جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فنّاوری

برنامه درسی

(بازنگری شده)

دوره: دکتری

رشته: علوم زمین گرایش آبهای زیرزمینی

گروه : علوم پایه

مصوبه جلسه شماره ۹۲ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۱

کمیسیون برنامه‌ریزی آموزشی

بسم الله الرّحمن الرّحیم

عنوان برنامه: علوم زمین گرایش آبهای زیرزمینی

۱- برنامه درسی بازنگری شده دوره دکتری رشته علوم زمین گرایش آبهای زیرزمینی در جلسه شماره ۹۲ مورخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۱ کمیسیون برنامه ریزی آموزشی تصویب شد.

۲- برنامه درسی بازنگری شده دوره دکتری رشته علوم زمین گرایش آبهای زیرزمینی از تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۰۱ جایگزین برنامه درسی دوره دکتری رشته زمین شناسی – آب شناسی مصوب جلسه شماره ۲۵۵ مورخ ۱۳۷۲/۰۱/۲۲ شورای عالی برنامه ریزی می شود.

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

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

عبدالرحیم نوه‌ابراهیم

دبیر شورای عالی برنامه‌ریزی آموزشی

بازنگری

عنوان برنامه: آبهای زیرزمینی **مقطع:** دکتری تخصصی

سال تدوین برنامه قبلی: ۱۳۷۲/۰۱/۲۲ - مصوب دویست و پنجاه و پنجمین جلسه شورای عالی برنامه‌ریزی

ضرورت و هدف بازنگری:

بیش از ۵۰ درصدآب مصرفی کشور از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. آب زیرزمینی یکی از منابع راهبردی هر کشور است که در مواقع کم آبی به داد مردم و مدیران می‌رسد. عدم استفاده بهینه و کنترل شده از آن سرمایه‌گذاری و سلامت مردم را با مشکل مواجه می کند. در دو دهه اخیر، برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی کشور و پائین رفتن سطح تراز آن باعث خشک‌شدن و یا کاهش شدت جریان رودخانه‌ها به کمتر از یک پنجم سال های قبل شده است. بطوری که امروزه منابع آب زیرزمینی کشور بیشترین و مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در شرب، کشاورزی و صنعت را به خود اختصاص داده است. این وضعیت فشار مضاعفی را بر این منبع راهبردی وارد می‌کند.

بنابراین آشنایی با جنبه‌ها و زمینه‌های گوناگون علم آبهای زیرزمینی و نقش حیاتی آن در بسیاری از فعالیت‌های بشر، پژوهش و آموزش در این موضوع را تا عالی‌ترین سطح اجتناب ناپذیر می‌کند.

فصل اول

به نام خدا

برنامه دوره دکتری تخصصی آبهای زیرزمینی

مقدمه

آب زیرزمینی از منابع و ذخایر راهبردی هر کشور است. سرمایه‌گذاری و بهداشت و سلامت در کشورهای خشک و نیمه‌خشک بدون اطلاع از کمیت و کیفیت این منابع با ریسک بزرگی همراه است. برای درک مفاهیم و مسایل آب زیرزمینی علاوه بر شناخت دقیق از مبانی علوم زمین، آشنایی با فیزیک، شیمی و ریاضیات پیشرفته نیز اجتناب ناپذیر است. بنابراین بسیاری از مراکز معتبر دانشگاهی و علمی جهان در ایجاد و تقویت واحدهای آموزشی و پژوهشی آبهای زیرزمینی در عالی ترین سطح اقدام نموده اند

تعریف و اهداف

دوره دکتری آبهای زیرزمینی بالاترین مقطع تحصیلی در این رشته است که شامل موضوعات اصلی مانند جریان آب زیرزمینی در محیط متخلخل، آب‌زمین‌شیمی وآلودگی منابع آب زیرزمینی، مدل های پیشرفته آب زیرزمینی، آب‌زمین‌شناسی کارست و آشنایی با ایزوتوپ‌های مورد استفاده در مباحث آب زیرزمینی است.

هدف این رشته تربیت متخصصین و پژوهشگرانی است که با کسب مهارت های جدید فناوری روز جهانی بتوانند مشکلات منابع آب زیرزمینی کشور را سامان بخشند و به آموزش نیروهای تخصصی در دانشگاه‌ها مبادرت ورزند.

طول دوره و شکل نظام

شکل نظام به صورت ترمی- واحدی خواهد بود. هر واحد نظری معادل ۱۶ ساعت و هر واحد عملی معادل ۳۲ ساعت در طول یک نیمسال تحصیلی تدریس می‌شود.

طول دوره حداکثر ۵ سال است و به دو مرحله آموزشی و پژوهشی مستقل از هم تقسیم می‌شود و با دفاع از رساله پایان می‌پذیرد.

تعداد و نوع واحدها

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

الف) دروس الزامی ۸ واحد

ب) دروس اختیاری ۸ واحد

ج) رساله ۲۰ واحد

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

شرایط لازم برای اجرا

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

شرایط عمومی ورود دانشجویان به دوره دکتری آبهای زیرزمینی مطابق ضوابط و مقررات وزرات علوم، تحقیقات و فناوری می‌باشد.

فصل دوم

الف) جدول دروس تخصصی الزامی

کد	نام درس	تعداد واحد	ساعات		
			نظری	عملی	جمع
۱	ایزوتوپ‌ها در آب زیرزمینی	۲	۳۲	۰	۳۲
۲	مدل‌های آب زیرزمینی پیشرفته	۲	۳۲	۰	۳۲
۳	آلودگی آبهای زیرزمینی پیشرفته	۲	۳۲	۰	۳۲
۴	جریان در محیط‌های متخلخل	۲	۳۲	۰	۳۲
	مجموع	۸			

ب) جدول دروس تخصصی اختیاری*

کد	نام درس	تعداد واحد	ساعات		
			نظری	عملی	جمع
۱	زمین‌آمار کاربردی در آب‌زمین‌شناسی	۲	۳۲	۰	۳۲
۲	کارست سنگ‌های تبخیری	۲	۳۲	۰	۳۲
۳	آب‌زمین‌شناسی کارست پیشرفته	۲	۳۲	۰	۳۲
۴	مدل‌سازی انتقال آلاینده در محیط غیر اشباع	۲	۳۲	۰	۳۲
۵	آب‌زمین‌شیمی پیشرفته	۲	۳۲	۰	۳۲
۶	کاربرد GIS و RS در آبهای زیرزمینی	۲	۳۲	۰	۳۲
۷	آبهای معدنی و زمین‌گرمایی	۲	۳۲	۰	۳۲
۸	روش‌های فرا ابتکاری در آب‌زمین‌شناسی	۲	۳۲	۰	۳۲
۹	مدیریت منابع آبهای زیرزمینی پیشرفته	۲	۳۲	۰	۳۲
۱۰	هیدرولیک سنگهای سخت	۲	۳۲	۰	۳۲
۱۱	ریاضیات پیشرفته در آب‌زمین‌شناسی	۲	۳۲	۰	۳۲
۱۲	مهندسی آبهای زیرزمینی	۲	۳۲	۰	۳۲
	جمع	۲۴			

* دانشجو باید با تایید استاد راهنما و موافقت گروه آموزشی ۸ واحد دروس تخصصی اختیاری از جدول فوق را اخذ کند.

فصل سوم

الف) درس‌های تخصصی الزامی

عنوان درس به فارسی: **ایزوتوپ‌ها در آب زیرزمینی**	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
عنوان درس به انگلیسی: **Isotopes in Hydrogeology**	تعداد ساعت: ۳۲		الزامی	نظری*	
				عملی	
			اختیاری	نظری	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■				
	سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس:

آشنایی با کاربرد ایزوتوپهای پایدار و پرتوزا در تعیین منشا آبهای زیرزمینی و سن‌سنجی

سرفصل مطالب:

۱- مقدمه و تعاریف پایه

انواع ایزوتوپها و خواص شیمیایی آنها

جدایش ایزوتوپی و انواع آن شامل فیزیکی، شیمیایی و انتشاری

ایزوتوپهای محیطی

غنی شدگی ایزوتوپهای پایدار در شرایط تعادلی و غیر تعادلی (کینتیک)

استانداردها و روشهای تجزیه ایزوتوپی

۲- ردیابی ایزوتوپهای اکسیژن-۱۸ و دوتریم در چرخه آبشناسی

ترکیب ایزوتوپی آب اقیانوسها

خط جوی جهانی

تغییرات ایزوتوپی در فرایند بارش: فرایند ریلی، تبخیر ثانویه و سایر فرایندهای موثر

تغییرات ایزوتوپی بارش در مقیاس محلی و فرایندهای موثر شامل ارتفاع، تغییرات فصلی، تبخیر ثانویه

کاربرد ایزوتوپهای پایدار در آبهای سطحی: تبخیر، تفکیک مولفه‌های جریان

۳- ردیابی ایزوتوپهای اکسیژن-۱۸ و دوتریم در آب زیرزمینی

میرایی (attenuation) تغییرات فصلی ایزوتوپی در آب زیرزمینی

تغییرات عمودی ایزوتوپی در ستون خاک

فرایند تبخیر از آب سطحی و منطقه غیر اشباع و سطح ایستابی

تخمین نرخ تغذیه آب زیرزمینی

نقش فرایندهای طبیعی بر ترکیب ایزوتوپی آب زیرزمینی شامل تبخیر، انحلال تبخیریها، آمیختگی با آبهای گرمابی و شورابه‌های عمیق

تخمین منشا آب زیرزمینی با استفاده از ایزوتوپهای اکسیژن-۱۸ و دوتریم

۴- سن سنجی آبهای زیرزمینی

تقسیم بندی آبهای زیرزمینی از نظر سن

سن سنجی آبهای زیرزمینی مدرن شامل تریتیم، هلیم-۳، CFC، SF6

آشنایی با روشهای سن سنجی آبهای زیرزمینی نیمه مدرن شامل آرگون-۳۹ و سیلیسیم-۳۲

آشنایی با روشهای سن سنجی آبهای زیرزمینی قدیمی شامل کربن-۱۴ و کلر-۳۶

منابع:

- Clark, I.D. and Fritz, P., 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. CRC press.
- Pradeep, K.A., Joel, R.K. and Klaus, F.O.F., 2005. Isotopes in the Water Cycle: Past, Present and Future of a Developing Science.
- Kazemi, G.A., Lehr, J.H. and Perrochet, P., 2006. Groundwater age. John Wiley & Sons.

عنوان درس به فارسی: **مدل‌های آب زیرزمینی پیشرفته** عنوان درس به انگلیسی: **Advanced Groundwater Models**	تعداد واحد: ۲ تعداد ساعت: ۳۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری*	
				عملی	
			اختیاری	نظری	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی با انواع مدل‌ها و مدل‌سازی در محیط‌های مختلف

سرفصل مطالب:

- مدل‌سازی محیط غیر اشباع
- مدل‌سازی چند فازی
- مدل‌سازی محیط درز و شکافدار
- مدل‌سازی جریان سیالات وابسته به چگالی
- تخمین پارامترها
- مدل‌سازی تصادفی
- شبه‌سازی با مونت کارلو
- تحلیل خطر در مدل‌سازی

منابع:

- Anderson M.P. and Woessner W.W. 1992 Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport, Publisher: Academic Press.
- Ne-Zheng Sun, 1994, Inverse Problems in Groundwater Modeling (Theory and Applications of Transport in Porous Media).
- Pinder, G.F. and Gray, W.G. 1977 Finite Element Simulation in Surface and Subsurface Hydrology, Publisher: Academic Press.

- Wang, H.F. and Anderson, M.P. 2005, Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods, Publisher, Academic Press.

عنوان درس به فارسی: **آلودگی آبهای زیرزمینی پیشرفته**	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
عنوان درس به انگلیسی: **Advanced groundwater contamination**	تعداد ساعت: ۳۲		الزامی	نظری*	
				عملی	
			اختیاری	نظری	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■					
سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی دانشجویان با منابع آلاینده آبهای زیرزمینی، سازوکار و فرایند های انتقال، معادلات حاکم و چگونگی پاکسازی آبهای زیرزمینی از آلودگیهاست.

سرفصل مطالب:

- منابع آلاینده آبهای زیرزمینی
  - شهری و خانگی
  - کشاورزی
  - صنعتی
- سازوکار و فرایندهای انتقال آلاینده‌های آلی (هیدروکربنی) و غیرآلی در آب زیرزمینی
  - منطقه اشباع
  - منطقه غیراشباع
- معادلات حاکم بر انتقال آلاینده‌ها، منبع نقطه‌ای، منبع خطی و منبع گسترده
- حل تحلیلی معادلات حاکم
- مدلهای تحلیلی یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی
- حل عددی معادلات حاکم و مدلهای عددی (مدلسازی مستقیم و غیر مستقیم)
- انتقال آلاینده‌ها در آبخوانهای سازند سخت
- پایش آلودگی در آبهای زیرزمینی

- روشهای پاکسازی و مهار هاله آلودگی
- روش های پاکسازی زیستی برجا در منطقه اشباع و غیراشباع
- روش پاکسازی شیمیایی
- روش پمپاژ- و- تصفیه
- مهار هیدرولیکی و فیزیکی هاله آلودگی
- مطالعات موردی در مقیاس آزمایشگاهی و صحرایی
- بهینه سازی روشهای پاکسازی با تحلیل و مدل‌سازی زون گیرش
  - مدلهای تحلیلی زون گیرش
- مدلهای عددی زون گیرش

منابع:

- Fetter CW (1999), Contaminant Hydrogeology, 2nd ed., Waveland Press, INC EPA Publications on Groundwater pollution and Remediation.

عنوان درس به فارسی: **جریان در محیط‌های متخلخل** عنوان درس به انگلیسی: **Flow Through Porous Media**	تعداد واحد: ۲ تعداد ساعت: ۳۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری*	
				عملی	
			اختیاری	نظری	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

بحث در مورد خواص محیط متخلخل، جریان در زونهای اشباع و غیر اشباع، روش های حل معادلات حاکم می‌باشد.

سرفصل مطالب:

- خواص محیط متخلخل
- دینامیک جریان در زون های اشباع و غیر اشباع
- معادلات حاکم بر جریان در زون های اشباع و غیر اشباع
- سازوکارهای انتقال جرم
- معادلات حاکم بر سازوکارهای انتقال جرم
- روش های حل معادلات حاکم بر سازوکارهای انتقال جرم
- سیالات امتزاج ناپذیر در محیط متخلخل
- جریان پایدار سیالات امتزاج ناپذیر
- جریان ناپایدار سیالات امتزاج ناپذیر
- سازوکارهای جریان رطوبتی خاک تحت گرادیان گرمایی
- مدل تشابه جریان

منابع:

- Corey T., 2008. Mechanics of Immiscible Fluids in Porous Media
- Bear J., 1988. Dynamics of Fluids in Porous Media
- Lu, M., Likos, W. 2004. Unsaturated soil mechanics, John Wiley.
- Miyazaki, T. 2006. Water flow in soil. Taylor and Francis Group.

ب) درس‌های تخصصی اختیاری

عنوان درس به فارسی: **زمین‌آمار کاربردی در آب‌زمین‌شناسی**	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
	تعداد ساعت: ۳۲		الزامی	نظری	
				عملی	
عنوان درس به انگلیسی: **Applied Geostatistics in Hydrogeology**			اختیاری	نظری*	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■				
	سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس:

آشنایی با مفاهیم و نظریه روشهای زمین‌آمار و بکارگیری روشهای زمین آمار در حل مسائل آب‌زمین‌شناسی

سرفصل مطالب:

۱- مقدمه

a: سابقه تاریخی و گذشته زمین آمار

b: مقایسه آمار و زمین آمار

c: مفهوم متغیر و تابع تصادفی مکانی

d: تابع تصادفی چند متغیره

۲- توصیف تک متغیره

a: هیستوگرام و جداول فراوانی

b: معیارهای پراکندگی

c: معیار شکل

۳- توصیف دو متغیره

a: ترسیم متقاطع متغیرها

b: همبستگی و رگرسیون خطی

c: رگرسیون چند متغیره

۴- توصیف پیوستگی مکانی و زمانی متغیرها

a: نقشه های کانتوری

b: نقشه های نمادی

c: توابع واریانس، کوواریانس، همبستگی و h-scatter plot

۵- واریوگرام

a: کوواریانس و شبه واریوگرام

b: اعتبار واریوگرام

c: مدل کردن واریوگرام

d: معیارهای برازش مدل به واریوگرام

e:تفسیر پارامترهای واریوگرام شامل Anisotropy, periodicity, rang, sill, nugget effect

۶- کریجینگ و کوکریجینگ

a: معادله کلی تخمین در کریجینگ

b: کریجینگ ساده Simple kriging

c: کریجینگ معمولی Ordinary kriging

d: کریجینگ یونیورسال Universal kriging

e: کریجینگ بلوکی Block kriging

f: کوکریجینگ Cokriging

g: ارزیابی روشهای کریجینگ

i. Cross validation

ii. Jack knifing.

۷- شبیه‌سازی مکانی متغیرها

a: اصول شبیه‌سازی استوک استیک

b: انواع مدلهای شبیه‌سازی و الگوریتم آنها

i: Sequenional Gaussian model

ii. Indicator Gaussian model

iii. Simulated annealing

iv. Boolean Model

۸- زمین‌آمار و مدلهای آب زیرزمینی

a: بکار گیری روشهای زمین آمار برای ارتقا دقت مدل‌سازی سامانه آب زیرزمینی

b: اجرای مدل معکوس (Inverse modeling) به کمک روشهای زمین‌آمار

۹- بررسی مکانی متغیرهای آب‌زمین‌شناختی

a: تعیین محل ایستگاه جدید اندازه‌گیری متغیرهای آب‌زمین‌شناختی

b: تعیین آرایش مکانی بهینه برای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری متغیرهای آب‌زمین‌شناختی

c: شبیه‌سازی تغییرات مکانی متغیرهای آب‌زمین‌شناختی

d: برآورد متغیرهای آب‌زمین‌شناختی به کمک متغیرهای کمکی (Co-kriging)

۱۰-بررسی تغییر مقیاس در متغیرهای آب‌زمین‌شناختی

a: اثر مقیاس اندازه گیری بر مقادیر پارامترهای آب‌زمین‌شناختی

b: تعدیل مقادیر اندازه گیری شده در مقیاس های متفاوت

۱۱-آشنایی با نرم افزارهای مرتبط با زمین‌آمار بویژه GSLIB و انجام محاسبات و برآوردها با آن

منابع:

- Kitanidis, P. K., 1997, Introduction to geostatistics: Application in hydrogeology, Cambridge University press.
- Chiles, J. P., and P. Delfiner,m 1999, Geostatistics: Modeling spatial uncertainty, New Yourk, John Wiley, 695p
- Deutsch, C. V., and A. G. Journel, 1998, GSLIB: Geostatistical software library and users guide, 2d ed: New Yourk, Oxford Univrsity Press, 369 p.
- Lsaaks, E. H., and R. M. Srivastava, 1989, An introduction to applied geostatistics: New York, Oxford University press, 561 p.
- Goovaerts, P., 1997, Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford University Press, New York, 483 p.
- Websterm R., Oliver, M., 2001, Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons, LTD. P. 271.

عنوان درس به فارسی: **کارست سنگ‌های تبخیری**	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
عنوان درس به انگلیسی: **Karst of evaporites**	تعداد ساعت: ۳۲		الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■				
	سفر عملی ■ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس:

آشنایی با آب‌زمین‌شناسی و توسعه کارست در سازندهای تبخیری

سرفصل مطالب:

۱- سازندهای تبخیری

- انواع کانیهای و سنگهای تبخیری و ویژگی‌ها آنها
- فرایند رسوبگذاری رسوبات تبخیری (تکامل شورابه‌ها)
- پراکندگی سنگهای تبخیری در دنیا
- پراکندگی سنگهای تبخیری در ایران

۲- کارست در سنگهای تبخیری

- شکلهای کارستی: کارن، سینک هُل (آب‌فروچاله)، شافت، Uvala depressions، Poljie-like depressions
- عوامل کنترل کننده جهت جریان در سازندهای تبخیری
- جریان آب زیرزمینی در سازندهای تبخیری
- سازوکار تشکیل غار در سازندهای تبخیری گچ و نمک

۳- آب‌شیمی سنگهای تبخیری

- فرایند انحلال سنگهای تبخیری: ویژگیهای شیمیایی و کینتیکی سنگهای تبخیری، نرخ انحلال، ثابت تعادل، شاخص اشباع
- تشخیص منشاء آبهای شور با منشاء انحلال تبخیریها از سایر منابع شوری
  i. تکنیکهای آب‌شیمی
  ii. تکنیکهای ایزوتوپی

۴- اثر گنبد نمکی و سازند های تبخیری بر روی کیفیت آبخوانهای آبرفتی و کارستی مجاور و روشهای جلوگیری از آن.

۵-بازدید صحرایی از توسعه کارست در سازندهای تبخیری و گنبدهای نمکی

منابع:

- Klimchouk, A. V., D.C. Ford, A.N., Palmer., W. Dreybrodt, 2000, Speleogenesis; Evolution of Karst Aquifers, National Speleological Society of America, Huntsville, AL.
- Warren, J.K., 2006, Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons, Springer.
- Ford, D., Williams, P., 2007, Karst Hydrogeology and Geomorphology, John Wiley & Sons, Ltd.
- Huggett, R. J., 2007, Fundamentals of Geomorphology, Routledge, New York.

عنوان درس به فارسی: **آب‌زمین‌شناسی کارست پیشرفته** عنوان درس به انگلیسی: **Advanced Karst hydrogeology**	تعداد واحد: ۲ تعداد ساعت: ۳۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی با زمین‌شناسی و توسعه کارست و غارزایی، نحوه تشکیل و تکامل اپی‌کارست و نقش آن در سامانه‌های جریان آب زیرزمینی

سرفصل مطالب:

۱- گذشته زمین‌شناختی و تکامل انواع مختلف غارزایی و توسعه کارست
   a. انواع مختلف کارست در مقیاس زمین شناختی
   b. نقش گذشته زمین‌شناختی در تکامل غارها
   c. غارهای توسعه‌یافته در شرایط آب‌زمین‌شناختی مختلف
۲- دیرینه‌کارست و نقش آن در غارزایی و توسعه کارست
   a. تعریف و مفهوم دیرینه‌کارست
   b. شواهد غارشناسی دیرینه‌کارست
   c. اهمیت دیرینه‌کارست در مطالعات آب‌زمین‌شناسی کارست
۳- نقش میعان (condensation) در غارزایی و آب‌زمین‌شناسی کارست
   a. مفهوم غارزایی در شرایط میعان
   b. مشخصه های اصلی غارهای توسعه‌یافته
   c. محاسبه حجم آب حاصل از میعان
۴- نحوه تشکیل و تکامل اپی‌کارست (Epikarst) و نقش آن در غارزدایی و توسعه کارست در منطقه غیراشباع

a. سازوکار ایجاد شافت‌های قایم
b. سازوکار دولین‌ها و آب‌فروچاله ها و نقش آنها در غارزایی
c. انواع غارزایی در محیط غیر اشباع

۵- غارزایی و توسعه کارست در شرایط آب‌زمین‌شناختی آبخوانهای ساحلی و جزایر
a. بررسی شرایط هیدرولیکی و عوامل غارزایی
b. شناسایی شواهد غارزایی و توسعه کارست
c. بررسی مشخصه‌های اصلی غارهای ایجاد شده
d. مثال موردی از غارهای کشف شده در این شرایط

۶- غارزایی و توسعه کارست در شرایط آب‌زمین‌شناختی آبخوانهای آرتزین و محبوس
a. بررسی شرایط هیدرولیکی و عوامل غارزایی
b. شناسایی شواهد غارزایی و توسعه کارست
c. بررسی مشخصه های اصلی غارهای ایجاد شده
d. مثال موردی از غارهای کشف شده در این شرایط

۷- غارزایی و توسعه کارست در شرایط آب‌زمین‌شناختی آبخوانهای آزاد و سطحی
a. بررسی شرایط هیدرولیکی و عوامل غارزایی
b. شناسایی شواهد غارزایی و توسعه کارست
c. بررسی مشخصه های اصلی غارهای ایجاد شده
d. مثال موردی از غارهای کشف شده در این شرایط

۸- غارزایی و توسعه کارست در شرایط آب‌زمین‌شناختی آبخوانهای گرمابی و ژرف‌زاد
a. بررسی شرایط هیدرولیکی و عوامل غارزایی
b. شناسایی شواهد غارزایی و توسعه کارست
c. بررسی مشخصه های اصلی غارهای ایجاد شده
d. مثال موردی از غارهای کشف شده در این شرایط

۹- نقش غارزایی و توسعه کارست در افزایش تخلخل و نفوذپذیری و تغییر نوع جریان آب زیرزمینی

منابع:

- Klimchouk, A., Ford, D., Palmer, A., Dreybrodt, W. (Eds.), 2000. Speleogenesis: Evolution of karst aquifers. Huntsville: Natl. Speleol. Soc.,
- Ford, D.C., Williams, P.W., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley and Sons, Chichester, Chapter, 7.

- Klimchouk, A. B., 2007. Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. Special Paper no. 1, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, NM, 106 pp.

عنوان درس به فارسی: **مدل‌سازی انتقال آلاینده در محیط غیر اشباع**	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
	تعداد ساعت: ۳۲		الزامی	نظری	
				عملی	
عنوان درس به انگلیسی: **Modeling contaminant transport in the unsaturated zone**			اختیاری	نظری*	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی با معادلات و مدل‌های انتقال مواد در منطقه غیراشباع

سرفصل مطالب:

۱- مقدمه جریان و انتقال درخاک های غیراشباع

الف- فاز جامد خاک

ب- منحنی محتوی رطوبتی خاک

ج- اندازه گیری رطوبت خاک

د- تابع ظرفیت هیدرولیک برای معادله ونگنوختن

ه- برنامه RETC

۲- جریان گرما در خاک

الف-راه حل تحلیلی انتقال گرما

ب- راه حل عددی انتقال گرما

ج- مدل سازی جریان گرما در خاک با HYDRUS-1D

۳- جریان ناپایدار در خاک های غیراشباع

الف-معادله دارسی باکینگهام

ب- راه حل عددی با معادله ریچاردز

۴- انتقال املاح در خاک

الف- مدل‌سازی با نرم افزارهایSTANMOD و CXTFIT

ب- مدل‌سازی انتقال املاح در خاک با HYDRUS

ج- معادلات غیر خطی جذب و انتقال

د-انتقال گونه نیتروژن

ه-مدل بهینه‌سازی گونه نیتروژن

و-انتقال املاح در خاک در ناحیه موئینگی

ز- راه حل معکوس و بهینه سازی پارامترها

منابع:

- Radcliffe, D.E., Simunek, J., 2010, Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications, Taylor & Francis
- Stephen, J.C, Everett, L.G., 1995, Handbook of Vadose Zone Characterization & Monitoring - CRC Press , Page 286
- Batu, V., 2005, Applied Flow and Solute Transport Modeling in Aquifers: Fundamental

عنوان درس به فارسی: **آب‌زمین‌شیمی پیشرفته** عنوان درس به انگلیسی: **Advanced hydrogeochemistry**	تعداد واحد: ۳ تعداد ساعت: ۴۸	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی با مفاهیم زمین‌شیمی، تعادل‌های شیمیایی و فرایندهای سطحی، حمل جرمی و مدل‌های آب‌شیمیایی

سرفصل مطالب:

الف) مقدمه‌ای بر آب‌زمین‌شیمی
- مفهوم تعادل در واکنش‌های آب‌زمین‌شیمی
- ترمودینامیک و تعادل آب‌شیمی (پتانسیل شیمیایی، اکتیویته، ثابت تعادلی، قدرت یونی، نمایه اشباع)
- واحدهای سنجش و پارامترهای آب‌شیمی و آلودگی با تاکید بر استاندارد آب شرب
- روش‌های نمونه‌برداری و خطاهای مربوط به آن
- فرآیندها و عوامل موثر بر آب‌زمین‌شیمی آب‌های زیرزمینی

ب) انتقال آلودگی آب‌های زیرزمینی
- مفاهیم فرآیندهای همرفتی، انتشار، پخشیدگی و تاخیر(Retardation)
- معادله حاکم بر انتقال آلودگی آب های زیرزمینی
- مقدمه ای بر روش های حل معادله آلودگی شامل حل تحلیلی و عددی

ج) آب‌زمین‌شیمی کربنات‌ها
- کانیهای کربناتی
- تعادل کربناتهای حل‌شده با تشریح سامانه اسیدکربنیک و تعیین اجزا کربناتی در سامانه آب زیرزمینی

- منشا CO_2 با تاکید بر CO_2 خاک
- قابلیت انحلال کلسیت و فشار جزیی CO_2 در سامانه‌های باز و بسته
- بررسی تاثیر فرآیندهای دولومیت‌زدایی، یون مشترک، آمیختگی، و شوری بر انحلال کربنات‌ها

د) تبادل یونی
- تعریف تبادل یونی از دیدگاه آب‌زمین‌شیمی
- تبادل کاتیونی در فصل مشترک آب شور / شیرین
- جاذب های رسی در خاک و آب‌زیرزمینی
- تبادل کاتیونی شامل ضرایب تبادل، محاسبه ترکیب مبادله کننده ها، تعیین کاتیون های قابل تبادل

ه) هوازدگی سیلیکاتها
- فرآیندهای هوازدگی
- پایداری محصولات هوازدگی در نمودارهایactivity-pH
- انحلال ناسازگار سیلیکاتهای اولیه
- روش های موازنه جرمی هوازدگی
- آب زیرزمینی اسیدی
- ترکیب آب زیرزمینی در انواع سنگ‌های سیلیکاتی و واکنش‌های آب / سنگ و فرآیندهای اکسایش / کاهش
- اهمیت سنجش‌های کاهشی
- واکنش‌های کاهشی و مفهومpe
- نمودارهای اکسایش / کاهش با تبیین پایداری کانی های مختلف در نمودارهایpH-pe
- توالی واکنش‌های اکسایش / کاهش و زون‌بندی
- اکسایش پیریت، کاهش نیترات، کاهش سولفات‌ها، کاهش آهن و منشا آهن در آبهای زیرزمینی

ز) مدل‌سازی آب‌زمین‌شیمی
- انواع مدل‌های آب‌زمین‌شیمی شامل مدل های معکوس و پیشرو
- نیازهای مدل‌سازی آب‌زمین‌شیمی

استفاده از مدل PHREEQC در محاسبات نمایه‌های اشباع، مدل سازی معکوس، آمیختگی، تبخیر، انحلال کربناتی و سیلیکاتها، جذب و تبادل یونی

منابع:

- Appelo, C.A.J., Postma, D., 2005, Geochemistry, Groundwater and pollution, A.A. Balkema Publisher, pp. 649.
- Langmuir, D., 1997, Aqueous environmental geochemistry, Prentice-Hall, pp.600.

- Stumm, W., Morgan, J.J., 1996, Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters, 3rd edn. New York, John Wiley & Sons, 1022 pp.
- Zhu, C., Anderson, G., 2002, Environmental Applications of Geochemical Modeling, Cambridge University Press, pp. 299.
- Parkhurst, D.L., Appelo, A.A.J., 1999, User's guide to phreeqc (version 2) – A computer program for speciation, batch-reaction, one dimensional transport, and inverse geochemical modeling. U.S. Geol. Survey, Water-resource Invest.

عنوان درس به فارسی: **کاربرد GIS و RS در آبهای زیرزمینی**	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
عنوان درس به انگلیسی: **Using GIS and RS in Groundwater**	تعداد ساعت: ۳۲		الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■				
	سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس:

آشنایی با مفاهیم GIS و RS، فنون سنجش از دور کاربرد GIS و RS در آبهای زیرزمینی

سرفصل مطالب:

۱- تعریف علم و سامانه اطلاعات جغرافیایی Geographic Information Science/ System (GIS)

- مشخصات GIS (جمع آوری و مدیریت داده‌ها، پردازش و تحلیل اطلاعات فضائی)
- موارد استفاده از GIS (برنامه‌ریزی کاربری اراضی، زمین شناسی، مدیریت منابع آب)
- مدلهای مختلف حل مسائل مکانی (مدل هم‌پوشانی وزن داده شده، مدلهای فازی)

۲- فنون سنجش از دور

- مبانی سنجش از دور با تاکید بر برهمکنش تابش الکترو مغناطیسی و اشکال مختلف سطح زمین از قبیل: پهنه های آبی، پوشش گیاهی، پوشش خاکی و سنگی، خاک مرطوب و خشک)

۳- کاربرد GIS و RS در تهیه نقشه های مختلف با توجه به عوامل مؤثر در پدیده مورد مطالعه

- وزن دهی به عوامل مؤثر و تعیین صحت نقشه های نهائی شامل:
- نفوذپذیری و تغذیه منابع آب زیرزمینی
- آسیب پذیری کیفیت آب سفره‌های زیرزمینی
- تولید رواناب در حوضه‌ها
- رسوب‌خیزی حوضه‌ها و کاربرد آن در مسائل مدیریت حوضه

- آسیب‌پذیری حوضه‌های کارستی و رانش زمین

(هر دانشجو موظف به تهیه یک پروژه و نقشه های مربوطه در رابطه با کاربرد آن در منابع آب در یک آبخوان و یا حوضه آبخیز می‌باشد).

منابع:

- Getachew, A., 2010, GIS and Remote Sensing for Groundwater. VDM Verlag Dr. Müller. 104p.
- Nooruddin, S., Rukhsana., Sarkar, H., 2013, Groundwater Modeling: RS & GIS Perspective: Groundwater Zone Prediction. LAP LAMBERT Academic Publishing. 84p.

عنوان درس به فارسی: **آبهای معدنی و زمین-گرمایی** عنوان درس به انگلیسی: **Mineral and geothermal waters**	تعداد واحد: ۲ تعداد ساعت: ۳۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی با آب‌زمین‌شناسی مناطق با آبهای معدنی و زمین‌گرمایی، انتقال جرم و گرما و استفاده از داده‌های آب-زمین‌شیمیایی در اکتشافات زمین‌گرمایی و مهندسی مخزن

سرفصل مطالب:

۱- سامانه‌های زمین‌گرمایی، تعاریف و تقسیم بندی‌ها

- بررسی‌های زمین‌فیزیکی و زمین‌شیمیایی سامانه‌های زمین‌گرمایی
- انتقال و جریان منطقه‌ای گرما
- ناهنجاریهای زمین‌گرمایی و خصوصیات زمین‌ساختی آنها

۲- انتقال گرما و تغییر جرمی در سامانه‌های زمین‌گرمایی

- مدل ریاضی سامانه‌های زمین‌گرمایی
- چگونگی انتقال جرم و گرما
- مدل های مخازن زمین‌گرمایی
- مثالهایی از مدل‌های پیشین سامانه‌های زمین‌گرمایی در جهان

۳- استفاده از داده‌های آب‌زمین‌شیمیایی در اکتشاف زمین‌گرمایی و مهندسی مخزن

- واکنشهای گرمابی
- تخمین دمای مخزن
- سامانه چرخش آب
- آمیختگی آب گرم و سرد در زیر زمین
- مقایسه سامانه‌های آب گرم – بخار غالب
- مقایسه آبهای گرم حاصل از چشمه ها و چاهها
- استفاده از داده‌های آب‌زمین‌شیمیایی در مهندسی مخزن

۴- مطالعات موردی و تاریخی

منابع:

- Dickson, M.H., Fanelli, M., 1995, Geothermal Energy, Jone Wiley and Sons.
- Elder J. 1981. Geothermal Systems, Academic Press.
- Gupta, H., Roy, S., 2007, Geotermal Energy: An alternative resource for the 21st century, Elsevier.
- Rybach, L., Muffler, L.J.P., 1981, Geothermal Systems: Principles and Case Histories, Jone Wiley and Sons.

عنوان درس به فارسی: **روش‌های فرا ابتکاری در آب‌زمین‌شناسی**	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
عنوان درس به انگلیسی: **Soft Computing in Hydrogeology**	تعداد ساعت: ۳۲		الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■					
سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی با روشهای فرا ابتکاری در آبهای زیرزمینی، نرم افزار متلب، روش های بهینه‌سازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی درآبهای زیرزمینی

سرفصل مطالب:

۱-آشنایی با نرم افزار متلب

۲-روش های بهینه سازی

- الگوریتم شبیه سازی تبریدی(Simulated Annealing)
- الگوریتم جستجوی ممنوع(Tabu Search)
- الگوریتم ژنتیک(Genetic Algorithm)
- الگوریتم کلونی مورچگان(Ant Colony)
- الگوریتم انبوه ذرات (Particle Swarm)
- الگوریتم رقابت استعماری(Imperialist Competition Algorithm)

۳- شبکه های عصبی مصنوعی

۴- منطق فازی درآبهای زیرزمینی

منابع:

- Araghinejad Shahab, 2013, Data-Driven Modeling: Using MATLAB® in Water Resources and Environmental, Springer Science & Business Media, 292 pp.
- Robert, D.V., Klir, G. J., 2012, Fuzzy Logic in Geology, Academic Press, 347 pp.
- Zekai, S., 2009, Fuzzy Logic and Hydrological Modeling, CRC Press, 348 pp.
- Dorigo, M., Stützle, T., 2004, Ant Colony Optimization, MIT Press, Cambridge, MA.
- Eiben, A.E., Smith, J.E., 2003, Introduction to Evolutionary Computing, Springer.
- Katsifarakis K.L., 2012, Hydrology, Hydraulics and Water Resources Management: A Heuristic Optimization Approach, 174 pp.
- Pai, S., Vijayalakshmi Rajasekaran, G.A., 2003, Neural Networks, Fuzzy Logic, and Genetic Algorithms: Synthesis and Applications. PHI Publication; 1st edition
- Talbi, El-Ghazali, 2009, Metaheuristics: From Design to Implementation, John Wiley and sons 500 pp.
- Tayfur, G., 2014, Soft Computing in Water Resources Engineering: Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic and Genetic Algorithms, 288 pp.

عنوان درس به فارسی: **مدیریت منابع آبهای زیرزمینی پیشرفته** عنوان درس به انگلیسی: **Advanced groundwater management**	تعداد واحد: ۲ تعداد ساعت: ۳۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی با اقتصاد مهندسی در آبهای زیرزمینی، برنامه ریزی اقتصادی توسط اهداف پروژه‌ها، فنون ترسیمی بهینه‌سازی و مدل‌های مدیریت آبهای زیرزمینی

سرفصل مطالب:

بخش اول- اقتصاد مهندسی

اصول اقتصاد مهندسی و ریاضیات تحلیل اقتصادی

مقدمه‌ای بر اقتصاد آبهای زیرزمینی، آب‌های زیرزمینی در بوم‌سامانه و اقتصاد

بخش دوم- اقتصاد خرد و تخصیص کارآمد منابع آب زیرزمینی

نظریه قیمت و تخصیص منابع، شرایط بهینه‌شدن پروژه های منابع آب زیرزمینی، اقتصاد رفاه اجتماعی در ارتباط با پروژه های منابع آب زیرزمینی، نرخ تنزیل و ارزش آب‌های زیرزمینی در بازار

بخش سوم برنامه ریزی در شرایط واقعی

چارچوب سازمانی، تحلیل منافع به هزینه‌ها در پروژه‌های منابع آب زیرزمینی، دینامیک پروژه‌های منابع آب زیرزمینی

بخش چهارم-برنامه ریزی اقتصادی توسط اهداف پروژها

پروژه‌های زهکشی، پروژه‌های تامین آب، پروژه‌های برق آبی، پروژه‌های ناوبری، کنترل کیفیت آب، پروژه‌های تفریحی، ماهیگیری و ارتقای حیات وحش

بخش پنجم-پروژه‌های منابع آب چند منظوره

فنون ترسیمی بهینه‌سازی، فنون تحلیلی بهینه‌سازی، بهینه‌سازی با استفاده از شبیه‌سازی، اجرای برنامه ریزی رویه برنامه‌ریزی، تعامل با سایر منابع.

تقریب بهینه‌یابی آبهای زیرزمینی، تابع هدف، قید و متغیرهای تصمیم مسائل محدود، مسائل نامحدود، متغیرهای پایه‌ای و غیر پایه‌ای، محاسبه ضرایب پاسخ، کاربرد سیمپلکس در بهینه‌یابی آبهای زیرزمینی، دامنه‌های ضریب تابع هدف، مسائل دوگانگی، فرمول‌سازی‌های خطی پیشرفته و قیود سرعت جریان آب زیرزمینی

بخش ششم- تجزیه و تحلیل مالی

امکان‌سنجی مالی، مطالعات مالی، تامین مالی، برنامه‌ریزی ساختار بدهی، تخصیص هزینه، قیمت‌گذاری منابع آب

بخش هفتم- مدل های مدیریت آبهای زیرزمینی

مدیریت آبهای زیرزمینی با استفاده از مدل‌های عددی(شبیه‌سازی- بهینه‌سازی)، مدل‌های دینامیک

منابع:

- Hardisty, P., Ozdemiroglu, E. 2005, The Economics of Groundwater Remediation
- And Protection, Taylor & Francis, 336 pp.
- Jakeman, A.J., Barreteau, O., Hunt, R.J., Rinaudo, J.-D., Ross, A. (Eds.), 2016, Integrated Groundwater Management, Concepts, Approaches and Challenges. Springer
- James, L D ,Robert, R. L., 1971, Economics of Water Resources Planning ,Published by McGraw-Hill,
- Job, C.A., 2010, Groundwater Economics, CRC Press, Taylor Francis Group, 661pp.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F., Zahraie, B., 2003, Water Resources Systems Analysis, CRC Press, Boca Raton, Fla.

- Lawrence. K., Chih, W., Yang Mu-Hao, T., Wang, S., 2016, Advances in Water Resources Management, Series Title: Handbook of Environmental Engineering, Series Volume 16.
- Loucks, D.P., Stedinger, J.R., Haith, D.A., 1981. Water resource systems planning and analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

عنوان درس به فارسی: **هیدرولیک سنگهای سخت** عنوان درس به انگلیسی: **Hradrock Hydrolics**	تعداد واحد: ۲ تعداد ساعت: ۳۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐					

اهداف کلی درس:

آشنایی با رفتار جریان در سازندهای سخت، معادلات حاکم، تجزیه و تحلیل داده های افت- زمان در جریان‌های شعاعی و بکارگیری مدل های تحلیلی، تجربی و عددی

سرفصل مطالب:

- نقش درز و شکافها در حرکت آب زیرزمینی
- تناقض رفتاری آبخوانهای سازند سخت با آبخوانهای آبرفتی
- معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی در آبخوانهای درز و شکافدار
- آبخوانهای درز و شکاف دار
- تخلخل یگانه و مدلهای تحلیلی آنها
- تخلخل دو گانه و مدلهای تحلیلی آنها
- تجزیه و تحلیل داده‌های افت – زمان در آبخوانهای درز و شکاف دار با مدلهای تحلیلی
- تجزیه و تحلیل داده‌های مشتق افت – زمان در آبخوانهای درز و شکاف دار
- شناسایی مؤلفه های جریان
- ذخیره درون چاه
- جریان در درز و شکافها
- جریان بین تخلخلی
- جریان شعاعی

- مرزهای آب‌زمین‌شناختی
- بررسی آب‌زمین‌شناسی آبخوانهای سازند سخت با تحلیل سریهای زمانی آب‌شناختی و مدلهای استوکستیک
- بررسی آب‌زمین‌شناختی آبخوانهای سازند سخت به کمک تحلیل آبنگار چشمه‌ها
- مدلهای تحلیلی
- مدلهای تجربی
- مدلهای عددی
- مطالعات موردی

منابع:

- Francis, F., 2010, Fractured Rock Hydraulics,CRC Press and Francis Group.
- Dietrich, P., Helmig, R., Sauter, M., Hotzl, H., Kongeter, J., Teutsch, G., 2005, Flow and TransPort in Fractured porous media, Springer.

عنوان درس به فارسی: **ریاضیات پیشرفته در آب‌زمین‌شناسی** عنوان درس به انگلیسی: **Advanced Mathematics in Hydrogeology**	تعداد واحد: ۲ تعداد ساعت: ۳۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
			الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■ سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس:

آشنایی با معادلات بقاء ماده و معادلات پیوستگی جریان آب زیرزمینی و تبدیل لاپلاس، هنکل، ملنین، بولتزمن، روش‌های عناصر محدود و تفاضلات محدود و حل تحلیلی معادلات پیوستگی جریان و پیوستگی انتقال

سرفصل مطالب:

- معادلات بقا
  - انتقال گرما
  - قانون فوریه
  - معادلات پیوستگی جریان آب زیرزمینی
  - معادلات پیوستگی انتقال آلاینده
  - شرایط اولیه و مرزی
  - منبع نقطه‌ای
  - منبع خطی
- تبدیل لاپلاس، هنکل، ملنین و بولتزمن
  - توابع بسل
  - تابع دلتا
  - تابع گرین
- تبدیل معکوس لاپلاس و هنکل

- روش عناصر محدود
- روش تفاضلات محدود
- حل تحلیلی معادلات پیوستگی جریان
- حل تحلیلی معادلات پیوستگی انتقال

منابع:

- Lee, T.C., 1998, Applied Mathematics in Hydrology,Lewis Publications,Washington D.C.
- Bras, R. L., Rodriguez-Iturbe, I., 1994, Random Functions and Hydrology (Dover Books on Advanced Mathematics), Dover Publications.

عنوان درس به فارسی: **مهندسی آبهای زیرزمینی**	تعداد واحد: ۲	نوع واحد: نظری- تخصصی	جبرانی	نظری	دروس پیشنیاز:
				عملی	
			پایه	نظری	
				عملی	
عنوان درس به انگلیسی: **Groundwater Engineering**	تعداد ساعت: ۳۲		الزامی	نظری	
				عملی	
			اختیاری	نظری*	
				عملی	
	آموزش تکمیلی عملی: دارد ☐ ندارد ■				
	سفر عملی ☐ کارگاه ☐ آزمایشگاه ☐ سمینار ☐				

اهداف کلی درس:

آشنایی با مشکلات مهندسی آب‌های زیرزمینی و روش‌های پیشگیری از آن

سرفصل مطالب:

- مفاهیم اساسی آب زیرزمینی
- محاسبه پارامترهای آب‌زمین‌شناختی
- پایش آب‌های زیرزمینی در پروژه‌های مهندسی
- روش‌های مختلف در برآورد میزان نشت از سطوح
- تجزیه و تحلیل پایداری شیب ها با تاکید بر آب‌زمین‌شناسی
- مسائل آب‌زمین‌شناختی مکان‌های پسماند (Landfills)
- برآورد تاثیر حفر تونل بر آبدهی منابع آبی
- پارامترهای آب‌زمین‌شناختی موثر در عملکرد ماشین‌های حفار (TBM)
- روش‌های مختلف زهکشی در فعالیتهای عمرانی
- روش‌های تزریق برای جلوگیری از نشت در محیط های سنگی
- روش‌های برآورد فرونشست زمین در اثر برداشت از آبخوانها
- آب‌زمین‌شناسی مخازن نفتی
- ارزیابی خوردگی آب‌های زیرزمینی

منابع:

- Yiqun, T., Zhou, J., Yang, P., Yan, J., 2016, Groundwater Engineering, ISBN: 978-3-662-48579-8 (Print) 978-3-662-48581-1
- Jacques, D.W., 2006, The Handbook of Groundwater Engineering, Second Edition, CRC Press
- Walton, W.C., 1990 Principles of Groundwater Engineering, CRC Press, Technology & Engineering - 568 pp.