

۲۱۴۵۷۶

مبانی متالورژی و اکتشاف اورانیوم

تالیف:

محمد یوسفی

کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن

www.ketab.ir

سروشنامه	:	یوسفی، محمد، ۱۳۶۰ -
عنوان و نام پدیدآور	:	مبانی متالوژی و اکتشاف اورانیوم / تألیف محمد یوسفی.
مشخصات نشر	:	تهران: کیان دانش، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	:	۴۷۹ ص.
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۷۴۲۳-۱۱-۲
وضعیت فهرست نویسی	:	فیا
موضوع	:	متالوژی -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	:	Metallogeny -- Study and teaching (Higher)
موضوع	:	اورانیوم -- ذوب و استخراج -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	:	Uranium -- Metallurgy -- Study and teaching (Higher)
موضوع	:	کانه‌های اورانیوم -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	:	Uranium ores -- Study and teaching (Higher)
موضوع	:	پی‌جویی اکتشافی -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	:	Prospecting -- Study and teaching (Higher)
رده بندی کنگ	:	QE۳۶۴/۲
رده بندی یوبی	:	۵۵۳/۱۰۷۶
شماره کتبی	:	۷۳۳۴۶۷۲

نام کتاب	*	مبانی متالوژی و اکتشاف اورانیوم
تألیف	*	محمد یوسفی
ناشر	*	کیان دانش
نوبت چاپ	*	اول، ۱۳۹۹
شابک	*	۹۷۸-۶۲۲-۷۴۲۳-۱۱-۲
چاپ / صحافی	*	مهرداد
شمارگان	*	۱۰۰ جلد
قیمت	*	۹۰۰۰۰ تومان
کلیه حقوق این اثر برای مولفین محفوظ است دفتر مرکزی: خیابان انقلاب- روبروی درب اصلی دانشگاه تهران خیابان فخر رازی- پلاک ۸۵ تلفن: ۶۶۴۱۱۷۲۰		

پیش‌گفتار

بحران انرژی و محدود بودن ذخائر رو به اتمام نفت و اندیشه جای‌گزینی انرژی فسیلی توسط انرژی‌های دیگر به ویژه انرژی اتمی نظر دانشمندان و مکتشفین را به اهمیت فراوان عناصر رادیواکتیو در دهه‌های اخیر مشغول داشته است. امروز عناصر رادیواکتیو از نقش و اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند به‌طوری که این عناصر به ویژه اورانیوم از جایگاه ویژه‌ای در زمینه مسائل سیاسی، نظامی، تولید انرژی، اقتصادی، پزشکی و کشاورزی و صنعتی برخوردار است و تمرکز آن در هر نقطه از زمین می‌تواند حساسیت زیادی ایجاد کند. اورانیوم، مشخصاً یک عنصر کمیاب است و به صورت Trace در کانی‌های اصلی مثل کوارتز، فلدسپات مشاهده می‌شود. علل حضور اورانیوم در این کانی‌ها عبارتند از جانشینی ایزومورفیک در شبکه، تجمع در نقاط نقص شبکه، جذب در امتداد نقاط غیرکامل شده بلور و مرز دانه‌ها، انکلوژین به عنوان ریزبلورهای کانی اورانیوم، اورانیوم عنصری است بسیار متحرک که این تحرک در اثر تمایل آن به "سیلان" و ایجاد یون‌های اورانیل²⁺(UO_2) با حلالیت بیشتر می‌باشد. اورانیوم، بطور عمده در حلال‌های یگماتیته و گرمایی درجه حرارت بالا متمرکز می‌شود. ترکیبات صنعتی اورانیوم شامل فرواورانید، برای وارد کردن خواص ویژه در فولاد استفاده می‌شود، تترا فلورو اورانیوم که در نیروگاه‌های اتمی کاربرد دارد، هگزا فلورو اورانیوم که برای جدا کردن ایزوتوپ‌های اورانیوم بکار می‌رود، اکسیدهای اورانیوم که برای ساختن لعاب در سرامیک سازی بکار می‌رود و دی‌اکسید اورانیوم که بعنوان سوخت راکتورهای اتمی استفاده می‌شود. بطور کل کاربرد اورانیوم را می‌توان در سیستم‌های نظامی، در نیروگاه‌های اتمی، در صنایع بهداشتی و غذایی و پزشکی، جلوگیری از ریشه زدن جوانه‌ها در انبارها، نگهداری میوه و سبزی و گوشت، برای آزمایشات اتصالات در حفاری‌ها و پیدا کردن نشته‌ها و بررسی اندازه پوشش‌های فلزی، ساخت ایزوتوپ‌های با بهای کم، در اشعه درمانی و رادیولوژی، در سوخت کشتی و زیردریایی و هواپیما، در تهیه مواد شیمیایی، در رنگ سازی و لعاب‌های کوزه‌گری، در تولید رنگ دانه‌های زرد و شفاف برای رنگ‌های رنگی، ساخت لعاب در صنعت سرامیک سازی، داروسازی، تبدیل آب شور به شیرین، به کار آمدن در لامپ‌های فتوالکتریک، برای افزایش حد کشسانی و استحکام و نیتروژن زدایی فولادها خلاصه کرد. چند معدن بزرگ اورانیوم در جهان می‌توان معادن روزینگ در نامیبیا، که بزرگترین تولید کنندنده اورانیوم دنیاست، ذخایر طلا و اورانیوم حوضه وایت واترزاند در آفریقای جنوبی و معادن منطقه بن‌کرافت و معادن فلات کلرادو و اونتاریو را نام برد. در ایران مناطق تال‌مسی و مس‌کشی، معدن بایچه‌باغ میانه، ناحیه گورچین در شمال تبریز، حوضه عروسان در خور و بیابانک، حوضه نفتی خوزستان، چشمه گل در شمال خراسان همراه با زغال سنگ و منطقه جوبند در آذربایجان را می‌توان نام برد. دارا بودن تکنولوژی استفاده و فرآوری این عناصر به ویژه اورانیوم بعنوان عنصری راهبردی در بسیاری از موارد سیاسی نظامی می‌تواند یک برگ برنده محسوب شود. در زمینه تولید انرژی باید اذعان داشت که با دارا بودن تکنولوژی پالایش این عنصر می‌توان به یک منبع بزرگ و عظیمی از انرژی دسترسی پیدا نمود، زیرا انرژی حاصل از یک

کیلوگرم این عنصر (اورانیوم) معادل انرژی حاصل از احتراق ۳۰۰۰ تن ذغال سنگ مرغوب و آنهم از نوع آنتراسیت است. بکارگیری فلزات رادیواکتیو مانند اورانیوم و توریم در نیروگاه‌های اتمی گامی جدید در جهت تأمین نیازهای روز افزون بشر و روند تکاملی تکنولوژی در بهبود استانداردهای زندگی بشمار می‌آید. اکتشاف این فلزات رادیواکتیو و فلزات همراه آنها مستلزم بکارگیری روش‌های اکتشافی مختلف ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی است. باتوجه به پیشرفت روز افزون جوامع و صنعتی شدن آنها نیاز به تأمین انرژی در آینده یکی از مهمترین دغدغه‌های بشر خواهد بود. برپایه آمار آژانس بین‌المللی انرژی اتمی نیاز اورانیوم در سال ۱۹۹۷ میلادی حدود ۶۱۵۰۰ تن در سال بوده است که این آمار برپایه پیش‌بینی آژانس در سال ۲۰۲۰ میلادی به ۷۵۰۰۰ تن نیاز مصرفی در سال خواهد رسید. همین آمار ساده بیان‌کننده وسعت نیاز جهانی به اورانیوم است. در کشور عزیزمان ایران نیاز مصرفی اورانیوم در سال ۳۸۹ هجری شمسی با راه‌اندازی نیروگاه هسته‌ای بوشهر جهت تولید برق هسته‌ای به میزان ۱۰۰۰ مگاوات حدود ۴/۶ تن است و براساس تصمیم مجلس شورای اسلامی جهت توسعه تولید برق با استفاده از توان انرژی هسته‌ای طرحی به تصویب رسیده است که بر مبنای آن پیش‌بینی افزایش ظرفیت تولید نیروگاه‌های هسته‌ای در ۲۰ سال آینده در دستور کار دولت قرار داده شده است. بر مبنای این طرح ظرفیت تولید راکتورهای هسته‌ای ایران تا سال ۲۰۲۶ میلادی به ۱۶۰۰۰ مگاوات خواهد رسید. بنابراین نیاز مصرفی ایران روند صعودی را طی می‌کند. در سال ۲۰۱۶ میلادی با پیش‌بینی تولید ۶۰۰۰ مگاوات برق هسته‌ای نیاز مصرفی اورانیوم حدود ۲۵۴ تن خواهد بود. در سال ۲۰۲۱ میلادی با پیش‌بینی تولید ۱۱۰۰۰ مگاوات در سال نیاز مصرفی اورانیوم حدود ۹۹۵ تن خواهد بود و در نهایت در سال ۲۰۲۶ با پیش‌بینی تولید ۱۶۰۰۰ مگاوات برق هسته‌ای نیاز مصرفی اورانیوم حدود ۲۴۷۴ تن خواهد بود. بررسی ظرفیت تولید اورانیوم ایران نیز بر مبنای اطلاعات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی نشان می‌دهد تنها مرکز تولید سنگ اورانیوم در ایران کارخانه تولید اورانیوم بندرعباس است که با استفاده از سنگ معدن اورانیوم گچین بندرعباس ظرفیت تولید ۲۱ تن اورانیوم در سال را دارد و همچنین پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۱ نیز کارخانه تولید اورانیوم اردکان با تغذیه ورودی از معدن اورانیوم ساغند ظرفیت تولید ۵۰ تن اورانیوم را داشته باشد. بنابراین با پیشرفت صنعت هسته‌ای در ایران نیاز به اکتشاف و دستیابی به منابع جدید ماده اولیه این صنعت (اورانیوم) بیش از پیش احساس می‌گردد.

هدف از ارائه کتاب حاضر، آشنا ساختن دانشجویان دوره‌های کارشناسی و کارشناسی‌ارشد مهندسی اکتشاف معدن و زمین‌شناسی با فلزایی و زمین‌شناسی و روش‌های اکتشاف اورانیوم می‌باشد. در تدوین کتاب سعی شده که همه جنبه‌های اساسی موضوع چه از نظر تئوری و چه از نظر کاربردی حفظ شود تا ابهامات موجود در مورد مطالب بیان شده به حداقل برسد و دانشجویان بتوانند با برخورداری از حداقل راهنمایی از آن بهره ببرند. تقدم و تاخر ارائه مطالب علمی و تسلسل آن بنحوی است که با سایر کتب مرجع و منابع مختلف در این زمینه هماهنگی لازم را داراست و در امر تدوین بیشترین کارایی

مطلوب را در فراگیری مطالب درسی ارائه می‌نماید. گرچه هنوز مراجع و منابع گسترده‌ای به زبان فارسی از شناخت و کاربرد عناصر پرتوزا در اختیار دانشجویان و علاقه‌مندان در دسترس نیست، ولی آثار معتبر علمی در زمینه عناصر پرتوزا کم نیست و در عین حال کمبود شدیدی در بعضی از زمینه‌های تخصصی این رشته قابل دسترس به آن وجود دارد. با این امید که عرضه کتاب مزبور گامی بسیار کوچک در برآورد این امر مهم بوده باشد. چاپ جدید کتاب حاضر در هشت فصل تدوین گردیده است. در فصل اول سعی شده تکامل کانی‌های اورانیوم و توریم و کانی‌شناسی عناصر پرتوزا و بخصوص کانی‌های شاخص اورانیوم و خصوصیات آن‌ها بطور اختصار مطرح شود. در فصل دوم فلززایی و شکل‌گیری کانسارهای اورانیوم بیان شده است. در فصل سوم کتاب پارامترهای ژئوشیمی اورانیوم و پایداری اورانیوم در محیط‌های مختلف مطرح شده و در فصل چهارم مطالبی در خصوص روش‌های اکتشاف اورانیوم به اکتشاف بردآوری شده است. در فصل پنجم هیدروژئوشیمی اورانیوم و طراحی شبکه و نمونه برداری مطرح شده و فصل ششم در ارتباط با ژئوشیمی اورانیوم در آب‌تیت و فسفریت، فصل هفتم کتاب به پیشرفت‌های نوین در روش‌های ژئوفیزیک هوابرد و زمین‌برد اکتشاف اورانیوم و فصل هشتم به نحوه شناسایی مناطق مساعد برای بوشیمی در اکتشاف اورانیوم در ایران اختصاص داده شده است. برای تهیه این اثر با حداقل اشکالات، بخش‌های زیادی شده که در اینجا بر خود لازم می‌دانم از سرکار خانم حسن‌زاده جهت تایپ متن کتاب و آقای مهندس میلاد کردی و آقای مهندس شاهد شهرستانی جهت ویراستاری کتاب صمیمانه تشکر و قدردانی شود. از اساتید محترم، همکاران و دانشجویان تقاضا دارم نواقص این کتاب را گوشه ذهن بنده در چاپ بعدی کتاب کم‌نقص‌تری ارائه شود.

محمد یوسفی^۱

اردیبهشت ۱۳۹۹

فهرست مطالب

۲۱	فصل اول - کانی شناسی اورانیوم و عناصر پرتوزا.....
۲۱	۱-۱- تاریخچه.....
۲۶	۲-۱- تکامل کانی های اورانیوم و توریم.....
۳۱	۱-۲-۱- سنتز ستاره های عناصر سنگین.....
۳۱	۱-۲-۲-۱- فاز I- غلظت اورانیوم و توریم ($\sim 4/5$ به $3/5$ میلیاردسال).....
۳۵	۱-۲-۳-۱- یادداشتی بر تکامل کانی پلوتونیوم.....
۳۶	۱-۲-۴-۱- فاز II- اشت آواری اورانینیت و آلتراسیون غیرزنده ($\sim 3/5$ تا $2/2$ میلیاردسال).....
۴۰	۱-۲-۵- اکسیداسیون - ردکار اورانیت.....
۴۴	۱-۲-۶- تکامل کانی توریم.....
۴۵	۱-۲-۷- فاز سوم- کانی های اورانیوم پس از رویداد بزرگ اکسیداسیون ($2/2$ میلیارد سال).....
۴۵	۱-۲-۸- تشکیل اورانینیت در برمال از محلول های اورانیل دار.....
۴۶	۱-۲-۹- راکتورها یا واکنش گرهای شکافت هسته ای طبیعی.....
۴۸	۱-۲-۱۰- تشکیل کانی های اورانیل در محدوده نزدیک به سطح.....
۵۰	۱-۲-۱۱- نقش اورانیوم پنج ظرفیتی.....
۵۵	۱-۲-۱۲- مرحله چهارم- کانی سازی اورانیوم به واسطه موالی (ژئانیک ها) ($0/4$ میلیارد سال).....
۵۸	۱-۲-۱۳- واسطه میکروبی کانی های اورانیوم.....
۵۹	۱-۳-۱- هوازدگی اکسیداسیون- هیدراسیون اورانینیت.....
۶۱	۱-۳-۲- اورانینیت و مصرف سوخت هسته ای.....
۶۲	۱-۳-۳- کانی های اورانیل - محصولات اورانینیت هوازده.....
۶۲	الف- کانی شناسی و بلورشناسی.....
۶۴	ب- نقش اکسید- هیدروکسی- هیدرات اورانیل در تکامل اورانینیت (SNF)- توالی پاراژنیک- هوازدگی و نقش سرب پرتوزاد.....
۷۴	ب- ترمودینامیک کانی های اورانیل.....
۷۵	۱-۳-۳- گپ ها، پرسش ها و تحقیقات آینده.....
۷۵	الف- کانی شناسی و بلورشناسی.....
۷۶	ب- فرآیندهای هوازدگی.....
۷۸	ب- ترمودینامیک.....
۷۸	۱-۴- کانی شناسی عناصر پرتوزا.....
۸۰	۱-۴-۱- اورانینیت و پچلند.....

۸۶	۱-۴-۲- بتافیت
۸۶	۱-۴-۳- دیودیت
۸۷	۱-۴-۴- برانریت
۸۷	۱-۴-۵- گامیت
۸۸	۱-۴-۶- کوفینایت
۸۸	۱-۴-۷- زینیت
۸۸	۱-۴-۸- پارسونیت
۸۹	۱-۴-۹- فرانکولیت
۸۹	۱-۴-۱۰- انوتیت
۸۹	۱-۴-۱۱- اوارفان
۸۹	۱-۴-۱۲- بولتودیت
۹۰	۱-۴-۱۳- مونازیت
۹۱	فصل دوم- متالورژی و استخراج انواع کانسارهای اورانیوم
۹۱	۱-۲- متالورژی اورانیوم و تکنیک کانسارهای اورانیوم در تکامل زمین
۹۳	۲-۲- رفتار اورانیوم در چرخه زمین و تدریس در پوسته
۹۴	۲-۳- رفتار اورانیوم در پدیده‌های میگاتیزاسیون و آناتکسیس
۹۶	۲-۴- تشکیل کانسارهای مهم اورانیوم
۹۸	۲-۵- رده بندی کانسارهای اورانیوم
۹۹	۲-۵-۱- کانسارهای اورانیوم منسوب به دگرشیبی‌ها
۱۰۲	۲-۵-۲- کانسارهای اورانیوم اپی‌متامرفیک در دگرشیبی‌های فرسایشی و ژئوتیک
۱۰۳	۲-۵-۳- کانسارهای اورانیوم ماسه سنگی
۱۰۶	۲-۵-۴- کانسارهای اورانیوم مرتبط با گرانیته‌ها
۱۰۷	۲-۵-۵- کانسارهای اورانیوم نوع کالکریت
۱۰۷	۲-۵-۶- کانسارهای اورانیوم آتشفشانی
۱۱۰	۲-۵-۷- کانسارهای اورانیوم متاسوماتیت
۱۱۱	۲-۵-۸- کانسارهای اورانیوم رسوبی - رسوبی دگرگونی، تفریق نشده (در رگه‌ها و زون‌های برشی)
۱۱۲	۲-۵-۹- کانسارهای اورانیوم پایپ‌های برشی فروریخته
۱۱۳	۲-۵-۱۰- کانسارهای چند فلزی کمپلکس اورانیوم-هماتیت-برش
۱۱۴	۲-۵-۱۱- کانسارهای اورانیوم کوارتز قلوه‌ای-کنگومرا پروتروژوئیک
۱۱۶	۲-۵-۱۲- کانسارهای اورانیوم سطحی

۱۱۸	۲-۵-۱۳- کانسارهای اورانیوم نفوذی.....
۱۲۰	۲-۵-۱۴- کانسارهای استوک ورک مرتبط با شیل های کربن دار اورانیومی.....
۱۲۱	۲-۵-۱۵- کانسارهای بیتومنوس اورانیومی- سنگ آهک کاتا کلاستی.....
۱۲۱	۲-۵-۱۶- کانسارهای لوتایت (دریاچه ای) کربن دار اورانیومی.....
۱۲۲	۲-۵-۱۷- کانسارهای آلی فسفات اورانیوم دار.....
۱۲۲	۲-۵-۱۸- کانسارهای فسفریتی معدنی- شیمیایی اورانیوم دار.....
۱۲۳	۲-۵-۱۹- کانسارهای زغال سنگ- لیگنیت اورانیوم دار.....
۱۲۴	۲-۵-۲۰- کانسارهای چینه ای شیل سیاه اورانیوم دار.....
۱۲۶	۲-۵-۲۱- کانسارهای دگرگونی و دگرگونی مجاورتی.....
۱۲۶	۲-۶- رده بندی اسیروف.....
۱۲۷	۲-۷- دیاگرام مثلثی.....
۱۲۹	فصل سوم- ژئوشیمی اورانیوم.....
۱۲۹	۳-۱- مقدمه.....
۱۳۳	۳-۲- ژئوشیمی اورانیوم.....
۱۴۰	۳-۳- باریونی و کانی شناسی اورانیوم.....
۱۴۱	۳-۴- اورانیوم در سنگ ها.....
۱۴۳	۳-۴-۱- اورانیوم در محصولات و خاک های هوازد و رسوبی.....
۱۴۶	۳-۴-۲- اورانیوم در آب های طبیعی و ته نشست های آنها.....
۱۴۹	۳-۴-۳- اورانیوم در رسوبات زهکشی و مواد مناطق مرطوب.....
۱۵۲	۳-۴-۴- اورانیوم در ارگانسیم های زنده و محصولات تجزیه آنها.....
۱۵۵	۳-۵- قابلیت انحلال اورانیوم در محلول های آب دار.....
۱۶۲	۳-۶- جابجایی اورانیوم.....
۱۶۲	۳-۷- نهشته شدن اورانیوم.....
۱۶۴	۳-۸- پارامترهای منبع سیال (شکل ۳-۶ و ۳-۷).....
۱۶۴	۳-۹- پارامترهای منبع اورانیوم (شکل ۳-۱۰).....
۱۶۵	۳-۱۰- میزان تحرک سیالات.....
۱۶۶	۳-۱۱- پارامترهای معبر محلول ها (شکل ۳-۱۰).....
۱۶۸	۳-۱۲- پارامترهای نهشتگی.....
۱۶۸	۳-۱۳- زمینه ژئوشیمیایی.....
۱۶۸	۳-۱۴- هاله های اولیه و ثانویه.....

۱۷۰	۱۵-۳- عناصر شاخص اورانیوم
۱۷۱	۱۶-۳- مواد نمونه‌ای و تکنیک‌های نمونه‌برداری
۱۷۲	۱-۱۶-۳- سنگ‌ها (سنگ‌های تازه)
۱۷۲	۲-۱۶-۳- تکنیک‌های نمونه‌برداری از سنگ
۱۷۲	۳-۱۶-۳- خاک‌ها
۱۷۲	الف- خاک‌های بازماندی
۱۷۳	ب- روباره حمل شده
۱۷۳	پ- نهشته‌های یخچالی
۱۷۳	ت- نهشته‌های بیابانی
۱۷۴	ث- نهشته‌های برفی
۱۷۵	۴-۱۶-۳- تکنیک‌های نمونه‌برداری خاک
۱۷۵	۵-۱۶-۳- انواع رسوبات آبی و ته‌نشست‌ها
۱۷۵	الف- رسوبات و ته‌نشست‌های بستر آبی
۱۷۶	ب- رسوبات آبراهه‌ای
۱۷۶	پ- رسوبات دریاچه‌ای
۱۷۷	ت- نهشته‌های سایت مرطوب
۱۷۸	۶-۱۶-۳- تکنیک‌های نمونه‌برداری
۱۷۹	۷-۱۶-۳- انواع آب‌ها
۱۷۹	الف- آب‌های زیرزمینی و آب چشمه‌ها
۱۸۰	ب- آب آبراهه‌ها
۱۸۰	پ- آب دریاچه‌ای
۱۸۱	۸-۱۶-۳- تکنیک‌های نمونه‌برداری
۱۸۱	۹-۱۶-۳- کانی‌های سنگین
۱۸۲	الف- برداشت‌های کانی‌سنگین سنگ‌ها
۱۸۲	ب- برداشت‌های کانی‌سنگین خاک‌ها و مواد دیگر
۱۸۲	پ- برداشت‌های کانی‌سنگین رسوبات آبراهه‌ای
۱۸۲	ت- نمونه‌برداری و جدایش کانی‌های سنگین
۱۸۳	۱۷-۳- پی‌جویی بیژنوشیمیایی
۱۸۴	۱۸-۳- آماده‌سازی و انباشت نمونه‌ها
۱۸۴	۱-۱۸-۳- رویه‌های آماده‌سازی
۱۸۴	۲-۱۸-۳- آماده‌سازی نمونه‌های سنگی

۱۸۵	۳-۱۸-۳- آماده‌سازی نمونه‌های خاکی، روباره و رسوبات آبراهه‌ای
۱۸۵	الف- خشک کردن
۱۸۶	ب- الک کردن
۱۸۶	۳-۱۸-۴- آماده‌سازی نمونه‌های آب
۱۸۶	۳-۱۸-۵- آماده‌سازی کانی‌های سنگین
۱۸۷	۳-۱۸-۶- ذخیره‌سازی نمونه‌ها
۱۸۸	۳-۱۸-۷- تجزیه ژئوشیمیایی اورانیوم
۱۹۰	الف- روش‌های موجود
۱۹۱	ب- روش برگزیده- کتیک فلوریمتریک
۱۹۲	۳-۱۹-۱- گزارش داده و نقشه‌ها
۱۹۲	۳-۱۹-۱-۱- آماده‌سازی داده‌ها
۱۹۳	۳-۱۹-۲- تصویر کردن داده‌های م
۱۹۴	۳-۱۹-۳- نمودارهای توزیع فراوانی
۱۹۶	۳-۱۹-۴- نقشه‌های کنتری
۱۹۷	۳-۱۹-۵- تحلیل آماری
۱۹۸	۳-۱۹-۶- پردازش رایانه‌ای داده‌ها
۱۹۹	۳-۲۰-۱- تفسیر برداشت‌های ژئوشیمیایی
۲۰۰	۳-۲۰-۱-۱- عوامل زمین‌شناسی
۲۰۰	۳-۲۰-۲- عوامل محیطی
۲۰۱	۳-۲۰-۳- عوامل کانی‌سازی
۲۰۲	۳-۲۰-۴- اکتشاف مرحله‌ای
۲۰۳	فصل چهارم- روش‌های اکتشاف اورانیوم
۲۰۳	۴-۱- کلیات روش‌های اکتشافی مورد استفاده عناصر پرتوزا
۲۰۴	۴-۲- نقشه برداری زمین‌شناسی
۲۰۴	۴-۳- ژئوفیزیک اکتشافی
۲۰۵	۴-۴- اکتشاف رادیومتریک هوابرد
۲۰۵	۴-۵- اکتشاف رادیومتریک زمینی
۲۰۵	۴-۵-۱- اصول بنیادی رادیومتری
۲۰۶	۴-۵-۲- ذرات آلفا (A)
۲۰۷	۴-۵-۳- ذرات بتا (B)

۲۰۸	۴-۵-۴- اشعه گاما (Γ)
۲۰۹	۴-۵-۵- سری تجزیه عناصر رادیواکتیو
۲۰۹	۴-۵-۶- سری تجزیه پتاسیم K^{40}_{19}
۲۰۹	۴-۵-۷- سری تجزیه اورانیوم U^{238}_{92}
۲۱۰	۴-۵-۸- سری تجزیه توریم TH^{230}_{90}
۲۱۰	۴-۵-۹- تعادل رادیواکتیو
۲۱۳	۴-۶- توزیع ایزوتوپ‌های مختلف K و TH و U
۲۱۳	۴-۶-۱- علت انتخاب پرتو گاما به عنوان عامل آشکارسازی
۲۱۵	۴-۶-۲- حساسیت برداشت‌های رادیومتری
۲۱۵	۴-۶-۳- کمپلکس سنیلیومتر
۲۱۶	۴-۷- روش شناسایی آدون
۲۱۶	۴-۸- اسپکترومی گاما رگمانه
۲۱۷	۴-۹- برداشت‌های ساطع هوا
۲۱۷	۴-۱۰- برداشت‌های الکترومغناطیسی ابر
۲۱۷	۴-۱۱- ژئوشیمی اکتشافی
۲۱۷	۴-۱۱-۱- روش‌های ژئوبوتانی
۲۱۸	۴-۱۱-۲- روش‌های بیورژئوشیمیایی
۲۱۸	۴-۱۱-۳- هیدروژئوشیمی
۲۱۸	۴-۱۱-۴- مطالعات فرا طیفی هوابرد
۲۱۹	۴-۱۲- اکتشاف اورانیوم به کمک آشکار سازی اشعه آلفا
۲۱۹	۴-۱۲-۱- اشعه α
۲۲۱	۴-۱۲-۲- گاز رادون
۲۲۲	۴-۱۲-۳- امانومتری
۲۲۹	۴-۱۲-۴- تراکاج
۲۳۰	۴-۱۲-۵- هلیوم متری
۲۳۰	۴-۱۲-۶- آنورادیوگرافی
۲۳۱	۴-۱۲-۷- استفاده از اشعه α در سایر موارد زمین‌شناسی
۲۳۱	الف- تعیین سن سنگ‌ها به کمک گاز هلیوم
۲۳۲	ب- پیش‌بینی زلزله به کمک گاز رادون
۲۳۲	پ- پیدا کردن منابع نفت و گاز به کمک گاز رادون
۲۳۳	۴-۱۲- استراتژی اکتشافی