

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

راهنمای عملیات صحرائی و آزمایشگاهی مطالعات هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی



اندازه‌گیری‌های صحرائی، نمونه‌برداری و روش‌های آنالیز کیفی و ایزوتوپی

دکتر حسین محمدزاده
استاد دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه:

عنوان و نام پدیدآور:

محمدزاده، حسین، ۱۳۴۶ -

راهنمای عملیات صحرایی و آزمایشگاهی مطالعات هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی: اندازه‌گیری‌های صحرایی، نمونه‌برداری و روش‌های آنالیز کیفی و ایزوتوپی/حسین محمدزاده؛ ویراستار علمی محمدحسین محمودی‌قرایی؛ ویراستار ادبی هانیه اسدپور فعال مشهد.

مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۳۹۹.

۱۲۸ ص. مصور، جدول، نمودار.

انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۷۵۳.

مشخصات نشر:

مشخصات ظاهری:

فروست:

شابک:

ISBN: 978-964-386-445-3

وضعیت فهرست‌نویسی:

فیبا.

یادداشت:

کتابنامه ص. [۱۱۸] - ۱۲۳، نمایه.

موضوع:

آب -- کیفیت -- اندازه‌گیری

موضوع:

آب‌های زیرزمینی -- کیفیت -- تجزیه و آزمایش

موضوع:

آب‌های زیرزمینی -- نمونه‌سنجی

موضوع:

آب -- تجزیه و آزمایش

موضوع:

آب -- شیمی

شناسه افزوده:

محمودی‌قرایی، محمدحسین، ۱۳۴۶ -، ویراستار.

شناسه افزوده:

دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.

رده‌بندی کنگره:

TD۳۶۷

رده‌بندی دیویی:

۶۲۸/۱۶

شماره کتابشناسی ملی:

۶۱۵۹۷۹۰

Water quality-- Measurement

Groundwater -- Quality -- Analysis

Groundwater -- Sampling

Water -- Analysis

Water -- chemistry

راهنمای عملیات صحرایی و آزمایشگاهی مطالعات هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی



انتشارات
۷۵۳

پدیدآورنده:

دکتر حسین محمدزاده

ویراستار علمی:

دکتر محمدحسین محمودی‌قرایی

ویراستار ادبی:

هانیه اسدپور فعال مشهد

مشخصات:

وزیری، ۱۵۰ نسخه، چاپ دوم، زمستان ۱۴۰۲ (اول، ۱۳۹۹)

چاپ و صحافی:

چاپخانه دقت

بها:

۱/۰۰۰/۰۰۰ ریال

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس

تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)

مؤسسه کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن‌بست

گشتاسب، پلاک ۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)

مؤسسه دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲

تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: press@um.ac.ir

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۱۱
مقدمه.....	۱۳
فصل ۱. پیمایش میدانی برای اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی آب.....	
۱-۱ مقدمه.....	۱۵
۲-۱ درجه حرارت (T).....	۱۶
۳-۱ هدایت الکتریکی (EC).....	۱۶
۴-۱ pH.....	۱۸
۵-۱ پتانسیل اکسیداسیون - احیا (Eh).....	۲۱
۶-۱ اکسیژن محلول (DO).....	۲۳
۷-۱ تیتراسیون‌های قلیائیت.....	۲۵
فصل ۲. نمونه‌برداری و روش‌های آنالیز نمونه‌های آب برای اندازه‌گیری یون‌ها.....	
۱-۲ مقدمه.....	۳۱
۲-۲ نمونه‌برداری و آنالیز آب برای آنیون‌های اصلی (Cl^- و F^- ، SO_4^{2-} ، NO_3^- ، Br^-).....	۳۲
۳-۲ نمونه‌برداری و آنالیز آب برای کاتیون‌های اصلی، فلزات فرعی و کمیاب.....	۳۲
۴-۲ نمونه‌برداری و آنالیز آب برای مواد مغذی (NH_4^+ ، NO_2^- ، NO_3^- و oPO_4).....	۳۵
۵-۲ سولفات و سولفید هیدروژن.....	۳۶
۶-۲ فیلتر کردن نمونه‌های آب در صحرا.....	۳۷
۷-۲ صحت‌سنجی و کنترل کیفی داده‌ها آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب.....	۴۰

فصل ۳. نحوه نمونه برداری و آنالیز آب باران و منابع آب برای ایزوتوپ‌های

- اکسیژن و هیدروژن ($^3\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ و $^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ، $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$)..... ۴۱
- ۱-۳ مقدمه..... ۴۱
- ۲-۳ نحوه نمونه برداری ایزوتوپی از باران برای اندازه گیری مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$ ۴۲
- ۱-۲-۳ جمع آوری آب باران در ایستگاه هواشناسی (باران سنج)..... ۴۲
- ۲-۲-۳ نحوه انباشت ماهیانه آب باران در ایستگاه‌های هواشناسی..... ۴۴
- ۳-۲-۳ نمونه برداری از آب باران ماهیانه برای آنالیز ایزوتوپی..... ۴۵
- ۳-۳ نحوه نمونه برداری و آنالیز ایزوتوپی ($\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^2\text{H}$) منابع آب..... ۴۸
- ۴-۳ نحوه نمونه برداری، روش‌های آشکارسازی و آنالیز تریتیوم (T)..... ۵۱
- ۱-۴-۳ نحوه نمونه برداری از باران و منابع آب برای آنالیز تریتیوم (T)..... ۵۱
- ۲-۴-۳ روش‌های آشکارسازی تریتیوم با غلظت‌های متفاوت..... ۵۳
- ۳-۴-۳ عملیات اندازه گیری غلظت تریتیوم در آزمایشگاه و روش محاسبه..... ۵۶

فصل ۴. نحوه نمونه برداری از منابع آب برای آنالیز غلظت کربن محلول (DIC و DOC)

- و ایزوتوپ‌های کربن ($^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$ ، $^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ و ^{14}C)..... ۵۹
- ۱-۴ مقدمه..... ۵۹
- ۲-۴ نحوه نمونه برداری و آنالیز غلظت کربن معدنی و آلی محلول (DIC و DOC) و ایزوتوپ‌های پایدار کربن..... ۶۰
- ($^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$ ، $^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$)..... ۶۱
- ۳-۴ نحوه نمونه برداری از منابع آب برای آنالیز رادیوکربن (^{14}C)..... ۶۵

فصل ۵. نحوه نمونه برداری از منابع آب برای آنالیز ایزوتوپ‌های نیتрат ($^{15}\text{NNO}_3^-$ و $^{18}\text{ONO}_3^-$)

- و ایزوتوپ آمونیاک ($^{15}\text{NNH}_4$)..... ۷۱
- ۱-۵ مقدمه..... ۷۱
- ۲-۵ نحوه نمونه برداری از منابع آب برای ایزوتوپ‌های نیترات ($^{15}\text{NNO}_3^-$ و $^{18}\text{ONO}_3^-$)..... ۷۱
- ۳-۵ نحوه نمونه برداری از منابع آب برای غلظت و ایزوتوپ نیتروژن آمونیاک ($^{15}\text{NNH}_4$)..... ۷۳
- ۱-۳-۵ اندازه گیری غلظت آمونیوم (NH_4)..... ۷۴
- ۲-۳-۵ اندازه گیری مقدار ایزوتوپ نیتروژن آمونیوم ($\delta^{15}\text{NNH}_4$)..... ۷۵
- ۳-۳-۵ اندازه گیری غلظت و ایزوتوپ N_2 ($\delta^{15}\text{NN}_2$)..... ۷۷

فصل ۶. نحوه نمونه برداری از منابع آب برای آنالیز سولفات ($^{18}\text{O}\text{SO}_4^-$ و $^{34}\text{S}\text{SO}_4^-$)

و ایزوتوپ سولفید هیدروژن ($^{34}\text{SH}_2\text{S}$)	۷۹
۱-۶ مقدمه	۷۹
۲-۶ نحوه نمونه برداری از منابع آب برای اندازه گیری مقدار ایزوتوپ های سولفات ($^{18}\text{O}\text{SO}_4^-$ و $^{34}\text{S}\text{SO}_4^-$)	۸۰
۱-۲-۶ حذف سولفید با گاز نیتروژن (N_2)	۸۳
۲-۲-۶ تهیه رسوب سولفات باریم در فیلد	۸۳
۳-۲-۶ تغلیظ سولفات توسط رزین تبادل آنیونی و تهیه رسوب سولفات باریم	۸۴
۴-۲-۶ تهیه رسوب سولفات باریم از نمونه های آب در آزمایشگاه	۸۶
۳-۶ نحوه نمونه برداری از منابع آب برای اندازه گیری مقدار ایزوتوپ سولفید هیدروژن ($^{34}\text{SH}_2\text{S}$)	۸۷
۴-۶ آنالیز ایزوتوپ اکسیژن سولفات	۸۷
۵-۶ اندازه گیری مقدار ایزوتوپ های سولفات ($\delta^{18}\text{O}\text{SO}_4^-$ و $\delta^{34}\text{S}\text{SO}_4^-$)	۸۸
۶-۶ دستورالعمل کوتاه و سریع اندازه گیری ایزوتوپ های سولفید ($\delta^{34}\text{SH}_2\text{S}$) و سولفات ($\delta^{18}\text{O}\text{SO}_4^-$ و $\delta^{34}\text{S}\text{SO}_4^-$)	۸۸

فصل ۷. نحوه نمونه برداری از منابع آب برای آنالیز غلظت و ایزوتوپ های هالیدها

(F، Cl، Br و I)، گازها (CO_2 ، N_2 ، N_2O و O_2) و گازهای نجیب

(He، Ne، Ar، Kr و Xe)	۹۱
۱-۷ مقدمه	۹۱
۲-۷ ایزوتوپ های هالیدها (F، Cl، Br و I)	۹۲
۱-۲-۷ ایزوتوپ های فلوئور (^{19}F)	۹۲
۲-۲-۷ ایزوتوپ های کلر (^{35}Cl ، ^{36}Cl و ^{37}Cl)	۹۲
۳-۲-۷ ایزوتوپ های برم (^{79}Br و ^{81}Br)	۹۴
۴-۲-۷ ایزوتوپ های ید (^{127}I ، ^{129}I و ^{131}I)	۹۴
۳-۷ ایزوتوپ های عناصر فرعی	۹۶
۴-۷ غلظت و ایزوتوپ های گازهای موجود در آب	۹۶
۱-۴-۷ حباب های گازی در آب	۹۷
۲-۴-۷ گازهای محلول در آب	۹۷
۳-۴-۷ آنالیز گازهای محلول	۹۸
۵-۷ غلظت و ایزوتوپ های گازهای نجیب/بی اثر	۹۹
۱-۵-۷ نمونه برداری آب برای گازهای نجیب	۱۰۰
۲-۵-۷ نمونه گیری های نفوذ گازی یا نفوذپذیر نسبت به گاز	۱۰۰

۶-۷	اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های (^2H ، ^{18}O و ^{13}C) آب منفذی و گازهای (CH_4 و CO_2) سنگ.....	۱۰۳
۶-۷	استخراج و اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های ^{18}O و ^2H آب منفذی مغزه سنگ.....	۱۰۵
۶-۷	جمع‌آوری گازهای (CH_4 و CO_2) آزاد شده از نمونه‌های مغزه سنگ.....	۱۰۶
۶-۷	اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های ^{13}C و ^2H گازهای (CH_4 و CO_2) مغزه سنگ.....	۱۰۶

پیوست ۱. راهنمای اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی آب در محل و شرایط و حجم نمونه‌برداری

۱۰۸	و روش آنالیز نمونه‌های آب برای اهداف مختلف مطالعات هیدروژئوشیمی.....	۱۰۸
۱۱۱	پیوست ۲. جدول ثبت پارامترهای صحرایی اندازه‌گیری‌شده در محل منابع آب.....	۱۱۱
۱۱۲	پیوست ۳. دستگاه‌ها و وسایل موردنیاز عملیات صحرایی مطالعات هیدروژئوشیمی و ایزوتوپی.....	۱۱۲
۱۱۳	پیوست ۴. شرح وظایف افراد شرکت‌کننده در پیمایش صحرایی و عملیات نمونه‌برداری.....	۱۱۳
۱۱۴	پیوست ۵. منشور اخلاق حرفه‌ای و انضباطی متآب برای عملیات صحرایی.....	۱۱۴
۱۱۶	پیوست ۶. دستگاه‌های موردنیاز برای اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار.....	۱۱۶
۱۲۰	منابع.....	۱۲۰
۱۲۸	Abstract.....	۱۲۸
۱۲۵	نمایه.....	۱۲۵

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ دستگاه‌های مولتی‌پارامتر قابل‌حمل برای اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی آب: (أ) دستگاه VWR SP90M5 برای اندازه‌گیری پارامترهای T, EC, TDS, pH, Eh و DO بر روی چشمه‌ها و آب‌های سطحی؛ (ب) دستگاه TLC, دستگاه کامپی‌باکس (Combi Box) و دستگاه تروول (Trool 9500) برای اندازه‌گیری پارامترهای T, EC و عمق سطح ایستابی در چاه‌های آب. دستگاه Trool علاوه بر موارد بالا، قادر به اندازه‌گیری برخی پارامترهای کیفی آب در محل نیز می‌باشد (محمدزاده، ۱۳۷۳ و ۱۳۹۵؛ محمدزاده، ۲۰۰۷)..... ۱۷
- شکل ۲-۱ نمایی از سلول جریان برای اندازه‌گیری پارامترهای pH, Eh و DO به‌دوراز تماس با هوا (محمدزاده، ۲۰۰۷)..... ۲۰
- شکل ۳-۱ (أ) اندازه‌گیری قلیانیت با آزمایش تیتراسیون در صحرای؛ (ب) دستگاه آنالیز کربن کل (TCA) تمام‌خودکار برای اندازه‌گیری DIC و DOC در آزمایشگاه..... ۲۶
- شکل ۴-۱ منحنی‌های تیتراسیون قلیانیت با استفاده از: (أ) پلات میلی‌لیتر اسید در مقابل pH (ب) پلات اکتیویته هیدروژن ($a_{H^+} = 10^{-pH}$)..... ۲۹
- شکل ۱-۲ نمونه‌برداری و برچسب‌گذاری نمونه‌های آب در محل منابع آب (محمدزاده، ۱۳۹۵)..... ۳۳
- شکل ۲-۲ تصاویری از اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی آب و نمونه‌برداری آب از رودخانه، چشمه و چاه (محمدزاده، ۱۳۹۵)..... ۳۳
- شکل ۳-۲ آماده‌سازی نمونه‌های آب در آزمایشگاه و دستگاه‌های IC و ICP برای آنالیز به‌ترتیب آنیون‌ها و کاتیون‌ها (محمدزاده، ۲۰۰۷)..... ۳۴
- شکل ۴-۲ فیلتر کردن نمونه‌های آب: (أ) در صحرای؛ (ب) در آزمایشگاه (محمدزاده، ۲۰۰۷)..... ۳۹
- شکل ۱-۳ (أ) نمونه‌برداری از منابع آب باران؛ (ب)، باران‌سنگ ذخیره‌ای؛ (ج) ذخیره آب باران در ظرف انباشت ماهیانه (محمدزاده و همکاران، ۲۰۲۰)..... ۴۳
- شکل ۲-۳ آماده‌سازی و پرچ کردن نمونه‌های آب با گاز هلیوم دارای CO_2 ۲٪ و H_2 ۲٪ برای اندازه‌گیری $\delta^{18}O$ و δ^2H توسط دستگاه طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی (IRMS)..... ۴۹
- شکل ۳-۳ آماده‌سازی و اندازه‌گیری $\delta^{18}O$ و δ^2H توسط دستگاه طیف نگاری کاواک جذب میرایی (CRDS) ساخت شرکت LGR (University of Waterloo-Environmental Isotope Laboratory (UW-EIL)..... ۵۰
- شکل ۴-۳ ظروف نمونه‌برداری برای تریتیوم..... ۵۲
- شکل ۱-۴ دیاگرام شماتیکی از نمایش اجزای DIC و ترکیب DOC در منابع آب (محمدزاده و شیرنژاد، ۱۳۹۴)..... ۶۰
- شکل ۲-۴ نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های آب برای دستگاه آنالیز کربن کل (TCA) متصل به دستگاه طیف‌سنجی جرمی نسبت ایزوتوپی (IRMS) (محمدزاده، ۲۰۰۷)..... ۶۱
- شکل ۳-۴ نمایش شماتیکی TC-CF-IRMS برای اندازه‌گیری غلظت‌های DIC و DOC و ایزوتوپ‌های $\delta^{13}C_{DIC}$ و $\delta^{13}C_{DOC}$ (محمدزاده و همکاران، ۲۰۰۸)..... ۶۳
- شکل ۴-۴ فلوجارت روش جداسازی و اندازه‌گیری غلظت و ایزوتوپ کربن در مولکول‌های مختلف کربن محلول POC, HA, FA و LMW DOC (محمدزاده و کلارک، ۲۰۰۸)..... ۶۸

شکل ۴-۵ (أ) جداسازی HA با اسیدی و فیلتر کردن نمونه آب؛ (ب) جداسازی FA از نمونه آب با رزین DAX-8؛ (ج) جداسازی مولکول‌های با وزن کم کربن آلی محلول (LMW DOC) از طریق دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC). شکل پایین دیگران، شماتیک اجزای HPLC را نشان می‌دهد (مارشدر و همکاران، ۲۰۰۵؛ محمدزاده، ۲۰۰۷؛ محمدزاده و کلارک، ۲۰۰۸)..... ۶۹

شکل ۵-۱ مراحل روش نیتروژن زدایی برای اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های نیترات (^{15}N و ^{18}O): (أ) تهیه محلول‌های موردنیاز (TSA و TSB) محیط کشت میکروبی؛ (ب) مراحل رشد باکتری سودوموناس آئروفا سینس؛ (ج) پرچ کردن هد اسپیس نمونه‌ها برای خارج کردن N_2O . تزریق نمونه آب نیترات‌دار به ظروف ۲۰ میلی‌لیتری و آنالیز گاز N_2O برای ایزوتوپ در دستگاه IRMS (محمدزاده و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۷۲

شکل ۲-۵ تعیین غلظت آمونیوم با استفاده از دستگاه و الکترود انتخاب یون آمونیوم (TM 390 pH/Temp/mv/ISE meter)، ساخت شرکت Beckman Instruments, Inc.، برای نمونه‌های آب دارای غلظت‌های بین ۱ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر آمونیوم (محمدزاده و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۷۵

شکل ۵-۳ اندازه‌گیری غلظت NH_4 و تهیه پودر نمک آمونیوم سولفات $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ موردنیاز برای اندازه‌گیری ایزوتوپ $\delta^{15}\text{N}_{\text{NH}_4}$ از طریق تقطیر کجدال (محمدزاده، ۲۰۰۶)..... ۷۷

شکل ۶-۱ فلوجارت روش‌های مختلف جمع‌آوری سولفات آب برای آنالیز و اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های سولفات ($\delta^{34}\text{S}$ و $\delta^{18}\text{O}$) در نمونه‌های آب (انجمن زمین‌شناسی آمریکا، ۱۹۹۸)..... ۸۲

شکل ۲-۶ حذف سولفید هیدروژن (H_2S) به وسیله گاز نیتروژن (N_2)، (انجمن زمین‌شناسی آمریکا، ۱۹۹۸)..... ۸۴

شکل ۳-۶ جمع‌آوری نمونه آب با غلظت سولفات کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر (انجمن زمین‌شناسی آمریکا، ۱۹۹۸)..... ۸۵

شکل ۷-۱ شکل شماتیک یک نمونه‌گیر نفوذ گازی یا نفوذپذیر نسبت به گاز (GDS)، (محمدزاده، ۲۰۰۷؛ محمدزاده و کلارک، ۲۰۱۱)..... ۱۰۱

شکل ۲-۷ مراحل نمونه‌برداری از گازهای محلول در آب با استفاده از نمونه‌گیرهای نفوذ گازی یا نفوذپذیر نسبت به گاز (GDS): (أ) چگونگی تهیه نمونه‌گیرهای نفوذ گازی GDS از لوله‌های مسی و لوله‌های سیلیکونی نفوذپذیر نسبت به گاز؛ (ب) چگونگی استقرار نمونه‌گیر GDS در آب و مسدود کردن آن با گیره یخچالی؛ (ج) چگونگی انتقال گاز ذخیره‌شده در نمونه‌گیر GDS به لوله‌های اگزوتینر شیشه‌ای ۱۲ میلی‌لیتری دارای در سپتوم (محمدزاده، ۲۰۰۷)..... ۱۰۲

شکل ۳-۷ (أ) نحوه استقرار نمونه‌گیر نفوذ گازی سیلیکونی مسی نفوذپذیر نسبت به گاز (GDS) در آبخوان برای نمونه‌برداری از گازهای محلول در آب آبخوان؛ (ب) شماتیک نمایش نفوذ گازهای محلول در آب زیرزمینی از طریق لوله سیلیکونی نفوذپذیر نسبت به گاز، وصل‌شده به لوله‌های مسی پر از هوا و مسدود در دو انتها برای جلوگیری از ورود آب (محمدزاده، ۲۰۰۷؛ کلارک، ۲۰۱۵)..... ۱۰۴

شکل ۷-۴ نمایش شماتیکی و چگونگی برپا کردن خط تقطیر خلأ برای استخراج آب منفذی و جمع‌آوری گازهای CO_2 و CH_4 موجود در نمونه‌های مغزه سنگ. ۱۰۸

شکل ۶-۱ بخش‌های مختلف دستگاه اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های سولفات (الیون و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۱۱۶

شکل ۶-۲ شماتیکی از بخش‌های مختلف دستگاه تجزیه عنصری (EA) مدل CE NC 2500..... ۱۱۸

شکل ۶-۳ درجه باز و بسته شدن یا درجه کنترل (OP) و رابط جریان پیوسته فینینگ (Finnigan ConFlo II). با بالا بودن کلید A گاز استاندارد تزریق نمی‌شود و با پایین بودن کلید B گاز استاندارد تزریق می‌شود (انجمن زمین‌شناسی آمریکا، ۲۰۰۶)..... ۱۱۸

شکل ۶-۴ میدان مغناطیسی در IRMS..... ۱۱۹

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱ محلول‌های بافر pH در دماهای مختلف موردنیاز برای کالیبره کردن دستگاه pH (کلارک، ۲۰۱۵)..... ۱۹
- جدول ۲-۱ محلول‌های زایل و کوئین‌هایدرون (دارای Eh مشخص) موردنیاز برای بررسی صحت عملکرد الکتروده Eh..... ۲۱
- جدول ۳-۱ مقادیر پتانسیل‌های استاندارد برای الکتروده کلرید نقره-نقره دارای محلول پرکننده ۳/۸ نرمال کلرید پتاسیم (3.8 N KCl) (کلارک، ۲۰۱۵)..... ۲۲
- جدول ۴-۱ مقادیر pH اندازه‌گیری‌شده با تیترا تور دیجیتالی و مقادیر محاسبه‌شده اکتیویته یون هیدروژن (کلارک، ۲۰۱۵)..... ۲۸
- جدول ۵-۱ راهنمای شرایط و روش اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی آب در محل در مطالعات هیدروژئوشیمی (محمدزاده، ۲۰۰۷)..... ۳۰
- جدول ۱-۲ راهنمای شرایط و حجم نمونه‌برداری و روش آنالیز نمونه‌های آب برای اهداف مختلف مطالعات هیدروژئوشیمی (ون بروکلین، ۲۰۰۳؛ محمدزاده، ۲۰۰۷؛ کلارک، ۲۰۱۵)..... ۳۵
- جدول ۲-۲ بازه اندازه اجزا و ترکیبات محلول در آب‌های طبیعی (کلارک، ۲۰۱۵)..... ۳۸
- جدول ۱-۳ راهنمای شرایط و حجم نمونه‌برداری و روش آنالیز ایزوتوپ‌های مولکول آب (محمدزاده و سلیمانی، ۱۳۹۷؛ کلارک، ۲۰۱۵)..... ۴۸
- جدول ۲-۳ نحوه نمونه‌برداری تریتیوم برای غلظت‌های متفاوت (جانسون و همسرک، ۲۰۱۵)..... ۵۲
- جدول ۳-۳ مراحل اندازه‌گیری غلظت تریتیوم در آزمایشگاه و روش محاسبه (جکسون و پترسون، ۱۹۸۲)..... ۵۷
- جدول ۱-۴ راهنمای شرایط و حجم نمونه‌برداری و روش آنالیز غلظت و ایزوتوپ‌های کربن محلول آلی و معدنی (محمدزاده و کلارک، ۲۰۰۸؛ کلارک، ۲۰۱۵)..... ۶۲
- جدول ۲-۴ استاندارد مورد استفاده در دستگاه TC و IRMS برای اندازه‌گیری غلظت‌های DIC و DOC و مقادیر $\delta^{13}C$ (استی‌جین، ۲۰۰۳)..... ۶۳
- جدول ۱-۵ راهنمای شرایط و حجم نمونه‌برداری و روش آنالیز غلظت و ایزوتوپ‌های گونه‌های نیترژن (نورث و همکاران؛ محمدزاده و همکاران، ۲۰۰۶؛ امیری و همکاران، ۲۰۱۵)..... ۷۳
- جدول ۱-۶ راهنمای شرایط و حجم نمونه‌برداری و روش آنالیز غلظت و ایزوتوپ‌های گونه‌های سولفور (فریتز و همکاران، ۱۹۹۴؛ محمدزاده و بنیابادی، ۱۳۹۷)..... ۸۱
- جدول ۱-۷ راهنمای شرایط و حجم نمونه‌برداری و روش آنالیز غلظت و ایزوتوپ‌های هالیدها، گاز و گازهای نجیب (هاکلی و همکاران، ۱۹۹۶؛ ون‌بروکلین، ۲۰۰۳؛ نورث و همکاران، ۲۰۰۴؛ محمدزاده و کلارک، ۲۰۱۱؛ کلارک، ۲۰۱۵)..... ۹۳
- جدول ۲-۷ راهنمای شرایط و حجم نمونه‌برداری و روش آنالیز غلظت و ایزوتوپ‌های عناصر فرعی (کلارک، ۲۰۱۵)..... ۹۶
- جدول ۳-۷ گازهای معمول در اتمسفر، ثابت قانون هنری و ضریب بوسن در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و حلالیت این گازها در آب در زمان تعادل با اتمسفر (اسمیت، ۱۹۹۳؛ ساندر، ۱۹۹۹)..... ۱۰۲

فهرست روابط

۱۸.....	رابطه ۱-۱.....
۲۲.....	رابطه ۲-۱.....
۲۲.....	رابطه ۳-۱.....
۲۳.....	رابطه ۴-۱.....
۲۶.....	رابطه ۵-۱.....
۲۶.....	رابطه ۶-۱.....
۲۸.....	رابطه ۷-۱.....
۲۹.....	رابطه ۸-۱.....
۲۹.....	رابطه ۹-۱.....
۴۰.....	رابطه ۱-۲.....
۵۴.....	رابطه ۱-۳.....
۵۴.....	رابطه ۲-۳.....
۵۵.....	رابطه ۳-۳.....
۶۵.....	رابطه ۱-۴.....
۷۲.....	رابطه ۱-۵.....
۸۱.....	رابطه ۱-۶.....
۸۱.....	رابطه ۲-۶.....
۸۵.....	رابطه ۳-۶.....

تقدیم به

همسر عزیز و پسران گلم

و به کسانی که با پایش دقیق و حفظ منابع آب
باعث پایداری و پیشرفت ایران عزیز می‌شوند.

پیشگفتار

استفاده از تکنیک‌های هیدروژئوشیمیایی و فناوری ایزوتوپی برای مطالعه و شناخت منابع آب، به‌ویژه آب‌های زیرزمینی و آب‌های ژرف، بسیار ضروری و مهم است. کنترل و حفاظت کیفی منابع آب که از اصول توسعه پایدار کشور محسوب می‌شود و برای حفظ سلامت انسان‌ها و محیط‌زیست ضروری است، نیازمند پایش مداوم و دقیق کیفی آب و تولید داده‌های صحیح و قابل اطمینان می‌باشد؛ چراکه با ارزیابی داده‌های کیفی آب، قانون‌گذاران و مدیران تصمیم‌گیرنده، اثر سیاست‌های آبی گذشته بر بهبود و یا بدتر شدن کیفیت منابع آب را بررسی خواهند کرد و قادر به اتخاذ تصمیمات و سیاست‌های جدید برای حفاظت از منابع آب و محیط‌زیست خواهند بود. بنابراین، تولید داده‌های دقیق و قابل اطمینان کیفی و ایزوتوپی که با زحمت بسیار زیاد و پرداخت هزینه هنگفت برای نمونه‌برداری، نگهداری و آنالیز نمونه‌های آب تهیه می‌شود، نه تنها برای آگاهی از کیفیت منابع آب جهت مصارف مختلف شرب، کشاورزی و صنعت بسیار ضروری است، بلکه نتایج طرح‌های تحقیقاتی نیز زمانی قابل استفاده و کاربردی است که بر مبنای اطلاعات و داده‌های درست و مطابق با واقعیت باشد.

این کتاب حاصل تجربیات عملیات صحرایی، آزمایشگاهی و تحقیقات ۲۵ ساله نویسنده در دانشگاه‌های فردوسی مشهد و شیراز و دانشگاه‌های اتاوا و واترلو کانادا، به‌خصوص در طی دوران تحصیلات دکتری، پسادکتری و فرصت مطالعاتی در کشور کانادا است. مطالب این کتاب راهنمای مناسبی برای دانشجویان و متخصصان به‌منظور نمونه‌برداری از منابع آب جهت مطالعات هیدروژئوشیمی و ایزوتوپی است. در واقع، این کتاب به ارائه روش‌های صحیح تهیه نمونه‌های آب از مرحله نمونه‌برداری تا مرحله آنالیز نمونه‌ها و چگونگی آنالیز نمونه‌های آب می‌پردازد. افراد زیادی در نوشتن این کتاب نقش داشته‌اند. از این رو، برخود لازم می‌دانم از همه آن‌ها به‌خصوص

پروفسور یان کلارک، استاد دانشگاه اتاوا کانادا، به‌خاطر فراهم آوردن شرایط برای کسب تجربه در آزمایشگاه هیدروژئوشیمی و ایزوتوپی دانشگاه اتاوا و از پروفسور رامون آراونا، استاد دانشگاه واترلو، به‌خاطر اجازه کار در آزمایشگاه هیدروژئوشیمی و ایزوتوپ‌های محیطی دانشگاه واترلو و از پروفسور محمد زارع، استاد دانشگاه شیراز، صمیمانه تقدیر و تشکر کنم. همچنین از اساتید ارجمند آقای دکتر غلامحسین کرمی برای داوری علمی این کتاب، آقایان دکتر محمدرضا حسین‌دخت، دکتر محمدهادی هادی‌زاده و دکتر عباسعلی اسماعیلی برای کمک به استفاده صحیح و دقیق اصطلاحات علمی، آقای دکتر محمدحسین محمودی قرایی برای ویراستاری علمی کتاب و از سرکار خانم اسدپور برای ویرایش ادبی کتاب صمیمانه تشکر می‌کنم.

کار کردن و هم‌فکری با جوانان باهوش در صحرا و در آزمایشگاه در طی انجام پایان‌نامه، بسیار لذت‌بخش و باعث خوشبختی است. از همه دانشجویان عزیز به‌خاطر ایجاد چنان لحظات شاد و خاطرات به‌یادماندنی و نقش مهم آن‌ها در پیشرفت مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متآب) و مشارکت ارزشمندشان در نوشتن این کتاب صمیمانه تشکر می‌کنم.

همچنین از دست‌اندرکاران مدیریت نشر آثار علمی دانشگاه فردوسی مشهد، برای نمونه‌خوانی، ویراستاری ادبی، صفحه‌آرایی و چاپ کتاب صمیمانه قدردانی می‌شود.

دکتر حسین محمدزاده

مرکز تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متآب)

پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

mohammadzadeh@um.ac.ir

بهار ۱۳۹۹

مقدمه

جمع‌آوری داده‌های کیفی آب قابل‌اطمینان برای حفاظت و توسعه منابع آب موردنیاز است. بنابراین، اندازه‌گیری دقیق پارامترهای صحرایی آب، نمونه‌برداری صحیح از منابع آب و روش‌های آنالیز شیمیایی و ایزوتوپی آب برای به‌دست آوردن اطلاعات قابل‌اطمینان از منابع آبی بسیار ضروری است. اگر نمونه آب برداشت‌شده نماینده واقعی کیفیت آب نباشد و یا روش‌های اندازه‌گیری و آنالیز نمونه‌های آب دقت لازم را نداشته باشد، داده‌های بد تولید می‌شوند که تصمیمات و عملیات نامناسب و بی‌فایده در پی خواهند داشت.

به‌طور کلی استفاده از داده‌های هیدروژئوشیمی و ایزوتوپی در مطالعات هیدرولوژی، هیدروژئولوژی و آب‌های ژئوترمال و ژرف، به طراحی مناسب روش نمونه‌برداری و نحوه آنالیز نمونه‌های آب بستگی دارد. برای دستیابی به اهداف پایش، نمونه‌برداری آب بایستی با طراحی یک برنامه‌ریزی درست (تعیین نوع یون‌ها و ایزوتوپ‌های موردنظر برای اندازه‌گیری، مکان‌های نمونه‌برداری، زمان و تعداد دفعات نمونه‌برداری، نحوه نگهداری نمونه‌ها و انتخاب آزمایشگاه مناسب برای آنالیز نمونه‌ها) صورت گیرد. عدم دقت در نمونه‌برداری صحیح و آنالیز درست نمونه‌های آب، به تولید داده‌های نامعتبر منجر می‌شود و نتایج حاصل از تفسیر این داده‌ها به‌دور از واقعیت و کاربردی نیست. از این‌رو، به‌منظور تولید داده‌ها و اطلاعات قابل‌اعتماد، نمونه‌برداری بایستی با دقت زیاد و صحیح صورت گیرد. از آنجایی که برخی فرایندها و واکنش‌ها مانند تبخیر، به‌شدت بر کیفیت شیمیایی و محتوای ایزوتوپی آب تأثیر می‌گذارند، ظروف جمع‌آوری نمونه آب و نحوه نمونه‌برداری می‌بایست طوری انتخاب و طراحی شوند که در طی نمونه‌برداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نه تنها تبخیر از آب صورت نگیرد، بلکه تغییرات کیفی آب از لحظه برداشت تا زمان آزمایش به حداقل برسد. نمونه‌برداری برای برخی از آنالیزها ممکن است پیچیده‌تر باشد. بنابراین، بهتر است درمورد نوع ظروف، حجم آب موردنیاز و روش نمونه‌برداری، قبل از رفتن به صحرا با آزمایشگاه هماهنگ شود. این کتاب شامل هفت فصل است که به چگونگی اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی آب در محل،

نحوه نمونه‌برداری و روش‌ها و دستگاه‌های آنالیز شیمیایی و ایزوتوپی نمونه‌های آب برای اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، ایزوتوپ‌های مولکول آب (^2H ، ^3H و ^{18}O)، غلظت کربن محلول آلی و معدنی (DIC و DOC) و ایزوتوپ‌های کربن ($^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ، $^{13}\text{C}_{\text{DOC}}$ و ^{14}C)، ایزوتوپ‌های نیتрат (^{15}N و ^{18}O) و آمونیاک (^{15}N)، ایزوتوپ‌های سولفید هیدروژن (^{34}S) و سولفات (^{34}S و ^{18}O) و غلظت و ایزوتوپ‌های هالیدها (F، Cl، Br و I)، گازها (CH_4 و O_2 ، N_2O ، N_2 ، CO_2)، گازهای نجیب (He، Ne، Ar، Kr و Xe) می‌پردازد. راهنمای شرایط و حجم نمونه‌برداری و روش آنالیز نمونه‌های آب برای اهداف مختلف مطالعات هیدروژئوشیمی به‌طور خلاصه در جدول پیوست ۱ ارائه و در فصل‌های مختلف به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.