

## فهرست مطالب

### فصل اول: مبانی انرژی زمین گرمایی ..... ۱۳

- ۱-۱) مقدمه ..... ۱۴
- ۲-۱) ویژگی‌های زمین گرمایی سیاره زمین ..... ۲۱
- ۳-۱) مخازن زمین گرمایی ..... ۲۴
- ۴-۱) تاریخچه‌ی استفاده از انرژی زمین گرمایی ..... ۲۵

### فصل دوم: سامانه‌ها و منابع زمین گرمایی ..... ۲۹

- ۱-۲) انواع منابع و سامانه‌های زمین گرمایی ..... ۳۲
- ۲-۱-۱) سیستم‌های زمین گرمایی بخار غالب ..... ۳۳
- ۲-۱-۲) سیستم‌های زمین گرمایی آب داغ ..... ۳۴
- ۲-۱-۳) منابع زمین گرمایی تحت فشار ..... ۳۶
- ۲-۱-۴) سیستم‌های زمین گرمایی سنگ خشک داغ ..... ۳۶
- ۲-۱-۵) ماگما ..... ۴۰
- ۲-۲) منشأ سیالات زمین گرمایی ..... ۴۲
- ۳-۲) ترکیب شیمیایی سیالات زمین گرمایی ..... ۴۳
- ۲-۳-۱) آب سدیم کلرید ..... ۴۳
- ۲-۳-۲) آب اسید سولفات / کلرید ..... ۴۳
- ۲-۳-۳) آب اسید سولفات ..... ۴۴
- ۲-۳-۴) آب بی کربنات ..... ۴۴

### فصل سوم: اکتشاف منابع زمین گرمایی ..... ۴۷

- ۱-۳) آب‌شناسی و زمین‌شناسی ..... ۴۸
- ۲-۳) روش‌های ژئوشیمیایی ..... ۴۹
- ۳-۳) روش‌های ژئوفیزیکی ..... ۵۰
- ۴-۳) روش‌های سنجش از دور ..... ۵۱
- ۵-۳) حفاری اکتشافی ..... ۵۲

**فصل چهارم: حفاری در پروژه‌های زمین گرمایی ..... ۵۳**

- ۴-۱) مرحله اکتشاف اولیه ..... ۵۴
- ۴-۲) فاز اکتشاف پیشرفته، تایید و بررسی مخزن ..... ۵۵
- ۴-۳) فاز احداث و بهره‌برداری نیروگاه ..... ۵۶
- ۴-۴) تفاوت حفاری زمین گرمایی با حفاری نفت و گاز ..... ۵۶
- ۴-۵) ابزار حفاری ..... ۵۷
- ۴-۵-۱) گل حفاری ..... ۵۸
- ۴-۵-۲) سرمت‌های حفاری ..... ۵۹
- ۴-۵-۳) حفاری با هوا ..... ۶۱
- ۴-۵-۴) جداره‌گذاری ..... ۶۲
- ۴-۵-۵) سیمان کاری ..... ۶۳
- ۴-۵-۶) جلوگیری از نفوذ آب ..... ۶۴
- ۴-۶) فاصله‌گذاری چاه‌ها ..... ۶۴
- ۴-۷) اندازه‌گیری‌های مربوط به ایمنی ..... ۶۵
- ۴-۸) تعمیر چاه‌ها ..... ۶۵
- ۴-۹) رفتار تولید چرخه‌ای ..... ۶۶
- ۴-۱۰) کاهش هزینه‌های حفاری ..... ۶۷
- ۴-۱۱) روش‌های حفاری چاه‌های با قطر کم ..... ۶۷
- ۴-۱۲) مشکلات حفاری زمین گرمایی ..... ۶۹

**فصل پنجم: فناوری بهره‌برداری ..... ۷۱**

- ۵-۱) ابزارهای سر چاه ..... ۷۲
- ۵-۲) انتقال آب داغ ..... ۷۴
- ۵-۳) انتقال بخار ..... ۷۵
- ۵-۴) انتقال مخلوطی از بخار و آب ..... ۷۶
- ۵-۵) رسوب گذاری و کنترل خوردگی ..... ۷۷
- ۵-۵-۱) روش‌های جلوگیری از رسوب گرفتگی ..... ۷۸
- ۵-۵-۲) روش‌های کنترل خوردگی ..... ۷۸
- ۵-۶) بهره‌برداری و نگهداری چاه‌های زمین گرمایی ..... ۸۲

**فصل ششم: مهندسی مخازن زمین گرمایی ..... ۸۵**

- ۶-۱) وضعیت زیرزمینی چاه و مخزن ..... ۸۶

- ۸۷ ..... اندازه‌گیری‌های دما (۲-۶)
- ۸۸ ..... اندازه‌گیری فشار (۳-۶)
- ۸۹ ..... اندازه‌گیری جریان (۴-۶)
- ۸۹ ..... اندازه‌گیری در محل دهانه لوله (۶-۴-۱)
- ۸۹ ..... اندازه‌گیری به وسیله گرماسنج (۶-۴-۲)
- ۹۰ ..... مجرای جداکننده‌ی سیکلون (۶-۴-۳)
- ۹۰ ..... مدل‌سازی مخازن (۵-۶)

### فصل هفتم: کاربردهای مستقیم انرژی زمین‌گرمایی..... ۹۱

- ۹۲ ..... گرمایش محیطی و کاربردهای آن (۱-۷)
- ۹۵ ..... انواع سیستم‌های گرمایش زمین‌گرمایی (۷-۱-۱)
- ۹۶ ..... سیستم‌های جانبی گرمایشی منطقه‌ای (۷-۱-۲)
- ۹۷ ..... ذوب برف (۲-۷)
- ۹۸ ..... پمپ‌های زمین‌گرمایی (۳-۷)
- ۱۰۲ ..... سیستم توزیع گرما (۷-۳-۱)
- ۱۰۳ ..... مزایای پمپ‌های حرارتی (۷-۳-۲)
- ۱۰۴ ..... کاربرد صنعتی انرژی زمین‌گرمایی در کشورهای مختلف (۴-۷)

### فصل هشتم: کاربردهای غیر مستقیم انرژی زمین‌گرمایی..... ۱۰۷

- ۱۰۸ ..... نیروگاه‌های زمین‌گرمایی (۱-۸)
- ۱۱۲ ..... انواع نیروگاه‌های زمین‌گرمایی (۲-۸)
- ۱۱۲ ..... نیروگاه بخار خشک (۸-۲-۱)
- ۱۱۴ ..... نیروگاه بخار تبخیر آبی (فلاش) (۸-۲-۲)
- ۱۱۹ ..... نیروگاه چرخه دوگانه (۸-۲-۳)
- ۱۲۳ ..... تجهیزات اصلی نیروگاه زمین‌گرمایی (۳-۸)
- ۱۲۵ ..... تجهیزات جانبی نیروگاه‌های زمین‌گرمایی (۴-۸)
- ۱۲۷ ..... بازده سیستم‌های گردش زمین‌گرمایی (۵-۸)
- ۱۲۸ ..... مزایای حاصل از بکارگیری سیستم‌های گردش زمین‌گرمایی (۶-۸)
- ۱۲۸ ..... استفاده‌ی همزمان از سیالات زمین‌گرمایی (۷-۸)
- ۱۲۹ ..... آینده‌ی تامین نیرو از انرژی زمین‌گرمایی (۸-۸)
- ۱۳۰ ..... سیستم‌های پیشرفته‌ی زمین‌گرمایی (۸-۸-۱)

**فصل نهم: اقتصاد و محیط زیست در پروژه‌های زمین گرمایی ..... ۱۳۳**

- ۱-۹ (۱) اقتصاد پروژه‌های زمین گرمایی ..... ۱۳۴
- ۲-۹ (۲) ملاحظات اقتصادی برای بهره‌برداری مناسب ..... ۱۳۷
- ۳-۹ (۳) چالش‌های زیست‌محیطی بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی ..... ۱۳۷
- ۹-۳-۱ (۹-۳-۱) آثار فیزیکی خروج سیال ..... ۱۳۹
- ۹-۳-۲ (۹-۳-۲) آثار حرارتی ..... ۱۴۰
- ۹-۳-۳ (۹-۳-۳) آلودگی شیمیایی ..... ۱۴۰
- ۹-۳-۴ (۹-۳-۴) آلودگی صوتی ..... ۱۴۴
- ۹-۴ (۴-۹) مقایسه انرژی زمین گرمایی با انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی ..... ۱۴۴

**فصل دهم: انرژی زمین گرمایی در کشور ایران ..... ۱۴۷**

- ۱-۱۰ (۱) استفاده‌ی غیرمستقیم از انرژی زمین گرمایی در ایران ..... ۱۵۱
- ۲-۱۰ (۲) استفاده مستقیم از انرژی زمین گرمایی در ایران ..... ۱۵۷
- ۲-۱۰-۱ (۱۰-۲-۱) اولین پمپ‌های حرارتی زمین گرمایی در ایران ..... ۱۵۹
- ۳-۱۰ (۳-۱۰) جمع‌بندی ..... ۱۶۱

**فصل یازدهم: پیشرفت‌های مورد نیاز برای بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی ..... ۱۶۳**

- ۱-۱۱ (۱) اکتشاف و تعیین خصوصیات ..... ۱۶۶
- ۲-۱۱ (۲) حفاری ..... ۱۷۸
- ۳-۱۱ (۳) سیستم‌های پیشرفته زمین گرمایی ..... ۱۶۹
- ۴-۱۱ (۴) تولید نیرو ..... ۱۷۱
- ۴-۱-۱ (۱۱-۴-۱) سیستم بخار خشک ..... ۱۷۱
- ۴-۱-۲ (۱۱-۴-۲) سیستم بخار فلاش (تبخیر آبی) ..... ۱۷۱
- ۴-۱-۳ (۱۱-۴-۳) سیستم دوگانه ..... ۱۷۲
- ۴-۱-۴ (۱۱-۴-۴) سیستم‌های خنک‌کننده نیروگاهی ..... ۱۷۲
- ۴-۱-۵ (۱۱-۴-۵) تبدیل انرژی ..... ۱۷۲
- ۴-۱-۶ (۱۱-۴-۶) یکپارچه‌سازی سیستم نیروی زمین گرمایی ..... ۱۷۳
- ۵-۱۱ (۱۱-۵) پمپ حرارتی زمین گرمایی ..... ۱۷۵
- ۵-۱-۱ (۱۱-۵-۱) گرمایش و سرمایش با منبع زمینی ..... ۱۷۶

**منابع و مأخذ ..... ۱۸۱**