌ای (مقاومت ویژه ظاهری در سطح)، مدل زمین دو لایه (میدان‌ها و جریان های زیر سطح زمین).

فصل ۴- پاسخ موج تخت از هدف‌های دوبعدی

قطبیدگی E و H، تماس قائم (قطبیدگی H)، تماس قائم (قطبیدگی E، زاویه میل و بیضویت)، تماس شیب‌دار، تماس قائم با تشکیلات روی رسانا، منشور مدفون، دایک قائم و ضخیم (رسانا و قائم)، دایک قائم و نازک (تغییر پاسخ با رسانایی)، دایک نازک (تغییر پاسخ با شیب)، دایک قائم (تغییر پاسخ با عمق)، دایک قائم پوشیده شده با تشکیلات رسانا، دایک قائم با گسترش عمقی محدود، دایک‌های رسانا، دایک قائم و مقاوم، ساختارهای (structures) حد فاصل سنگ کف و تشکیلات رویی، بی‌هنجاری‌های با قطبیدگی وارون.

فصل ۵- پاسخ موج تخت از اهداف سه‌بعدی

پاسخ میدان مغناطیسی، پاسخ میدان الکتریکی.

فصل ۶- بکارگیری گسیلنده‌های محلی

گسیلندهٔ دوقطبی الکتریکی متصل به زمین، گسیلندهٔ حلقهٔ بزرگ.

فصل ۷- روش‌های پردازش داده‌ها و تفسیر نتایج

برگردان داده‌ها به روش یک‌بعدی و دوبعدی، آشنایی با نرم‌افزارهای موجود، تعیین پارامترهای مؤثر بر نتایج تفسیر.

فصل ۸- کاربردها

تعیین رگه‌های سولفیدی نهفته، پی‌جویی زونارهای گسلی، تعیین آلودگی آب‌های زیرزمینی.

واحد عملی

به صلاحدید مدرس بازدید از عملیات اکتشافی و شرکت در پروژه‌های مرتبط با موضوع درس و تهیه گزارش عملی انجام می‌گردد.

منابع درسی:

1. **Kaufman, A. A., and Keller, G. V., 1981, The magnetotelluric sounding method, Elsevier.**
2. **Mather, K. B., and Eugene, M. W., 1994, Magnetic, telluric current, and VLF observations, Geophysical Institute University of Alaska.**
3. **Lagal, R., and Garrett, C., 1979, The complete VLF-TR metal detector handbook, Ram.**
4. **Nabighian, M. N., Ed., 1991, Electromagnetic methods in applied geophysics, 1-2 Society of Exploration Geophysicists.**
5. **Persinger, M. A., 1974, ELF and VLF Electromagnetic field effects, Springer.**
6. **Watt, A. D., 1967, VLF radio engineering, Pergamon Press.**

سرفصل دروس
گرایش ژئومغناطیس

بسمه تعالی

نام درس: **دیرینه مغناطیس پیشرفته**
(Advanced paleomagnetism)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: ۲ واحد نظری- ۱ واحد عملی
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با مغناطیس سنگ‌ها، منشأهای مغناطیس بازماند، نمونه‌برداری، دستگاه‌های اندازه‌گیری، نمایش داده‌ها، پایداری دیرینه مغناطیس، قطب‌های دیرینه مغناطیس، معکوس شدن جهت میدان، آمار در دیرینه مغناطیس، و کابردهای دیرینه مغناطیس آشنا می شوند.

فصل ۱- مغناطیس سنگ‌ها (Rock magnetism)

علل مغناطیس بودن سنگ‌ها، تعریف درجه حرارت کوری، خواص مغناطیسی سنگ‌ها، کانی‌شناسی کانی‌های فرومغناطیس، درجه حرارت مسدود (Blocking)، حوزه‌های مغناطیس، روش‌های تشخیص کانی‌های یک سنگ.

فصل ۲- منشأهای مغناطیس بازماند

NRM، TRM، VRM، IRM، DRM و TVRM- زمان واهلش و ....

فصل ۳- نمونه‌برداری، دستگاه‌های اندازه‌گیری، نمایش داده‌ها

مجموعه نمونه‌های پالئومغناطیس، دستگاه نمونه‌گیر، دستگاه‌های اندازه‌گیری، اندازه‌گیری و ترسیم جهات NRM .

فصل ۴- پایداری دیرینه مغناطیس

مغناطیس زدائی AF و Thermal، دیاگرام Ziger .

فصل ۵- قطب‌های دیرینه مغناطیس

فرایند تعیین قطب، انواع قطب‌ها، منحنی‌های حرکت قطب، مثال‌هایی از قطب‌های پالئومغناطیس.

فصل ۶- معکوس شدن جهت میدان

معکوس شدن جهت در سنگ (نظریه‌های Neel)، علت معکوس شدن میدان، سازوکار معکوس شدن، نمودار N و R در طی دوران‌های زمین‌شناسی، نوارهای نرمال و معکوس اطراف کوه‌های دریایی، تطابق بین راستای میدان و سنگ‌شناسی.

فصل ۷- آمار در دیرینه مغناطیس

تجزیه و تحلیل دایرهٔ بزرگ، آمار فیشر، تخمین پراکندگی، آزمون‌های مهم، مقایسه جهت‌ها، آزمون تصادفی، مقایسه دقت.

فصل ۸- کابردهای دیرینه مغناطیس

تغییرات طولانی میدان، پشته‌های میان اقیانوسی، گودال‌ها، جزایر قوسی، نوارهای مغناطیسی، نواحی فرورانش (Transform و Transcurrent)، حرکت قاره‌ها، گسترش کف اقیانوس‌ها، تکتونیک صفحه‌ای، باستان‌شناسی زمین.

واحد عملی

به صلاحدید مدرس کارهای آزمایشگاهی و عملیات صحرایی و شرکت در پروژه‌های مرتبط با موضوع درس و تهیه گزارش علمی انجام می‌گردد.

منابع درسی:

1. **Butler, R. F., 1992, Paleomagnetism-magnetic domains to geologic terrains, Blackwell Scientific Publication.**
2. **Collinson, D. W., 1985, Methodes in rock magnetism and paleomanetism, Chapman and Hall.**
3. **Dunlop, D. J., 2001, Rock magnetism, Cambridge University Press.**
4. **Merrill, R. T, McElhinny, M. W., and McFadden, P. L., 1996, The Magnetic field of the Earth, Paleomagnetism, the Core, and the Deep Mantle, International Geophysics Series, Vol. 63, Academic Press.**
5. **O'Rielly, W., 1984, Rock and mineral magnetism, Chapman and Hall.**
6. **Tarling, D. H., 1971, Principles and applications of palaeomagnetism, Chapman and Hall.**
7. **Uyeda, S., 1978, The new view of the earth, Freeman and Company.**

بسمه تعالی

نام درس: **روش‌های اکتشافی پیشرفته در ژئومغناطیس**
(Advanced exploration methods in geomagnetic)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: ۲ واحد نظری- ۱ واحد عملی
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با روابط اساسی مغناطیس سنجی، اندازه‌گیری میدان مغناطیسی (هوایی- زمینی)، اثر مغناطیسی شکل‌های هندسی ساده، پردازش داده‌ها، گرادیان افقی، گرادیان قائم، روش انتقال به قطب، روش طیف چگالی انرژی، تفسیر داده‌های مغناطیسی و کاربرد روش مغناطیس سنجی آشنا می شوند.

فصل ۱- تعاریف و روابط اساسی مغناطیس سنجی
عناصر میدان اصلی، طبیعت دوقطبی میدان مغناطیسی زمین.

فصل ۲- اندازه‌گیری میدان مغناطیسی (هوایی- زمینی)
ثبت تغییرات میدان، آنومالی‌های میدان کل، تصحیح تغییرات روزانه، تصحیح ارتفاع، تصحیح برای موقعیت افقی.

فصل ۳- اثر مغناطیسی شکل‌های هندسی ساده
خودپذیری سنگ‌ها، اثر تک قطبی، اثر کره، اثر لایه افقی نازک، اثر چند وجهی‌ها با امتداد بی‌نهایت،

فصل ۴- پردازش داده‌ها
حذف نوفه‌ها و اعمال فیلترهای مناسب (فراسو، فروسو و مشتق دوم).

فصل ۵- گرادیان افقی، گرادیان قائم، روش انتقال به قطب، روش طیف چگالی انرژی

فصل ۶- تفسیر داده‌های مغناطیسی
روش‌های تفسیر کیفی و کمی، روش نیم بیشینه، روش‌های شیب، مدلسازی کامپیوتری.

فصل ۷- کاربرد روش مغناطیس سنجی
کاوش‌های باستان‌شناسی، پی جویی کانسارها، تعیین هندسهٔ اجرام مدفون طبیعی و مصنوعی، کاربردهای زمین‌شناسی و تکتونیکی.

واحد عملی
به صلاحدید مدرس بازدید از عملیات اکتشافی و شرکت در پروژه‌های مرتبط با موضوع درس و تهیه گزارش علمی انجام می‌گردد.

منابع درسی:

1. **Baranov, W., 1975, Potential fields and their transformations in applied Geophysics, Geoexploration Monographs, Series, 1-No. 6, Lubrecht & Cramer Ltd.**
2. **Berdichevsky, M. N., and Zhdanov, M. S., 1984, Advanced theory of deep Geomagnetic Sounding, Elsevier.**
3. **Blakely, R. J., 1996, Potential Theory in gravity and Magnetic Applications, Cambridge University Press.**
4. **Burger, H. R., Sheehan, A. F., and Jones, C. H., 2006, Introduction to Applied Geophysics-Exploring the Shallow Subsurface, W. W. Norton & Company.**
5. **Davis, A., 1996, Advances an High Definition Geophysics in Australian Society of Exploration Geophysics, Issue No.61, SEG.**
6. **Lillie, R. J., 1999, Whole Earth Geophysics-An introductory textbook for geologists and geophysicists, Prentice Hall.**
7. **Mathworks, 1994, Matlabs Image processing toolbox, version 4, Mathwarks Inc.**
8. **Meilleroux, J. L., 1966, Electromagnetism and the Earth's Interior, Elsevier.**
9. **Parkinson, W. D., 1983, Introduction to Geomagnetism, Scottish Academic Press.**
10. **Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., and Vetterling, W. T., 1986, Numerical recipes, the art of scientific computing, Cambridge University Press.**
11. **Reynolds, J. M., 1997, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, John Wiley & Sons.**
12. **Rikitake, T., 1996, Electromagnetism and the Earth's Interior, Elsevier.**
13. **Scintrex, 1993 a, Cs-2 Cesium Magnetometer Operating Manual, Scintrex Co.**
14. **Stanley, J. M., 1982, New Magnetometer Technology and its Application to Archaeological Exploration, in Archaeological Exploration, in Archaeometry-An Australian perspective, ANV Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **ژئومغناطیس پیشرفته**
(Advanced geomagnetism)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با مغناطیس کرهٔ زمین، مغناطیس فضایی، هدایت الکتریکی کره زمین (مدل‌سازی)- ارتباط با حرارت داخل زمین- شار حرارت، هم‌دمای کوری ، رسانائی الکتریکی پلاسما، مغناطیس سنگ‌ها و تکتونومغناطیس و میدان‌های القایی آشنا می شوند.

فصل ۱- مغناطیس کرهٔ زمین

الف- کاربرد روش ریاضی هارمونیک‌های کروی (Spherical Harmonics) در ژئومغناطیس،
تئوری دینام مغناطیس، هیدرودینامیک، انرژی‌های لازم در تئوری دینام
تغییرات طولانی میدان (secular variation)

فصل ۲- مغناطیس فضایی

رصدخانهٔ مغناطیس، ثبت تغییرات میدان، حرکت ذرات باردار، فیزیک خورشید زمین، پلاسمای خورشید باد، MHD، یونسفر، مگنتوسفر پالس‌ها و امواج پلاسما در مگنتوسفر کره زمین، فرایندهای فیزیکی ایجاد طوفان‌ها و زیر طوفان‌های مگنتوسفر شفق قطبی، اتصال مجدد در مگنتوسفر.

فصل ۳- هدایت الکتریکی کره زمین (مدل‌سازی)- ارتباط با حرارت داخل زمین- شار حرارت (Heat flow)

فصل ۴- هم‌دمای کوری Curie isotherm، رسانائی الکتریکی پلاسما

فصل ۵- مغناطیس سنگ‌ها و تکتونومغناطیس

فصل ۶- میدان‌های القایی

تئوری جریان‌های ادی، ساختار رسانائی جهانی، روش مگنتوتلوریک.

منابع درسی:

1. **Akasofo, S. I., and Chapman, S., 1972, Solar terrestrial physics, Clarendon Press.**
2. **Chapman, S., and Bartels, J., 1951, Geomagnetism 1-11, Clarendon Press.**
3. **Jacobs, J. A. Ed., 1989, Geomagnetism 1-4, Academic Press.**
4. **Merrill, R. T., Mc Elhinny, M. W., and Mc Fadden, P. L., 1998, The magnetic field of the earth, Academic Press.**
5. **Parkinson, W. D., 1983, Introduction to geomagnetism, Scottish Academic Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **روش مگنتوتلوریک**
(Magnetotelluric method)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: ۲ واحد نظری- ۱ واحد عملی
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با مبانی تئوری، دستگاه ها، تجهیزات و عملیات صحرایی، پردازش و تفسیر داده های مگنتوتلوریک، چشمه های قابل کنترل با باند فرکانسی شنوایی، طراحی و تدارکات عملیات صحرایی،پردازش داده های MT ، مدلسازی پیشرو و وارون و تفسیر داده های MT آشنا می شوند.

قسمت اول – چشمه طبیعی

فصل ۱- مبانی تئوری

معادلات ماکسول، معادلات موج برای زمین همگن، حل دو قطبی الکتریکی افقی متصل به زمین، حل دو قطبی مغناطیسی عمودی، حل برای زمین ناهمگن، تانسور امپدانس و tipper، اثرات ایستا توپوگرافی و منطقه‌ای، مقاومت ویژه و مقاومت ویژه ظاهری و فاز امپدانس، اثر چشمه و CSMT، CSAMT و CSTMT.

فصل ۲- دستگاه ها، تجهیزات و عملیات صحرایی

چشمه‌ها، گیرنده‌ها، توصیف دستگاه‌های مورد استفاده در MT، آرایه‌ها و سنسورهای مغناطیسی و الکترودها.

فصل ۳- پردازش و تفسیر داده های مگنتوتلوریک

مفاهیم و ملاحظات کلی شامل طیف های auto و cross، حل معادلات مقاومت ظاهری و tipper، چشمه‌های دور، خطاها و نوفه‌ها، مقاطع مقاومت ویژه، تهیه مدل لایه‌بندی برای منطقه، تطابق مدل نهایی با اطلاعات زمین شناسی منطقه، تعیین جهت موثر امتداد لایه، جبران اثرات ایستایی.

قسمت دوم – چشمه های قابل کنترل با باند فرکانسی شنوایی (CSAMT)

فصل ۴- طراحی و تدارکات عملیات صحرایی

تدارکات اساسی، نوفه‌های الکتریکی، آلایش‌های محیطی، اندازه‌گیری‌های اسکالر- برداری و تانسوری، مؤلفه‌های بهینه برای اندازه‌گیری، ملاحظات پوشش تصویر افقی، عمق مورد بررسی، ملاحظات مربوط به دقت، ملاحظات مربوط به چگالی داده‌ها، ملاحظات مربوط به زمین‌شناسی، چشمه‌های حلقوی در مقایسه با دو قطبی، مقاومت ظاهری سیم، ملاحظات اقتصادی، چه زمانی باید از CSAMT استفاده کرد.

فصل ۵- پردازش داده های MT

تبدیل فوریه، کالیبراسیون ماتریسی و طیفی، روش کمترین مربعات، روش مرجع دور و تخمین وابع تبدیل، پارامترهای مگنتوتلوریک، نمایش شبه مقطع نقشه‌های حاصل از داده‌ها.

فصل ۶- مدلسازی پیشرو و معکوس

مدلسازی و برگردان داده ها (1D، 2D و 3D).

فصل ۷- تفسیر داده های MT

بعد داده‌ها، آشفتگی داده‌ها و جابجایی ایستا، چرخش تانسور امپدانس، مدل‌های عمومی و اندازه‌گیری خطا، تعیین امتداد ساختار زمین‌شناسی از نظر الکتریکی با استفاده از داده‌ها.

واحد عملی

به صلاحدید مدرس بازدید از عملیات اکتشافی و شرکت در پروژه‌های مرتبط با موضوع درس و تهیه گزارش علمی انجام می‌گردد.

منابع درسی:

1. **Berdichevsky, M. N., and Dmitriev, U. I., 2004, Magnetotelluric in the context of the Theory of Ill - Posed Problems, Society of Exploration Geophysicists.**
2. **Koufman, A. A., and Keller, G. V., 1981, The magnetotelluric sounding method, Elsevier.**
3. **Nabighian, M. N., Ed., 1991, Electromagnetic method in applied geophysics, 1-2, Society of Exploration Geophysicists.**
4. **Simpson, F. and Bahr K., 2005, Practical Magnetotellrics, Cambridge University Press.**
5. **Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., 1990, Applied Geophysics, Second Edition, Cambridge University Press.**
6. **Vozoff, K., Ed., 1986, Magnetotelluric methods, Society of Exploration Geophysicists.**

سرفصل دروس
گرایش گرانی‌سنجی

بسمه تعالی

نام درس: **اکتشافات گرانی سنجی پیشرفته**
(Advanced exploration methods in gravimetry)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: ۲ واحد نظری- ۱ واحد عملی
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با تبدیل‌های نرمال داده‌های گرانی، تبدیل‌های ویژه داده‌های گرانی، روش‌های اتوماتیک تفسیر، مسئله وارون در گرانی سنجی و گرانی سنجی دریایی آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه
مروری بر تصحیحات گرانی، تصحیح ایزوستازی.

فصل ۲- تبدیل‌های نرمال داده‌های گرانی
تفسیر با استفاده از روش‌های تبدیل داده‌های گرانی شامل: ادامه فرو سو، ادامه فرا سو، گرادیان‌های قائم، گرادیان افقی.

فصل ۳- تبدیل‌های ویژه داده‌های گرانی
محاسبه و مورد استفاده تبدیل‌های ویژه نظیر تبدیل ملین (Mellin)، والش (Walsh)، هارتلی (Hartley).

فصل ۴- روش‌های اتوماتیک تفسیر
محاسبه و مورد استفاده روش‌های اویلر، ورنر، سیگنال تحلیلی.

فصل ۵- مسئله وارون در گرانی سنجی
اصول و مبانی روش‌های وارون خطی در گرانی سنجی با ذکر مثال مانند روش حل وارون فشرده، اصول و مبانی روش‌های وارون غیر خطی در گرانی سنجی با ذکر مثال مانند روش مارکوارت، لونبرگ، بحث در مورد یکتایی جواب و پایداری روش‌های وارون در گرانی سنجی.

فصل ۶- گرانی سنجی دریایی
روش‌های تصحیح داده‌های گرانی دریایی، روش‌های مدلسازی و تفسیر داده‌های گرانی سنجی دریایی، آلتویمتری ماهواره ای و استفاده آن در اکتشافات گرانی سنجی دریایی.

واحدعملی- به صلاحدید مدرس بازدید از مناطق عملیاتی- اکتشافی و شرکت در پروژه‌های مرتبط با موضوع درس و تهیه گزارش عملی انجام می‌گردد.

منابع درسی:

1. **Blakely, R. J., 1997, Potential theory in gravity and magnetic, Applications, Cambridge University Press.**
2. **Meju, M. A., 1994, Geophysical data analysis: understanding inverse problem theory and practice, SEG.**

بسمه تعالی

نام درس: **تئوری ژئودتیک**
(Geodetic theory)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با تئوری پتانسیل، میدان گرانی زمین، تعیین ژئوئید با روش گرانی، تعیین ژئوئید با روش‌های آستروگراویمتری، تلوروئید، برگردان مشاهدات ژئودتیکی بر روی سطح بیضوی مرجع، روش‌های مبنایی برای توسعه شبکه‌های ژئودزی به کمک ماهواره‌های مصنوعی و تعیین حرکت‌های پوسته زمین با روش‌های ژئودتیکی آشنا می شوند.

فصل ۱- تئوری پتانسیل
اصول نظریه پتانسیل یک لایه، دو لایه، قضایای گرین، معادله لاپلاس، توابع هماهنگ کروی و بیضوی.

فصل ۲- میدان گرانی زمین
بسط پتانسیل گرانشی و گرانی در هماهنگ‌های کروی و بیضوی – مسائل مقادیر مرزی میدان گرانی، پتانسیل مزاحم، فرمول اساسی ژئودزی فیزیکی.

فصل ۳- تعیین ژئوئید با روش گرانی
فرمول استوکس در مختصات کروی و بیضوی، تعیین عملی مؤلفه‌های انحراف قائم و موجگانی ژئوئید.

فصل ۴- تعیین ژئوئید با روش‌های آستروگراویمتری
ترازیابی آسترو – ژئودتیک، ترازیابی آسترو – گراویمتری.

فصل ۵- تلوروئید
مسئله مقادیر مرزی مولودنسکی، حل انتگرال اصلی، تحلیل هندسی حل معادله مولودنسکی.

فصل ۶- برگردان مشاهدات ژئودتیکی بر روی سطح بیضوی مرجع
تعریف بیضوی مرجع، برگردان مشاهدات نجومی، برگردان مشاهدات سمتی، برگردان مشاهدات سرسو بر روی بیضوی نرمال.

فصل ۷- روش‌های مبنایی برای توسعه شبکه‌های ژئودزی به کمک ماهواره‌های مصنوعی
مولفه‌های مدار ماهواره‌های مصنوعی، ماهواره‌های مصنوعی ژئودتیک، روش‌های مشاهده ماهواره‌ها، مثلث بندی فضایی، شبکه‌های برداری.

فصل ۸- تعیین حرکت‌های پوسته زمین با روش‌های ژئودتیکی

مشاهدات GPS برای حرکت پوسته زمین، روش‌های آستروژئودتیک تعیین حرکت قاره‌ها، حرکت‌های قطب، کاربرد لیزر و مشاهدات رادیویی برای تعیین حرکت قاره‌ها.

منابع درسی:

1. **Dragomir, V., Chirau, D., Mihailesen, M., and Rotaru, M., 1982, Theory of the Earth Shape, Elsevier.**
2. **Heiskanen, W. A., and Moritz, H., 1987, Physical Geodesy, Technical University Graz.**
3. **Vanicek, P., 1981, Geodesy the concept, Elsevier.**

بسمه تعالی

نام درس: **ژئودینامیک پیشرفته**
(Advanced geodynamics)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با زمین ساخت صفحه‌ای، تنش و کرنش در اجسام جامد، کشسانی و خمش، انتقال دما، گرانی، مکانیک سیالات، تغییر شکل سنگ، گسلش و شارش در اجسام متخلخل آشنا می شوند.

فصل ۱- زمین ساخت صفحه‌ای

مقدمه، رشد، فرورانش، گسل‌های دگرگون، دیرینه مغناطیس و حرکت صفحه‌ای، اتصال سه گانه، چرخه ویلسون، برخوردهای بین قاره‌ای، آتشفشانی و شارش دما، سازوکار رانش.

فصل ۲- تنش و کرنش در اجسام جامد

مقدمه، نیروهای پیگیری و نیروهای سطحی، تنش در دو بعد، تنش در سه بعد، فشارها در داخل عمق سیاره‌ها، اندازه‌گیری تنش، اندیشه‌های بنیادی درباره کرنش، اندازه‌گیری کرنش.

فصل ۳- کشسانی و خمش

مقدمه، کشسانی خطی، تنش تک محوری، کرنش تک محوری، تنش مسطح، کرنش مسطح، برش خالص و برش ساده، تنش همسانگرد، خمش دو بعدی یا انحنای دو بعدی صفحات، خمیدگی صفحات تحت گشتاور و بار عمودی اعمال شده، خم شدن صفحه تحت بار افقی، تغییر شکل چینه رویی یک توده آذرین نفوذی، کاربرد سنگ کره زمین، بار متناوب، پایداری سنگ کره زمین تحت بار پایانی، خمش سنگ کره کشسان در یک شیار اقیانوس، خمش و ساختار نواحی رسوبی.

فصل ۴- انتقال دما

مقدمه، قانون فوریه از هدایت دما، زمین گرمایی قاره‌ها، حرارت زیر سطحی به‌واسطه حرارت و پستی و بلندی سطحی دوره‌ای، تغییرات روزانه و فصلی در حرارت زیر سطحی، سرمایش سنگ کره اقیانوس، مساله استفان، استحکام یک دایک یا سیل، اثرات حرارتی فرسایش و رسوب گذاری، تنش‌های حرارتی، پستی و بلندی کف اقیانوس، تغییرات در سطح دریا، تاریخچه فرو افت و حرارتی حوزه‌های رسوبی، حرارت ناشی از اصطکاک در گسل‌ها، جزایر آتشفشانی و ذوب در سطح تخته فرورانش.

فصل ۵- گرانی

مقدمه، شتاب جاذبه بیرونی نسبت به چرخش واپیچیده زمین، شتاب گریز از مرکز و شتاب گرانی، پتانسیل گرانشی و زمینواره، گشتاور لختی، بی‌هنجاری‌های سطحی گرانی، فرمول گرانی بوگه، برگردان داده‌های گرانی جبران، میدان گرانی حاصل از توزیع تناوبی جرم در یک سطح، جبران به‌واسطه خمش سنگکره، بی‌هنجاری‌های ایزوستازی، جبران مدل‌ها و بی‌هنجاری‌های مشاهده شده زمینواره.

فصل ۶- مکانیک سیالات

مقدمه، شارش از میان لوله‌های آتشفشانی، بقای شارش در دو بعد، تعادل نیروی المانی در دو بعد، کشانه، بازگشت پس یخچالی، زاویه فرورانش، تشکیل گنبد نمکی، چین خوردگی، شارش استوک، شارش لوله به‌علاوه دما، مدل آبخیز برای چشمه‌های گرم، همرفت دما، نیروهایی که صفحات زمین ساخت را حرکت می‌دهند، گرمایش به‌وسیله پراکندگی چسبندگی.

فصل ۷- تغییر شکل سنگ

مقدمه، کشسانی، خزش پخش، خزش تغییر محل، شارش‌های برشی سیالات با تغییر شکل‌های دما و وابستگی تنش، دگرشکلی گوشته، اثرات دگرشکلی همرفت و سرمایش زمین، دگرشکلی پوسته، کشسانی گرانروی، رفتار کشسان تمام پلاستیک.

فصل ۸- گسلش

مقدمه، دسته‌بندی گسله‌ها، اصطکاک در گسله، نظریه گسلش اندرسون، صفحات رونده و سراشیبی گرانی، چسب لغز و برگشت کشسان، گسل سن اندریاس، گسل آناتولی شمال، چند راه حل کشسان برای گسلش امتداد لغز، پخش نش، خزش کنش ورشده گرمایی در گسله‌ها.

فصل ۹- شارش در اجسام متخلخل

مقدمه، قانون دارسی، مدل‌های تراوایی، شارش در بسترهای آبده، شارش در بسترهای نامحدود آبده، شکل هندسی آتشفشان‌ها، معادلات بقا جرم، اندازه حرکت و انرژی شارش در یک جسم متخلخل، فرارفت یک بعدی گرما در یک جسم متخلخل، همرفت گرمایی یک لایه متخلخل، زبانه‌های گرمایی در جسم متخلخل اشباع از سیال، مدل متخلخل شارش برای کوچ ماگما، همرفت دو فاز.

منابع درسی:

1. **Bird, J. M., 1980, Plate tectonics, American Geophysical Union.**
2. **Bomford, G., 1962, Geodesy, Oxford University Press.**
3. **Jaeger, J. C., 1969, Elasticity, Fracture, and Flow, 3rd Ed., Methuen.**
4. **Mc Elhinny, M. W., 1973, Paleomagnetism and Plate Tectonics, Cambridge University Press.**
5. **Ramberg, H., 1967, Gravity-deformation and earth's crust, Academic Press.**
6. **Timoshenko, S., and Goodier, J. N., 1970, Theory of elasticity, Mc Graw-Hill.**
7. **Turcotte, D., and Schubert, G., 1982, Geodynamics, applications of continuum physics to geological problems, John Wiley and Sons.**
8. **Wyllie, P. J., 1971, The dynamic earth, John Wiley and Sons.**

بسمه تعالی

سنجش از دور و ژئوفیزیک
(Remote sensing and geophysics)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با اصول و مبانی فیزیکی، طیف کانی‌ها و سنگ‌ها، روش‌های سعی و خطا، کیفیت تصویر و مبانی تعبیر و تفسیر، محدوده ریز موج، پردازش داده‌ها، یکپارچه نمودن و کاربردها، ترکیب داده‌های سنجش از راه دور و دیگر داده‌های مربوط به زمین (الگوی GIS)، اینترفرومتری رادار و عکس‌های ماهواره ای در زمین شناسی و اقیانوس شناسی آشنا می شوند.

مقدمه: هدف و تعریف، توسعه سنجش از راه دور، اصول بنیادی، یک نمونه برنامه سنجش از راه دور، مزیت‌ها و محدودیت‌ها.

فصل ۱- اصول و مبانی فیزیکی

طبیعت تابش EM، مبانی تابش و چشمه‌ها، اصطلاحات فنی تابش، تابش اجسام تیره، طیف الکترومغناطیسی، انرژی قابل دسترس برای سنجش، تاثیرات جوی، پراکنش جوی، جذب جوی، انتشار جوی، ساز و کار فعل و انفعال انرژی در زمین، ساز و کار بازتابش، ساز و کار انتقال، ساز و کار جذب، انتشار مربوط به زمین.

فصل ۲- طیف کانی‌ها و سنگ‌ها

پاسخ طیفی و علائم طیفی، ترتیبات پایه ای جمع آوری داده‌های طیفی در آزمایشگاه و اصطلاحات فنی، مراحل مولکولی اتم در جامدات که منجر به تشکیل ترکیبات در طیف می‌شوند، طیف مشترک اجزاء اصلی یونی در قسمت‌های مختلف از طیف EM، طیف کانی‌ها، طیف سنگ‌ها، طیف حاصل از آزمایشگاه در مقابل طیف حاصل در محل، طیف اجسام طبیعی معمول، روش‌های اندازه گیری طیف در محل عکسبرداری؛ مقدمه، دوربین‌ها، فیلترها، ترکیب‌های فیلم فیلتر برای عکسبرداری طیف زونار، عکسبرداری عمودی و مایل، قدرت تفکیک عکسبرداری، ماموریت‌های عکسبرداری.

فصل ۳- روش‌های سعی و خطا

مقدمه، رسیدن انرژی به گیرنده (ملاحظات نسبت علامت به نوفه)، گیرنده‌های غیر تصویری، گیرنده‌های تصویری، گیرنده‌های تصویری فضا برد، محصولات داده‌های اسکنر، مفاهیم هندسی عکس‌ها و تصاویر، انحراف‌های هندسی، دوربین و مباحث شکل‌های برجسته، مباحث اندازه گیری و مساحی از روی عکس‌های هوائی، جزئیات انتقال پهنه سنج و نقشه کشی.

فصل ۴- کیفیت تصویر و مبانی تعبیر و تفسیر

رفتار با عکس‌ها و تصاویر، اصول و مبانی تعبیر و تفسیر، کاربردها. تعبیر و تفسیر داده‌ها در محدوده بازتابش خورشیدی؛ مقدمه، ملاحظات میزان انرژی جهت سنجش در محدوده SOR، بدست آوردن داده‌ها در محدوده بازتابش خورشیدی، پردازش داده‌های تصویر از بازتابش خورشیدی، تعبیر و تفسیر، روش لومینگس (Luminx) هدف‌های کاربردی در زمین شناسی و ژئوفیزیک. تعبیر و تفسیر داده‌ها در محدوده فرو سرخ دمائی؛ مقدمه، انرژی شعاعی زمین (ملاحظات پایه ای، سنجش، باند وسیع دما و تفسیر داده‌ها، سنجش چند طیفی TIR یا الگوی طیفی انتشار، سنجش LIDAR).

فصل ۵- محدوده ریز موج

گیرنده‌های ریز موج؛ مقدمه، گیرنده‌های ریز موج غیر فعال و تشعشع سنجی، گیرنده‌های ریز موج فعال و رادارهای تصویری. تفسیر از شبیه‌سازی SLAR؛ مقدمه، خصوصیات تصویر SLAR، برگشت رادار، داده‌های تصویری SLAR پردازش شده و پردازش نشده، تفسیر، هدف‌های کاربردی در زمین شناسی و ژئوفیزیک.

فصل ۶- پردازش داده‌ها، یکپارچه نمودن و کاربردها

پردازش رقمی تصویر؛ مقدمه، تصحیح تصویر، ثبت تصویر، برانبارش تصویر، تقسیم بندی تصویر، رده بندی تصویر رقمی، سیستم‌های پردازش تصویر. کاربردهای زمین شناسی؛ مقدمه، زمین ریخت شناسی، ساختار، کانی شناسی، ترتیب چینه ای و نسبت‌های سنی، اکتشاف کانی، اکتشاف نفت، پی جوئی‌های آب‌های زیر زمینی، پی جوئی‌های گسل حاوی آب، پی جوئی‌های زمین شناسی مهندسی، کاربردهای انرژی‌های آتشفشانی و گرمائی، کاربردهای محیطی، کاربردهای ژئودینامیکی.

فصل ۷- ترکیب داده‌های سنجش از راه دور و دیگر داده‌های مربوط به زمین (الگوی GIS)

کامل کردن و یکپارچه نمودن پی جوئی‌های چند منظوره زمین شناسی و ژئوفیزیکی، سیستم اطلاعات، انواع موقعیت جغرافیایی، منابع داده‌های زمین در GIS چند گانه، خصوصیت‌ها و مقیاس‌های اندازه گیری در دسته داده‌ها و یکپارچه نمودن تفسیر، سنجش از راه دور در چشم انداز اکتشافات زمین شناسی و ژئوفیزیکی.

فصل ۸- اینترفرومتری رادار

بررسی تغییر شکل پوسته با استفاده از امواج رادار قبل و بعد از گسلش زمینلرزه ای، تحلیل امواج رادار، مدل سازی و مقایسه با نتایج حاصل از داده‌های اینترفرومتری.

فصل ۹- کاربرد: عکس‌های ماهواره ای در زمین شناسی و اقیانوس شناسی

منابع درسی:

1. **Fischetti, T. L., 1981, The application of space technology to geodynamics-an overview: Int. Geosei, Remote Sens. Symp. (IGARSS), IEEE, Vol. 1 Digest.**
2. **Gupta, R. P., 1991, Remote sensing geology: Springer-Verlag.**
3. **Kondratyev, K. Y., Kozoderov, V. V., and Smokty, O. L., 1992, Remote sensing of the earth from space-Atmospheric correction, Springer-Verlag.**

سرفصل دروس
گرایش لرزه‌شناسی

بسمه تعالی

نام درس: **انتشار موج در محیط‌های متخلخل**
(Wave propagation in porous media)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با خواص مربوط به فضای حفره، چگالی سنگ‌ها، سرعت امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها، مدل‌های سرعت انتشار امواج در سنگ‌ها، تضعیف امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها و سازوکارهای تضعیف در سنگ‌ها آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه
طبقه‌بندی زمین‌شناسی سنگ‌ها، طبقه‌بندی فیزیکی سنگ‌ها، همگنی و ناهمگنی، همسانگردی و ناهمسانگردی.

فصل ۲- خواص مربوط به فضای حفره
تخلخل و انواع آن، سطح داخلی ویژه، تراوایی، ارتباط بین تخلخل، تراوایی و سطح داخلی ویژه.

فصل ۳- چگالی سنگ‌ها
چگالی کانی‌ها، چگالی سیالات درون حفره‌ها، چگالی بالک سنگ‌ها.

فصل ۴- سرعت امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها
خاصیت کشسانی و قانون هوک، سرعت موج لرزه‌ای در کانی‌ها، سرعت موج لرزه‌ای در سیالات، سرعت موج لرزه‌ای در سنگ‌های متخلخل، روش‌های اندازه‌گیری سرعت در سنگ‌ها، بررسی نتایج آزمایشگاهی سرعت انتشار امواج در سنگ‌های متخلخل.

فصل ۵- مدل‌های سرعت انتشار امواج در سنگ‌ها
مدل گاسمن، مدل بیوت، روابط گیرتسما و اسمیت، روابط کاستر و توکسوز برای محیط‌های مؤثر، روابط خودسازگار برای محیط‌های مؤثر، روابط والش و هادسون برای محیط‌های درزه و ترکدار، مدل تجربی وایلی، رابطه تجربی ریمر.

فصل ۶- تضعیف امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها
خواص غیرکشسانی کانی‌ها، خواص تضعیف سیال درون حفره‌ها، روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری تضعیف در سنگ‌ها، نتایج آزمایشگاهی تضعیف امواج در سنگ‌ها.

فصل ۷- سازوکارهای تضعیف در سنگ‌ها
تضعیف ذاتی ماتریکس سنگ، افت اصطکاکی، سازوکار جریان کلی سیال، سازوکار جریان محلی سیال.

منابع درسی:

1. **Bourbie, T., Coussy, O., and Zinszner, B., 1987, Acoustic of porous media, Gulf Publishing Company.**
2. **Mavko, G., Mukerji, T., and Dvorkin, J., 1998, The rock physics handbook, Cambridge University Press.**
3. **Schon, J. H., 1996, Physical properties of rocks-fundamentals and principle of petrophysics: Handbook of Geophysical Exploration, Seismic Exploration, Vol 12, Elsevier.**
4. **Sheriff, R. E., and Geldart, L., 1995, Exploration seismology, Cambridge University Press.**
5. **White, J. E., 1983, Underground sound, application of seismic wave, Elsevier.**

بسمه تعالی

نام درس: **پردازش پیشرفته داده‌های لرزه‌ای بازتابی**
(Advanced seismic data processing)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با روش‌های تضعیف نوفه های اتفاقی و غیر اتفاقی، تصحیح برونراند شیب، کوچ پس از برانبارش و کوچ پیش از برانبارش آشنا می شوند.

فصل ۱- روش‌های تضعیف نوفه های اتفاقی و غیر اتفاقی
واهمامیخت پیش‌گو، تبدیل f-k، تبدیل $\tau - \rho$، تبدیل رادن، تبدیل $K - L$ و f-x

فصل ۲- تصحیح برونراند شیب
تصحیح برونراند شیب، روش‌های تصحیح برونراند شیب (داده‌های دورافت مشترک، داده‌های چشمه مشترک).

فصل ۳- کوچ پس از برانبارش
روش‌های کوچ داده‌های دوبعدی و سه‌بعدی.

فصل ۴- کوچ پیش از برانبارش
روش‌های کوچ داده‌های دوبعدی و سه‌بعدی.

منابع درسی:

1. **Claerbout, J. F., 1985, Imaging the earth's interior, Blackwell Scientific Publications Inc.**
2. **Yilmaz, O., 2001, Seismic data processing, processing, inversion and interpretation of seismic data, Vols 1&2, Society of Exploration Geophysicists.**

بسمه تعالی

نام درس: **توموگرافی لرزه‌ای**
(Seismic tomography)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با مدل‌سازی مستقیم، مدل‌سازی وارون در حوزه زمان و مدل‌سازی وارون در حوزه فرکانس آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه
توموگرافی و انواع آن، زمان سیر، انواع روش‌های ردیابی پرتو، روش پرتابی، روش خم، توموگرافی موجک، نظریه‌های پرتو و پراش، وارون‌سازی ماتریس (بک پروجکشن و پس انتشار)، مسیر پرتو، مسیر موج و زون فرنل.

فصل ۲- مدل‌سازی مستقیم
تفاضل‌های محدود در حوزه فرکانس، نحوه انتخاب پارامترها برای مدل‌سازی در حوزه فرکانس، مثال‌های رایانه ای.

فصل ۳- مدل‌سازی وارون در حوزه زمان
مقدمه‌ای بر روش‌های وارون، روش‌های حل مسائل وارون برای معادله زمان سیر، روش‌های تکرار شونده در حل معادله زمان سیر، روش بسط سری‌ها، الگوریتم‌های نیوتن و گرادیان، بیان روش گرادیان با استفاده از آرایه داده‌های لرزه‌ای سطحی، مثال‌های ساده وارون‌سازی.

فصل ۴- مدل‌سازی وارون در حوزه فرکانس
وارون‌سازی داده‌های حوزه فرکانس برای چشمه، چگونگی استفاده از پارامترها برای مدل‌سازی وارون در حوزه فرکانس، وارون‌سازی مدل‌های سرعتی مرکب، مسائل غیر خطی.

فصل ۵- مثال‌های موردی
توموگرافی چاه به چاه برای حالت لایه‌ای و ناهمسانگرد، انتخاب فرکانس مؤثر برای وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای سطحی.

منابع درسی:

1. **Fink, M., Kuperman, W. A., Montagner, J. P., and Tourin, A., 2002, Imaging of complex media with acoustic seismic waves (Topics Applied Physics), Springer Verlag.**
2. **Iyer, H. M., and Hirahara, K., 1999, Seismic tomography theory and practice, Springer Verlag.**
3. **Li, C., 2006, Seismic tomography with non-uniform ray coverage and autoregressive extrapolation, ProQuest.**
4. **Lo, T. W., and Inderwiesen , P. L., 1994, Fundamentals of seismic tomography, Society of Exploration Geophysicists.**
5. **Nolet, Go., 1987, Seismic tomography with applications in global seismology and exploration geophysics (modern approaches in geophysics), Kluwer Academic Publishers.**

بسمه تعالی

نام درس: **روش‌های پرتو لرزه‌ای**
(Seismic ray methods)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با زمان سیر پرتو، دامنه پرتو و مثال‌های موردی روش مذکور آشنا می شوند.

فصل ۱ – مقدمه

پرتو لرزه‌ای، ویژگی‌ها و معادله پرتو، معادلات جبهه موج و ایکونال، حل معادله ایکونال.

فصل ۲- زمان سیر پرتو

حل ردیابی پرتو به روش پرتابی، روش‌های خم، ردیابی پرتو دومحوری و روش‌های مبتنی بر آن، ردیابی پرتو امواج سطحی، پرتوها و زمان رسید در مدل یک‌بعدی با ویژگی‌های متفاوت.

فصل ۳- دامنه پرتو

ردیابی پرتو در مختصات پرتو مرکزی، حل عددی پیشرو معادله دیفرانسیل پرتو مرکزی، سیستم ردیابی پرتو در مختصات کارتزین، ردیابی پرتو در محیط لایه‌ای، ردیابی پرتو در یک مسیر هموار.

فصل ۴- مثال‌های موردی

ردیابی زمان سیر پرتو در مدل‌های ساده و مرکب، ردیابی دامنه پرتو در مدل‌های ساده و مرکب.

منابع درسی:

1. **Cerveny, V., 1985, The application of ray tracing to the numerical modelling of seismic wave fields in complex structures, Geophysical Press.**
2. **Cerveny, V., 2005, Seismic ray theory, Cambridge University Press.**
3. **Shearer, P., 1999, Introduction to seismology, Cambridge University Press.**
4. **Slawinski, M. A., 2003, Seismic waves and rays in elastic media (Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration), Pergamon Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **نشانگرهای لرزه‌ای**
(Seismic attributes)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با نشانگرهای یک‌بعدی، نشانگرهای دوبعدی، نشانگرهای سه‌بعدی، نشانگرهای تغییر دامنه و مثال‌های موردی آشنا می شوند.

فصل ۱- نشانگرهای یک‌بعدی

دامنه لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای، فرکانس لحظه‌ای، پهنای باند لحظه‌ای.

فصل ۲- نشانگرهای دوبعدی

دامنه لحظه‌ای دوبعدی، فاز لحظه‌ای دوبعدی، فرکانس لحظه‌ای دوبعدی، پهنای باند لحظه‌ای دوبعدی، سرعت فاز لحظه‌ای، سرعت گروه لحظه‌ای.

فصل ۳- نشانگرهای سه‌بعدی

دامنه لحظه‌ای سه‌بعدی، فاز لحظه‌ای سه‌بعدی، فرکانس لحظه‌ای سه‌بعدی، شیب فاز لحظه‌ای، آزیموت لحظه‌ای، همدوسی

فصل ۴- نشانگرهای تغییر دامنه

در مقابل دورافت، در مقابل زاویه، در مقابل آزیموت.

فصل ۵- مثال‌های موردی

لایه‌های نازک، گسل‌ها، تله‌های چینه‌ای، ناپیوستگی‌ها.

منابع درسی:

1. **Castagna, J. P. and Backus, M. M., 1997, Offset dependent reflectivity-theory and practice AVO analysis, Society of Exploration Geophysicists.**
2. **Marfurt, K., 2007, Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization, Society of Exploration Geophysicists.**
3. **Yilmaz, O., 2001, Seismic data processing, processing, inversion and interpretation of seismic data, Vols 1&2, Society of Exploration Geophysicists.**

سرفصل دروس
اختیاری همه گرایش ها

بسمه تعالی

نام درس: **پروفیل لرزه ای قائم**
(Vertical seismic profiling, VSP)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با نحوه استفاده و کاربرد روش های مختلف پروفیل لرزه ای قائم و داده های به دست آمده از این روش آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه

پروفیل لرزه ای قائم (VSP), تاریخچه VSP

فصل ۲- تجهیزات و محیط مورد نیاز برای برداشت VSP

چاه، چشمه های انرژی، گیرند ه های درو نچاهی، کابل رکوردگیری، سیستم ثبت داده ها.

فصل ۳- مشکلات نوفه در VSP

جفت شدگی گیرنده، امواج کابل، لوله های جداری، امواج لوله های، نوفه های محیطی.

فصل ۴- عملیات صحرایی VSP

آزمایش گیرنده، برانبارش قائم، فاصله نمونه برداری زمانی، فاصله نمونه برداری عمقی، کنترل عمق، تضعیف امواج لوله ای، ثبت VSP با دورافت غیرصفر، ثبت داده های VSP در چاه های مایل، آزمایش جف نشدگی گیرنده به سازند.

فصل ۵- پردازش داده های VSP

با دورافت صفر، با دورافت غیرصفر، در چا ه های مایل.

فصل ۶- کابردهای VSP

ضرایب بازتاب، شناسایی بازتابنده های لرزه ای، مقایسه داده های (VSP) با لرزه نگاشت های مصنوعی، مطالعه دامنه امواج لرزه ای، تعیین خواص فیزیکی سنگها، تضعیف امواج لرزه ای، دامنه در مقابل دورافت و (VSP).

منابع درسی:

1. Balch, A. H., and Myung, W. L. Ed., 1984, Vertical seismic profiling technique, applications and case histories, International Human Resources Development Corporation.
2. Galperin, E. I., 1985, Vertical seismic profiling and its exploration potential, D. Reidl Publishing Co.
3. Hardage, B. A., 2000, Vertical seismic profiling: principles: Third updated and revised edition, Handbook of Geophysical Exploration, v. 14 Pergamon.

بسمه تعالی

نام درس: **تعیین ویژگی های لرزه ای مخزن**
(Seismic reservoir characterization)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با نحوه تعیین ویژگیهای مخزن با استفاده از روش های مختلف وارونسازی بر روی داده های پس از انبارش و پیش از انبارش آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه

داده های زمان رسید، داده های دامنه، اطلاعات چاه، نمونه مغزه، اطلاعات زمین شناسی ساختمانی و زمین شناسی تاریخی.

فصل ۲- وارون سازی پس از انبارش

وارون سازی زمان رسیدها برای تعیین (مدل سرعت، مدل ساختار، افق ها، گسل ها،...)، وارون سازی دامنه برای تعیین (مقاومت صوتی، لیتولوژی، تخلخل، اشباع و...).

فصل ۳- وارون سازی پیش از انبارش

داده های دسته نقطه مشترک میانی، تغییرات ضریب عبور موج در مقابل زاویه تابش، ضریب بازتاب به عنوان تابعی از پارامترهای کشسان، معادلات (شوی، گیدلو و اسمیت) در تعیین شیب دامنه موج.

فصل ۴- تعبیر و تفسیر کیفی

تفسیر ساختاری، تفسیر چین های.

فصل ۵- کاربرد نشانگرهای لرز های در تعیین ویژگیهای لرز های مخزن

نشانگرهای پس انبارش (نشانگرهای افق لرزه ای و نشانگرهای سازند)، نشانگرهای پیش از انبارش (دامنه در مقابل دورافت، دامنه در مقابل زاویه تابش، دامنه در مقابل آزیموت).

منابع درسی:

1. **Biondi, B., 2006, 3D seismic imaging, Society of Exploration Geophysicists.**
2. **Bording, R.P., and Lines, L.R., 1997, Seismic modeling and imaging with the complete wave equation, Society of Exploration Geophysicists.**
3. **Claerbout, J. F., 1985, Imaging the earth's interior, Blackwell Scientific Publications.**
4. **Eberli, G. P., Masaferro, J.L., and Sarg, J. F., 2004, Seismic imaging of carbonate reservoirs and systems, American Association of Petroleum Geologists.**
5. **Haris, A., 2003, Amplitude-preserving migration and its application to imaging of a BSR in marine multichannel seismic reflection data, Aachen.**
6. **Scales, J.A., 1995, Theory of seismic imaging, Springer-Verlag.**

بسمه تعالی

نام درس: **چاه‌پیمایی پیشرفته**
(Advanced well logging)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با روش های پیشرفته نگاربرداری و با روش‌های آماری و هوشمند در چاه‌پیمایی برای تعیین خواص پتروفیزیکی لایه های داخل گمانه ها آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه

تاریخچه چاه‌پیمایی، محیط اطراف چاه، واژه‌های رایج در چاه‌پیمایی، مروری بر کاربرد چاه‌پیمایی (در چاه‌های باز و در چاه‌های با لوله جداری)، نگاربرداری در هنگام حفاری.

فصل ۲- خواص فیزیکی

پتروفیزیک، جریان سیال در محیط‌های متخلخل، تکنیک‌های آزمایش جریان سیال و فشار، تراوایی، اشباع، تکنیک‌های مغزه‌برداری و آزمایش مغزه، خواص رس، ترکیب رس و ماسه، کربنات‌ها، روابط بین خرد مقیاس و بزرگ مقیاس (مقدمه‌ای بر تئوری محیط‌های مؤثر و تئوری‌های محیط‌های دانه‌ای).

فصل ۳- روش‌های پیشرفته نگاربرداری

مقاومت ویژه DC و القایی، تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR)، صوتی دوقطبی، هسته‌ای پیشرفته، دیرینه مغناطیس.

فصل ۴- همبستگی چاه‌ها

ارزیابی پتروفیزیکی ماسه‌های شیلی، تکنیک‌های به کار برده شده برای ارزیابی پیوستگی جانبی، ارتباط چاه‌ها با داده‌های لرزه‌ای سطحی سه‌بعدی، وارون سازی تریس‌های لرزه‌ای برای تخمین نگارها، تکنیک‌های مورد استفاده برای همبستگی بین چاه‌ها، همبستگی‌های زمان- چینه‌ای و سنگ- چینه‌ای.

فصل ۵- روش‌های آماری و هوشمند در چاه‌پیمایی

رگرسیون کمترین مربعات برای تصحیح نگارها با استفاده از نگار قطرسنج، شبکه‌های عصبی، منطق فازی، تکنیک‌های تخمین بیزین Bayesian، زمین آمار، تخمین واریوگرامها، کریجینگ، درون‌یابی پارامتری بین چاه‌ها، فرایند و متغیرهای تصادفی، مدلسازی تصادفی و مدل‌های غیر قطعی رفتار پتروفیزیکی، وارون زمین آماری داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی.

منابع درسی:

۱- رضایی، م. ر. و چهرازی، ع.، ۱۳۸۵، اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی، انتشارات دانشگاه تهران.

2. **Bassiouni, Z., 1994, Theory, measurement, and interpretation of well logs, SPE Textbook Series Vol. 4.**
3. **Dewan, J. T., 1983, Essentials of modern open-hole log interpretation, PennWell Publishing Company.**
4. **Ellis, D. V., 1987, Well logging for earth scientists, Elsevier Science Publishing Company.**
5. **Hearst, J. R., Nelson, P. H., and Paillett, F. L., 2000, Well logging for physical properties, a handbook for geophysicists, geologists, and engineers, John Wiley & Sons.**
6. **Middleton, G. V., 2000, Data analysis in the earth Sciences using Matlab, Prentice Hall PTR.**
7. **Pirson, S. J., 1983, Geologic well log analysis, Gulf Publishing Company.**
8. **Rider, M. H., 1986, The geological interpretation of well logs, Blackie Halsted Press.**
9. **Tittman, J., 1986, Geophysical well logging, Academic Press, Inc.**

بسمه تعالی

نام درس: **خواص فیزیکی و مکانیکی سنگها**
(Physical and mechanical properties of rocks)

تعداد واحد:۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با استحکام و گسیختگی سنگ، تنش اولیه و تغییر شکل سنگها، تضعیف امواج لرز ه ای، خواص الکتریکی سنگها و خواص مغناطیسی سنگها آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه

طبقه بندی سنگها، اندیس خواص فیزیکی سنگ، طبقه بندی سنگ برای مقاصد مهندسی.

فصل ۲- استحکام و گسیختگی سنگ

خواص الاستیک کانیهای تشکیل دهنده سنگ، خواص الاستیک سیال درون حفره، نتایج آزمایشگاهی سرعت انتشار امواج الاستیک در سنگها، تئوریهای مربوط به سرعت انتشار امواج الاستیک در سنگها، گسیختگی سنگ، روشهای آزمایشگاهی در تعیین استحکام سنگ، کاربرد منحنی تنش – واتنیدگی، گسیختگی موهر – کولمب، اثر آب، تنش مؤثر اصلی در گسیختگی، گسیختگی تجربی، اثر اندازه بر استحکام سنگهای ناهمسانگرد.

فصل ۳- تنش اولیه و تغییر شکل سنگها

تنش اولیه، روشهای اندازه گیری تنشهای درجا، موقعیت درزه ها، آزمایش شکاف، زیری شکاف، روابط بین جابجایی و استحکام، اثر فشار آب، ضرائب الاستیک، اندازه گیری خاصیت تغییر شکل بوسیله آزمایشهای استاتیک، اندازه گیری دینامیکی، سنگهای شکافدار، اثر زمان بر تغییر شکل سنگ.

فصل ۴- تضعیف امواج لرز ه ای

خواص غیرالاستیکی اجزای تشکیل دهنده سنگهای اشباع از گاز و مایع، نتایج آزمایشگاهی تضعیف امواج الاستیک در سنگها، تاثیر فرکانس بر تضعیف موج، تضعیف امواج در سنگهای آذرین و رسوبی متخلخل، روابط بین نسبتهای Q_p/Q_s و V_p/V_s ، ساز و کارهای تضعیف و تئوریها، خواص غیرکشسانی ماتریس سنگ، افت انرژی، سازوکارهای تضعیف در اثر سیال درون حفره ها و ترکها.

فصل ۵- خواص الکتریکی سنگها

تعاریف، هدایت الکتریکی، قطبش دی الکتریک، هدایت ویژه الکتریکی و Permittivity، خواص الکتریکی کانیها و سیال درون حفره ها، خواص الکتریکی سنگهای متراکم و خشک، خواص الکتریکی سنگهای اشباع از سیال متخلخل و درزه دار، بررسی معادلات آرشی، قطبش القایی، عوامل ایجاد کننده اثرهای IP، برخی نتایج آزمایشگاهی، Permittivity سنگها، ناهمسانگردی خواص الکتریکی.

فصل ۶- خواص مغناطیسی سنگها

خواص مغناطیسی کانیها، کانیهای دیامگنتیک، پارامگنتیک و فرومگنتیک، خواص مغناطیسی سیالات، خواص مغناطیسی سنگها، همبستگی بین Susceptibility، و میزان مواد مغناطیسی، تاثیر اندازه شکل و دان ه های سنگ، تاثیر ساختار سنگ بر Susceptibility، تاثیر دما و تنش بر خاصیت مغناطیسی، مغناطیس شدگی باقیمانده طبیعی (NRM) .

منابع درسی:

1. **Bourbie, T., Coussy, O., and Zinszner, B., 1987, Acoustics of porous media ,Gulf Publishing Company**
2. **Charlez, P. A., 1997, Rock mechanics-petroleum application volume 2, Editions Technip.**
3. **Goodman, R. E., 1989, Introduction to rock mechanics, John Wiley and Sons**
4. **Johnston, D. H., and Toksoz, M. N., 1981, Seismic wave attenuation, Society of Exploration Geophysicists, Geophysics Reprint Series No. 2.**
5. **Schon, J. H., 1996, Physical properties of rocks-fundamentals and principles of petrophysics, Handbook of Geophysical Exploration, Seismic exploration V. 1, Elsevier.**
6. **Tarling, T. H., and Hrouda, D. H., 1993, The magnetic anisotropy of rocks , Chapman and Hall.**
7. **White, J, E., 1983, Underground sound-application of seismic waves ,Elsevier.**
8. **Wittke, W., 1990, Rock mechanics-theory and applications with case histories, Springer-Verlag.**

بسمه تعالی

نام درس: **دیرینه زلزله‌شناسی پیشرفته**
(Advanced poleoseismology)

تعداد واحد:۳
نوع واحد: ۲ واحد نظری – ۱ واحد عملی
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با زمین‌شناسی لرزه‌ای، سنجش از دور و زلزله‌شناسی دیرین، سیستم جهانی موضع‌یابی، تعیین سن زلزله‌های دیرین و کاربرد زلزله‌شناسی دیرین در برآورد خطر زمینلرزه آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه و کلیات

تعریف و صرف زلزله‌شناسی دیرین، تاریخچه زلزله‌شناسی دیرین، رابطهٔ زلزله‌شناسی دیرین با مطالعات دیگر تکتونیک جدید، شواهد لرزه‌شناسی دیرین، طبقه‌بندی شواهد، تخمین بزرگی و دقت زمان رویداد زمینلرزه‌ای دیرین، کاربرد داده‌های زلزله‌شناسی دیرین.

فصل ۲- زمین‌شناسی لرزه‌ای

ریخت‌شناسی گسلهای منال، عوارض مرتبط با رژیم‌های مختلف تکتونیکی، روش‌های مختلف برای اندازه‌گیری فعالیت.

فصل ۳- سنجش از دور و زلزله‌شناسی دیرین

هدف و تعریف و توسعه سنجش از راه دور، اصول بنیادی، مزیت‌ها و محدودیت‌ها، رفتار با عکس‌ها و تصاویر، اصول و مبانی تعبیر و تفسیر، کاربردها، سنجش LIDAR، اینترفورمتری رادار و کاربرد آن در زلزله‌شناسی

فصل ۴- سیستم جهانی موضع‌یابی (GPS)

تاریخچه مفاهیم پایه، بخش کنترل، بخش فضا، بخش استفاده کننده، روش اندازه‌گیری، تعیین موقعیت سینماتیک بهره‌گیری از آن در تهیه توپوگرافی، کاربردهای سیستم جهانی موضع‌یابی در دیرینه زلزله‌شناسی

فصل ۵- تعیین سن زلزله‌های دیرین

تعیین سن بر اساس شواهد زمینریخت‌شناسی و چینه‌شناسی (تعیین سن نسبی)، استفاده از روش‌های سن‌یابی کربن، لومینسانس، کسموژنیک، ESR، اورانیوم و غیره در زلزله‌شناسی دیرین.

فصل ۶- کاربرد زلزله‌شناسی دیرین در برآورد خطر زمینلرزه

روش‌های تعیین بزرگی زلزله‌های دیرین، نرخ لغزش زلزله‌های دیرین و رویداد مجدد زمینلرزه‌ها، قطعه‌بندی (segmentation) گسله‌ها، مدلهای مختلف رویداد مجدد زمینلرزه‌ها، تشریح نمونه‌هایی از مطالعات انجام یافته در دنیا

واحد عملی

روش‌های شناسایی گسل ها به کمک عکس ها و تصاویر ماهواره ای و در منطقه، ترانشه زنی و انواع آن- روشهای مختلف حفر ترانشه زنی – نقشه برداری از دیوارها (logging) – نمونه برداری

منابع درسی:

1. **Keller, M., 1997, Active tectonics, Academic Press Inc.**
2. **Mc Calpin, J. P. (cd), 1996, Paleoseismology, Academic Press Inc.**

بسمه تعالی

نام درس: **زلزله‌شناسی جنبش شدید زمین**
(Strong motion seismology)

تعداد واحد:۳
نوع واحد: (۲ واحد نظری و ۱ واحد عملی)
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با مبانی پردازش شتابنگاشتها، مطالعه سرچشمه زمین‌لرزه بر اساس داده‌های جنبش شدید زمین، اثرهای ساختگاه و سرچشمه و مسیر بر جنبش شدید زمین، و دوام و انرژی جنبش شدید زمین آشنا می شوند.

فصل ۱: مقدمه

مروری بر زلزله‌شناسی مهندسی
تاریخچه دستگاههای شتابنگاری، شبکه‌های شتابتنگاری جهان، شبکه شتابنگاری ایران.

فصل ۲- مبانی پردازش شتابنگاشتها

شتابنگاشتهای آنالوگ، شتابنگاشتهای رقمی، تدوین کاتالوگ داده‌های شتابنگاری، آشنائی با داده‌های شتابنگاری ایران.

فصل ۳- مطالعه سرچشمه زمین‌لرزه بر اساس داده‌های جنبش شدید زمین

مطالعه اثر جهت یافتگی و بررسی جنبش شدید زمین در حوزه نزدیک گسلهای لرزه‌زا (رفتار غیر خطی)، مطالعه افت تنش در نواحی مختلف ایران و مقایسه با نتایج حاصله در نواحی دیگر.

فصل ۴- اثرهای ساختگاه و سرچشمه و مسیر بر جنبش شدید زمین

تغییرات مکانی – زمانی حرکات شدید زمین، مکانی – زمانی حرکات توانمند زمین طبقه‌بندی جنس خاک برای استفاده در مطالعهٔ خطر زمین‌لرزه و کاربرد آن در رابطه‌های کاهندگی، مطالعات انجام شده در ایران و مقایسه با مطالعات انجام شده در ژاپن، ایالات متحده و اروپا.

فصل ۵- دوام و انرژی جنبش شدید زمین

روشهای مختلف محاسبهٔ داوم و انرژی جنبش، مطالعهٔ دوام در نواحی مختلف ایران.

فصل ۶- مطالعه کاهندگی در ژرفای پوسته و در نزدیک سطح (K.Q)

بررسی کاهندگی در فرکانس بالا، مروری بر اثرهای سرچشمه و ساختگاه در کاهندگی‌های ژرفی و نزدیک سطح در پوسته، بررسی مقادیر مختلف K.Q و تغییرات آنها در نواحی مختلف ایران، مقایسه مقدار آنها با نواحی دیگر جهان.

فصل ۷- مدلهای کاهندگی جنبش شدید زمین

کاهندگی پارامترهای بیشینه کاهندگی مقدارهای طیفی، مدلهای کاهندگی در نواحی مختلف جهان، معرفی مدلهای کاهندگی برای نواحی مختلف لرزه زمین‌ساختی ایران.

فصل ۸- مطالعه طیف پاسخ جنبش شدید زمین

تهیه طیف طرح، روشهای مختلف ارائه طیف طرح، آشنایی با مطالعات انجام شده در ایران برای ارائه طیف طرح در نواحی مختلف، مقایسه طیف طرح ایران با طیفهای اروپائی، ژاپن و ایالات متحده.

واحد عملی

آشنایی با نرم‌افزارهای موجود برای مطالعهٔ جنبش شدید زمین، پردازش داده‌های شتابنگاری، محاسبات طیفی، مطالعهٔ مقدار خطر در پهنه‌های مختلف.

منابع درسی:

1. **Bard, P. Y., 1995, New methods for earthquakes resistance design, IIEES Pub.**
2. **Bullen, B., and Bolt, 1985, An introduction to the theory of seismology, Cambridge Press.**
3. **Hudson, H., 1980, Roading and interpretation of strong motion accelerograms, EERI Pub.**
4. **Kanai, K., 1982, Engineering seismology, Tokyo University Press.**
5. **Lay, T., and Wallace, T. C., 1985, Modern global seismology, Academic Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **زلزله‌شناسی مهندسی و تحلیل خطرپذیری**
(Engineering seismology and seismic risk)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری و عملی (۲ واحد نظری و ۱ واحد عملی)
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با مطالعات برنامه‌ریزی، جنبش شدید زمین و تضعیف، برآورد خطر زلزله، طیف پاسخ و طیف طرح و برآورد خطرپذیری زمینلرزه‌ای آشنا می شوند.

مقدمه: تعریف، موضوع و هدف زلزله‌شناسی مهندسی، خطر زمنیلرزه، خطرپذیری زمینلرزه‌ای، داده‌های زمینلرزه‌ای [داده‌های مهلرزه‌ای (Macroseismic) و دستگاهی]، پهنه‌بندی و ریز پهنه‌بندی.

فصل ۱- مطالعات برنامه‌ریزی

کاتالوگ زلزله‌ها (تاریخی و دستگاهی)، ارزیابی کاتالوگ زلزله‌ها (بررسی کامل بودن اطلاعات، عدم قطعیت، پارامترهای بزرگی، رومرکز و عمق کانونی زلزله‌ها)، برآورد پارامترهای زلزله‌خیزی (λ، β و M_{max}) ، دورهٔ بازگشت زلزله، ایالتهای لرزه زمینساختی، چشمه‌های لرزه‌ای و مدل نمودن آنها (نقطه‌ای، خطی، پهنه‌ای و حجمی)، تابع چگالی احتمال بزرگی زلزله f (M).

فصل ۲- جنبش شدید زمین و تضعیف

شتابنگاشت، تصحیح شتابنگاشت‌ها، پارامترهای شتاب و جنبش شدید زمین، تعریف تضعیف (attenuation)، پارامترهای مؤثر در تضعیف، مدلهای تضعیف، مدلهای تضعیف در ایران، مدلهای تضعیف در جهان.

فصل ۳- برآورد خطر زلزله

برآورد خطر زلزله به روش تجربی ـ آماری، برآورد خطر زلزله به روش قطعی (deterministic)، برآورد خطر به روش احتمالاتی (probabilistic)، منحنی خطر، دوره بازگشت، سطحهای خطر زمینلرزه (سطح بیشینه زمینلرزهٔ باورکردنی (MCE)، محتملترین زمینلرزه ممکن (MPE)، زمینلرزه مبنای طراحی (OBE یا DBE)، زمینلرزه قطع ایمن (SSE)، پهنه‌بندی زمینلرزه‌ای، ریز پهنه‌بندی زمینلرزه‌ای.

فصل ۴- طیف پاسخ و طیف طرح

تعریف طیف، طیف پاسخ، طیف طرح، روش تهیه طیف پاسخ و طیف طرح، طیف طرح با خطر ثابت (constant hazard spectra)، طیف طرح خطر یکنواخت (uniform hazard spectra)، طیف طرح مصنوعی، طیف طرح غیرالاستیک، کاربرد طیف طرح.

فصل ۵- برآورد خطرپذیری زمینلرزه‌ای

خطرپذیری، عوامل مؤثر در خطرپذیری، آسیب‌پذیری، ارزیابی آسیب‌پذیری، برآورد خطرپذیری، روشهای کنترل و کاهش خطرپذیری، خطرات ثانویه (سیلاب، زمین لغزش، آتش سوزی)، نقشه‌های خطرپذیری و کاربرد آنها.

واحد عملی

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمینلرزه (بر پایه روش‌های قطعی و احتمالاتی) و آشنایی با نرم‌افزارهای مورد نیاز، بازدید از نواحی مهلرزه‌ای مربوط به زمینلرزه‌های مخرب برای مشاهدهٔ اثرات زمینلرزه بر سازه‌ها و طبیعت.

منابع درسی:

1. **Bozorgnia, Y., and Bertero, V., (eds), 2004, Earthquake engineering, from engineering seismology to performance-based engineering, CRC Press.**
2. **Coburn, A., and Spence, R., 1992, Earthquake protection, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.**
3. **Hu, Y. X., Liu, S. C., and Dong, W., 1996, Earthquake engineering, E and FN Spon.**
4. **Reiter, L., 1990, Earthquake hazard analysis, Columbia University Press.**

بسمه تعالی

نام درس: **سیستم جهانی موضع یابی**
(Global positioning system (GPS))

تعداد واحد:۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با موقعیت های مشاهده پذیر، پردازش داده ها، فاکتورهای نرم افزار، نحوه استفاده و کاربرد روش های مختلف آن می شوند.

فصل ۱- نظر اجمالی GPS

مفاهیم پایه، بخش فضا، بخش کنترل، بخش استفاده کننده، سیستمهای مراجع (مقدمه، سیستم های مختصات، سیستم های زمانی)، مدارهای ماهواره (مقدمه، توصیف مدار، تعیین مدار، پخش مدار)، سیگنال ماهواره (ساختار سیگنال، پردازش سیگنال).

فصل ۲- موقعیت های مشاهده پذیر

بدست آوردن داده ها، ترکیب داده ها، تاثیرات جوی، تاثیرات مربوط به نسبیت، مسیرهای چند گانه، دور افت مرکزی فاز آنتن و تغییرات، ژئوئید، بیضوی چرخان، موقعیت بیضوی و برگردان مشاهدات، جو به اختصار، مولفه های انتشار امواج، اثرهای یون سپهری بر روی نقاط مشاهده پذیرGPS ، اثرهای ترپسفری بر روی نقاط مشاهده پذیرGPS ، مسیرهای چند گانه و مرکز فاز.

فصل ۳- اندازه گیری بوسیله GPS

مقدمه، برنامه ریزی یک اندازه گیری GPS، روش اندازه گیری، پردازش داده ها، گزارش اندازه گیری. مدل های ریاضی برای تعیین موقعیت؛ تعیین موقعیت نقطه، تعیین موقعیت نسبی.

فصل ۴- پردازش داده ها

پارامترهای وزن دار و شرایط بین پارامترها، تعدیل های کمینال و قیدی، تعدی لهای کمترین مربعات، تعدیل آشکار سازی بلاندر، ، پردازش داده، فیلتر کردن و هموار نمودن، تطبیق کردن مد لهای ریاضی تعدیل شبکه GPS، تعدیل دقت.

فصل ۵- تبدیل نتایج GPS

مقدمه، تبدیل های مختصات، تبدیلات همگونی، ترکیب داده های GPS و داده های زمینی، مفهوم نقطه ثابت (Fiducial Point).

فصل ۶- فاکتورهای نرم افزار

مقدمه، انتقال داده، پردازش داده، کنترل کیفیت، تطبیق شبکه، مدیریت پایگاه (اطلاعات، موارد بایگانی، قابلیتهای نرم افزار، فهرست رسیدگی برای فاکتورهای نرم افزار).

فصل ۷- کاربردهائی از GPS

استفاده کلی از GPS، نصب شبکه کنترل، قابلیت های بین سیستمی GPS، مفاهیم جدید کاربرد، ارتباط بین دقت و دسترسی، بهبود ارتباط جمعی ماهواره ها، اصلاحات سخت افزاری و نرم افزاری، نتایج، انواع GPS شامل تک فرکانسه و دو فرکانسه، تصحیحات تروپوسفر، استفاده GPS در ژئودینامیک و ژئودزی.

منابع درسی:

1. **Ackroyd, N., and Lorimer, R., 1990, Global navigation-a GPS user's guide, Loyd's of London.**
2. **Hofmann-Wellenhof, B., Lichtengger, H., and Collins, 1992, Global positioning system, Springer-Verlag.**
3. **Hehl, K., Hein, G. W., Landau, H., and Ertel, M., 1991, An integrated airborne navigation and gravity recovery system-verification of GPS-determined vertical disturbing acceleration accuracy, Springer.**
4. **ICD-Glonass, 1995, Global navigation satellite system interface control document, Coordinational Scientific Information Center of Russian Space Forces (KNITS VKS).**
5. **Leick, A., 1990, GPS satellite surveying, John Wiley and Sons Inc.**

نام درس: **کاربرد ژئوکرونولوژی کواترنری در ژئوفیزیک**
(Application of quaternary geochronology (QG) in geophysics)

تعداد واحد:۳
نوع واحد: نظری – عملی (۲ واحد نظری و ۱ واحد عملی)
پیشنیاز: ندارد

بسمه تعالی

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با اصول سن یابی، تجهیزات اصلی، کاربرد ژئوکورونولوژی کواترنری در زلزله شناسی همراه با تشریح نمونه هایی از مطالعات انجام شده در ایران و جهان، کاربرد ژئوکورونولوژی کواترنری در زلزله شناسی همراه با تشریح نمونه هایی از مطالعات انجام شده در ایران و جهان و رابطه دیرینه زلزله شناسی با اقلیم شناسی و باستان شناسی همراه با تشریح نمونه هایی از مطالعات انجام شده در ایران و جهان آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه : زلزله شناسی دیرین و نقش Q.G در آن

تعریف ژئوکورنولوژی کواترنری .انواع روش های Q.G و کلاسه بندی آنها روشهای سالانه، روش های ایزوتوپی، روش های رادیوژینک، روش های شیمیایی و زیست شناسی، روش های زمین ریخت شناسی، روش کوریلیشن، تخمین میزان اعتماد به نتایج حاصل از این روش ها، هدف و تاریخچهٔ سن یابی به روش لومینسانس، رابطهٔ سن یابی به روش لومینسانس با دیرینه زلزله شناسی، دیرینه هواشناسی و باستا ن شناسی.

فصل ۲- تاریخچه، اصول سن یابی، تجهیزات اصلی

۱- دندروکورونولوژی: (حلقه درختان)
۲ – ایزوتوبی: رادیو کربن، کسموژنیک، پتاسیم آرگن، آرگن آرگن، سری اورانیوم.
۳- رادیوژنیک: فیشن ترک، تومولومینسانس (لومنیسانس گرمایی) لومنیسانس تحریک شده با نور، لومنیسانس تحریک شده با مادون قرمز الکترون اسپین رزنانس

فصل ۳- کاربرد ژئوکورونولوژی کواترنری در زلزله شناسی همراه با تشریح نمونه هایی از مطالعات انجام شده در ایران و جهان

فصل ۴- کاربرد ژئوکورونولوژی کواترنری در اقلیم شناسی همراه با تشریح نمونه هایی از مطالعات انجام شده در ایران و جهان

فصل ۵- رابطه دیرینه زلزله شناسی با اقلیم شناسی و باستان شناسی همراه با تشریح نمونه هایی از مطالعات انجام شده در ایران و جهان

واحد عملی

آشنایی با آزمایشگاه لومینسانس و مسائل ایمنی(نور -اسید)، جداسازی نمونه ها ی نورخورده و نورنخورده، عملیات Sieving، و انتخاب سایز مناسب نمونه ها، ازبین بردن کربنات ها، ازبین بردن مواد عالی، کار با پلی تنگستیت جهت جداسازی مواد معدنی.

منابع درسی:

1. **Noller, J. S., Sowers, J. M., and Lettis, W. R., (eds), 2000, Quaternary geochronology; Methods and applications, American Geophysical Union, Reference Shelf Series, Vol. 4, 582 p.**
2. **Walker, M. J. C., 2005, Quaternary dating methods, John Wiley.**

بسمه تعالی

نام درس: **لرزه نگارها و شبکه های لرزه نگاری**
(Seismographs and seismological networks)

تعداد واحد:۳
نوع واحد: نظری – عملی (۲ واحد نظری و ۱ واحد عملی)
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با مبانی تئوری، ارزیابی عملی لرزه سنجها و ثباتها، طراحی شبکه ها و آرایه های لرزه نگاری و شتاب نگاری، و آرایه های لرزه نگاری آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه

تاریخچه ساخت و توسعه دستگاه های لرزه نگاری و شتاب نگاری، معرفی پارامترهای دینامیکی، فرکانسی و نوفه دستگاه ها، انواع لرزه سنج ها و بررسی گستره فرکانسی، دینامیکی نوفه، میرایی، تقویت آنها، بررسی لرز هسنج های تک مؤلفه ای قائم و افقی و سه مؤلفه ای همسان.

فصل ۲- مبانی تئوری

معادلات حرکت، نوسانگرهای مکانیکی و الکترومغناطیسی، تئوری لرزه سنج ها در حوزه زمان و حوزه فرکانس.

فصل ۳- ارزیابی عملی لرزه سنجها و ثباتها

روشهای کالیبراسیون، ضریب میرایی، ثابتهای دستگا ه ها، پاسخ سیستم های لرزه نگاری (دامنه و فاز -قطب و صفر) ، دینامیکی، انواع مختلف ثباتها :آنالوگ و دیجیتال، بزرگنمایی و رنج دینامیکی.

فصل ۴- طراحی شبکه ها و آرایه های لرزه نگاری و شتاب نگاری

انواع شبکه های لرزه نگاری، محلی، ناحیه ای و جهانی، طراحی بهینه شبکه های لرزه نگاری و شتابنگاری، ویژگیهای محل ساختگاه ایستگاه لرزه نگاری، روشهای مطالعه نوفه، اصول طراحی آرایه های لرزه نگاری.

فصل ۵- آرایه های لرزه نگاری

مثال هایی از آرایه های لرزه نگاری
روش بیم فرمینگ
بیم فرمینگ و پردازش آشکارسازی
محاسبه کاهندگی با استفاده از آرایه های لرزه نگاری
طراحی آرایه برای بدست آوردن بیشینه نسبت سیگنال به نویز

واحد عملی

آشنایی با لرزه نگارها و شبکه های لرزه نگاری، تعیین پارامترهای دستگاهی شامل پارامترهای trigger و ثبت، انتخاب فیلتر، نرخ نمونه برداری، بهره پردازش اولیه در ایستگاه سه مؤلفه ای، پردازش اولیه در ایستگاه آرایه، نحوه کار و پارامترهای شبکه برای تشکیل واقعه، پردازش اتوماتیک داده های شبکه، پردازش دستی، کالیبراسیون شبکه، کنترل کیفیت داده، تهیه بولتن و کنترل بولتن، ارتباطات و مدیریت داده و شبکه مدیریت عملیات لرزه نگاری.

منابع درسی:

1. **Aki, K., and Richads, P. G., 2002, Quantitative seismology, Freeman.**
2. **Scherbaum, F., 1996, Of poles and zeros, fundamentals of digital seismology, Springer.**

بسمه تعالی

نام درس: **مباحث ویژه**
(Special Topics)

تعداد واحد: ۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: به تشخیص استاد راهنما

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با مطالب مورد نیازو مرتبط با رساله دکتری خود که با نظر استاد راهنما مشخص خواهد شد آشنا می شوند.

بسمه تعالی

نام درس: **مدلسازی در زلزله‌شناسی**
(Earthquake modelling)

تعداد واحد:۳
نوع واحد: نظری
پیشنیاز: ندارد

هدف سرفصل: دانشجویان با گذراندن این درس با چشمه لرزه‌ای، انتشار امواج لرزه‌ای، تولید لرزه نگاشتهای مصنوعی، مساله وارونسازی در زلزله‌شناسی و مدلسازی شکل موج زمین لرزه و تعیین پارامترهای چشمه آشنا می شوند.

فصل ۱- مقدمه
اصول مدلسازی، انواع مدلسازی

فصل ۲- چشمه لرزه‌ای
نیروی متمرکز شده در محیط همگن، چشمه‌های نقطه‌ای Dipolar روابط Betti، Somigliann و Volterra، هندسه سطح گسل، چشمه‌های Dipolar در محیطهای همگن، توزیع تنش بر روی یک حفره کروی و چشمه‌های معادل آنها، تشعشع از چشمه متحرک محدود، تشعشع امواج کشسان به وسیله چشمه‌های حجمی.

فصل ۳- انتشار امواج لرزه‌ای
امواج تخت در محیط همگن و انعکاس و عبور در یک مرز تخت، انعکاس و شکست امواج کروی، مساله Lamb، امواج سطحی در یک محیط با ناهمگنی قائم، امواج حجمی در محیط با خواص وابسته به عمق، انتشار امواج لرزه‌ای در محیط با ناهمگنی جانبی، انتشار امواج لرزه‌ای در محیط ناهمسانگرد، انتشار امواج در محیط غیرالاستیک.

فصل ۴- تولید لرزه نگاشتهای مصنوعی
نظریه پرتو، روش پرتو تعمیم یافته، روش انعکاسی، روش WKBJ، روش عدد موج ناپیوسته، روش تمام موج.

فصل ۵- مساله وارونسازی در زلزله‌شناسی
وارونسازی زمان- سیر، فرمول Herglotz-Wiechert، وارونسازیی زمان سیر برای ساختار با لایه کم سرعت، مساله وارونسازی برای لرزه‌نگاشت بازتابی، برگردانی لرزه‌نگاشتهای بازتابی، فرمول وارونسازی برای حالت ناپیوسته، فرمول وارونسازی برای حالت پیوسته، مساله وارونسازی برای سیستم خطی شده، فضای داده و مدل، وارونسازی تعمیم یافته، خطا و تفکیک پذیری وارونسازی تعمیم یافته، وارونسازی maximum-likelihood، وارونسازی Stochastic روشهای Gilbert و Backus، محدودیت به علت غیرخطی بودن، خطاهای غیرگوسی.

فصل ۶- مدلسازی شکل موج زمین لرزه و تعیین پارامترهای چشمه

مدلسازی امواج پیکری، مدلسازی امواج سطحی، حل تانسور ممان، مدلسازی زمین‌لرزه‌های مرکب، مدلسازی داده‌های Strong-motion، مطالعات ناهمگنی، ناهمسانگردی و خواص غیر کشسان با روش مدلسازی شکل موج.

منابع درسی:

1. **Aki, A., and Richards, P. G., 2002, Quantitative seismology, Freeman.**
2. **Ben Menahem, A., Singh, S. J., 1981, Seismic waves and sources, Springer Verlag.**
3. **Cassinis, R., Nolet, G., and Panza, G., F., 1989, Digital seismology and fine modeling of the lithosphere, Plenum.**
4. **Doornbos, Dark, J., 1988, Seismological algorithms: computational methods and computer programs, Academic Press.**
5. **Kennett, B. L. N., 1983, Seismic wave propagation in stratified media, Cambridge University Press.**
6. **Kostrov, B. V., DAS, S., 1988, Principles of earthquake source mechanics, Cambridge University Press.**
7. **Tarantolla, A., 1987, Inverse problem theory, Elsevier.**