



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

INSO
20594

1St. Edition
2016

سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۵۹۴
چاپ اول
۱۳۹۵

**بررسی و آزمون ژئوتکنیکی - آزمون
زمین‌گرمایی - تعیین هدایت حرارتی خاک
و سنگ با استفاده از مبدل حرارتی گمانه
- روش آزمون -**

**Geotechnical investigation and
testing - Geothermal testing
- Determination of thermal
conductivity of soil and rock using a
borehole heat exchanger - Test Method**

ICS:93.020;13.080.20

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظر آن مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولید کنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد-کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشتہ طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذیصلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که براساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد^۱ (ISO)، کمیسیون بین‌المللی الکترونیک^۲ (IEC) و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی^۳ (OIML) است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی^۵ (CAC) در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آنرا اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمانها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرگانی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسائل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران اینگونه سازمان‌ها و مؤسسات را براساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احرار شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاهای کالیبراسیون (واسنجی) وسائل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبهای و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1-International Organization for Standardization

2-International Electrotechnical Commission

3-International Organization for Legal Metrology (Organization Internationale de Métrologie Legale)

4-Contact point

5-Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«بررسی و آزمون ژئوتکنیکی - آزمون زمین‌گرمایی - تعیین هدایت حرارتی خاک و سنگ با استفاده از مبدل حرارتی گمانه‌ای»

سمت و / یانمایندگی

رئیس:

دانشگاه یاسوج - دانشکده فنی مهندسی
غلامی، محمد
(دکترای مهندسی عمران)

دبیر :

اداره کل استاندارد استان کهگیلویه و بویراحمد
جهانبین، حمزه
(کارشناسی مهندسی عمران)

اعضاء: (سامی به ترتیب حروف الفباء)

کارشناس رسمی استاندارد
آذرگشسب، محمد
(کارشناسی مهندسی اکتشاف و معدن)

آزمایشگاه مکانیک خاک تندیس راک سمیر
باقرزاده، سهیلا
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان کهگیلویه و بویراحمد
بخشی، حمید
(کارشناسی مهندسی عمران)

مسئول کنترل کیفیت
تاجبخش، علی
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک
جمشیدی، حسین
(کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی)

شرکت بازرگانی سنجش آتیه پاسارگاد
جوزاریان، عهدیه
(کارشناسی مهندسی عمران)

اداره کل راه و شهرسازی استان کهگیلویه و بویراحمد
جهانبازی، کمال الدین
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران)

اعضاء (ادامه) سمت و / یا نمایندگی

دانشگاه آزاد یاسوج - دانشکده فنی مهندسی

خلقی‌فرد، مهرداد

(دکترای مهندسی عمران - ژئوتکنیک)

اداره کل استاندارد استان کهگیلویه و بویراحمد

دلپذیر، اسلام

(کارشناسی مهندسی عمران)

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

زمانی‌فر، الهام

(دکتری شیمی - معدنی)

سازمان ملی استاندارد ایران

عباسی رزگله، محمدحسین

(کارشناس مهندسی مواد - سرامیک)

اداره کل استاندارد استان کهگیلویه و بویراحمد

فریدونی، محمدجواد

(کارشناسی مهندسی عمران)

اداره کل استاندارد استان کهگیلویه و بویراحمد

محمدی، داوود

(کارشناسی مهندسی صنایع)

اداره کل استاندارد استان کهگیلویه و بویراحمد

موسویان، سید ابوالفضل

(کارشناسی ارشد شیمی - کاربردی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۴	۴ نمادها و کوتاه‌نوشت‌ها
۶	۵ نصب مبدل‌های حرارتی درون گمانه‌ای
۶	۱-۵ دستگاه‌های حفاری و تجهیزات جانبی
۶	۲-۵ مبدل‌های حرارتی گمانه، نحوه پرکردن و مصالح پرکننده فضای خالی
۸	۳-۵ الزامات عمومی قبل از نصب
۱۱	۴-۵ اجرا
۱۷	۶ آزمون پاسخ زمین‌گرمایی
۱۷	۱-۶ کلیات
۱۷	۲-۶ وسایل انجام آزمون
۱۸	۳-۶ روش انجام آزمون
۲۰	۴-۶ بیان نتایج آزمون
۲۱	۵-۶ ارزیابی نتایج آزمون
۲۱	۷ گزارش آزمون
۲۱	۱-۷ گزارش میدانی
۲۴	۲-۷ گزارش نتایج
۲۶	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) نمونه فرم اطلاعات اولیه قبل از نصب مبدل حرارتی
۲۸	پیوست ب (آگاهی‌دهنده) گزارش‌های میدانی
۳۳	پیوست پ (آگاهی‌دهنده) مثال تصویری مبدل حرارتی گمانه نصب شده و مقطع عرضی زمین‌شناسی در طول گمانه
۳۴	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «بررسی و آزمون ژئوتکنیکی- آزمون زمین‌گرمایی- تعیین هدایت حرارتی خاک و سنگ با استفاده از مبدل حرارتی گمانه‌ای» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های فنی مربوط تهیه و تدوین شده و در ششصد و چهل و هشتاد و سی اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۵/۱/۲۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در موقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استاندارد ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 17628: 2015, Geotechnical investigation and testing- Geothermal testing-Determination of thermal conductivity of soil and rock using a borehole heat exchanger

بررسی و آزمون ژئوتکنیکی - آزمون زمین‌گرمایی - تعیین هدایت حرارتی خاک و سنگ با استفاده از مبدل حرارتی گمانه‌ای

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات آزمون پاسخ زمین‌گرمایی^۱ است. این آزمون شامل اندازه‌گیری میدانی هدایت حرارتی خاک و سنگ (اشباع و غیر اشباع) از طریق یک مبدل حرارتی نصب شده در گمانه می‌باشد. در این آزمون از سیالی که دچار تغییر فاز (حالت) نمی‌شود برای انتقال گرما استفاده می‌شود. هدایت حرارتی پارامتری مهم در طراحی مخازن حرارتی و سامانه‌های مبدل حرارتی است.

نسبت پاسخ حرارتی به شدت انرژی حرارتی در یک مبدل حرارتی درون گمانه‌ای^۲ و یا استخراج انرژی حرارتی از یک گمانه توسط آزمون پاسخ زمین‌گرمایی اندازه‌گیری می‌شود. پاسخ دمایی با پارامترهای حرارتی زمین و مصالح پرکننده گمانه مانند هدایت حرارتی و مقاومت حرارتی در گمانه، ارتباط دارد و از این‌رو از آن برای حصول مقادیر تخمینی این پارامترها استفاده می‌شود.

این استاندارد در مورد مبدل‌های حرارتی نصب شده در گمانه عمودی یا مایل با ماکسیمم طول ۴۰۰ متر و ماکسیمم قطر ۲۰۰ میلی‌متر به کار می‌رود.

۲ مراجع الزامی

مراجع الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 14688-1, Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 1:Identification and description

1-Geothermal Response Test (GRT)
2-Borehole Heat Exchanger (BHE)

- 2-2 ISO 14689-1, Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of rock - Part 1: Identification and description
- 2-3 ISO 22475-1, Geotechnical investigation and testing - Sampling methods and groundwater measurements - Part 1: Technical principles for execution
- 2-4 EN 16228-1, Drilling and foundation equipment - Safety - Part 1: Common requirements
- 2-5 EN 16228-2, Drilling and foundation equipment - Safety - Part 2: Mobile drill rigs for civil and geotechnical engineering, quarrying and mining

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف بیان شده در استاندارد ISO 22475-1 اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می رود.

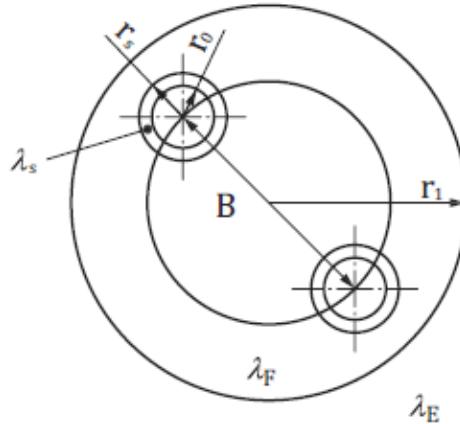
۱-۳

مبدل حرارتی گمانه

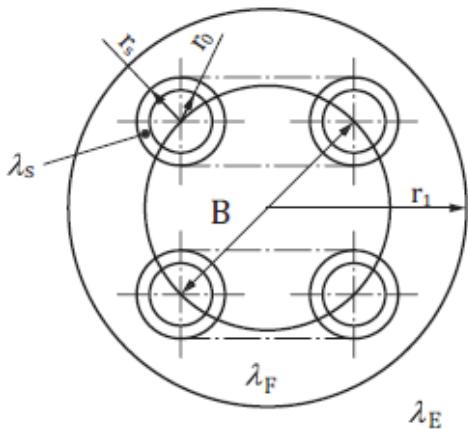
borehole heat exchanger

یک یا دو لوله U شکل، یا یک لوله هم محور (متشکل از یک لوله داخلی و یک لوله بیرونی) درون گمانه به منظور گردش سیال در آن.

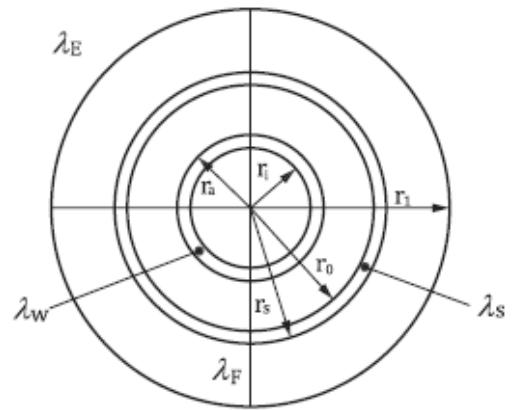
یادآوری ۱ - به شکل های ۱ و ۲ مراجعه کنید.



شکل الف- یک لوله U شکل



ب- دو لوله U شکل

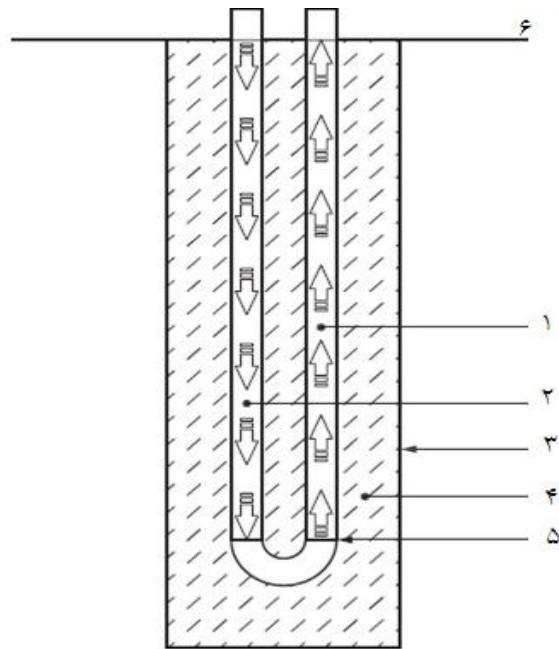


شکل پ- لوله هم محور شکل

راهنما

λ_F	هدایت حرارتی مصالح پر کننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها	r_1	شعاع گمانه
λ_W	هدایت حرارتی لوله داخلی گمانه	r_i	شعاع داخلی
λ_s	هدایت حرارتی لوله خارجی گمانه	r_a	شعاع خارجی
λ_E	هدایت حرارتی زمین	r_o	شعاع درونی لوله خارجی
B	فاصله بین لوله‌ها	r_s	شعاع بیرونی لوله خارجی

شکل ۱- مقطع عرضی نمونه‌هایی از لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای



راهنمای

- ۱ خروجی مبدل حرارتی
- ۲ ورودی مبدل حرارتی
- ۳ دیوار گمانه
- ۴ مصالح پرکننده فضای خالی بین لوله و دیواره گمانه
- ۵ اتصال
- ۶ سطح زمین

شکل ۲- نمونه ای از مبدل حرارتی درون گمانه ای به همراه مصالح پرکننده فضای خالی بین لوله و دیواره گمانه

۲-۳

آزمون پاسخ زمین گرمایی

geothermal response test

آزمون تعیین هدایت حرارتی خاک و سنگ می باشد.

۴ نمادها و کوتاهنوشتها

در این استاندارد نمادها و کوتاهنوشتها طبق جدول ۱ به کار می رود.

جدول ۱- فهرست نمادها و کوتاهنوشت‌ها

نام	نام گذاری	واحد
A	مساحت کل مقطع عرضی سطح هادی	m^2
B	فاصله بین لوله‌ها	m
H	طول مبدل حرارتی گمانه	m
k	شیب	
m	جرم ماده	kg
ρc_p	ظرفیت حرارتی حجمی	$J/m^3/K$
Q	شار حرارتی	W
r_o	شعاع گمانه	m
r_i	شعاع داخلی	m
r_a	شعاع خارجی	m
r_o	شعاع درونی لوله خارجی	m
r_s	شعاع بیرونی لوله خارجی	m
R_e	عدد رینولدز	
R_b	مقاومت گمانه	
T	دما	C°
T_0	دماهی اولیه زمین دست نخورده	C°
T_f	دماهی سیال در زمان t	C°
t_1	حداقل مدت زمان آزمون	
x	ضخامت سطح هادی جدا کننده دو دماهی متفاوت	m
λ	هدایت حرارتی	$W/m/K$
λ_E	هدایت حرارتی زمین	$W/m/K$
λ_{eff}	هدایت حرارتی مؤثر	$W/m/K$
λ_{est}	هدایت حرارتی تخمین زده شده	$W/m/K$
λ_F	هدایت حرارتی ماده پرکننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها	$W/m/K$
λ_s	هدایت حرارتی لوله خارجی گمانه در حالت هم محور	$W/m/K$
λ_w	هدایت حرارتی لوله داخلی گمانه در حالت هم محور	$W/m/K$

۵ نصب مبدل‌های حرارتی درون گمانه‌ای

۱-۵ دستگاه‌های حفاری و تجهیزات جانبی

۱-۱-۵ کلیات

تجهیزات حفاری انتخابی (برای ایجاد عملکرد مورد نیاز) باید نوع و اندازه مناسب داشته باشند.

۲-۱-۵ الزامات دستگاه‌ها و تجهیزات حفاری

دستگاه‌های حفاری با پایداری و توان مناسب، همراه با تجهیزاتی مانند میله‌های حفاری، لوله جدار، نمونه‌گیرها و مته باید طوری انتخاب گردد که عمق مورد نیاز حفاری و پایداری گمانه تامین شود. دستگاه‌ها و تجهیزات حفاری باید تمام عملیات حفاری را به درستی انجام دهند.

در زمانهای معین، باید پارامترهای حفاری زیر با توجه به عمق آن ثبت و اندازه‌گیری شوند:

الف- نرخ نفوذ (m/min)

ب- طول حفاری شده (m)

پ- نرخ بازیابی جت مایع (غالباً آب) (l/min)

ت- جهت‌یابی و انحراف (درجه)

ث- قطر گمانه (mm)

ج- لوله جدار و طول آن

چ- سیال بکارگیری شده در جت مایع.

۵-۲ مبدل‌های حرارتی درون گمانه‌ای، نحوه پرکردن و مصالح پرکننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها

۱-۲-۵ مصالح مبدل حرارتی درون گمانه‌ای

بر اساس هدف و طراحی و با در نظرگیری موارد زیر باید مصالح لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای انتخاب شوند:

الف- کیفیت؛

ب- دوام؛

پ- خوردگی؛

ت- مقاومت حرارتی؛

ث- مقاومت در برابر ضربه؛

ج- مقاومت هیدرولیکی؛

ج- مقاومت فشاری؛

ح- مقاومت در برابر تغییر شکل؛

خ- ایمنی، در ارتباط با آلودگی زمین و آبهای زیرزمینی؛

د- ابعاد (قطر، ضخامت دیواره، و فاصله).

لوله‌های پلاستیکی برای استفاده در آبهای زیرزمینی غیرقابل شرب، باید از جنس لوله سیاه دارای حداقل کیفیت 100PE باشند. این لوله‌ها باید در همه مبدل‌های حرارتی گمانه از صالح یکسان ساخته شوند.

فاصله دهنده لوله‌ها، باید به ترتیبی به لوله‌های U شکل متصل شوند تا از ایجاد پل‌های حرارتی جلوگیری کنند. کمترین فاصله جدا کننده، باید حداقل ۲ متر باشد.

هر متر از لوله‌ها را از انتهای مبدل حرارتی گمانه شماره گذاری کنید. اعداد باید به ترتیب سعودی از صفر شروع شده و تا انتهای لوله افزایش یابند طوری که در تمام مراحل، طول لوله‌های نصب شده قابل اندازه‌گیری باشد.

۲-۲-۵ سیال انتقال دهنده حرارت لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای

سیال انتقال دهنده حرارت در لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای باید الزامات آزمون مورد نظر و مقررات زیست محیطی را برآورده کند.

باید از آب یا آب یون‌زدایی شده به دلیل خواص هیدرودینامیکی مناسب استفاده شود، چون اگر در مبدل حرارتی درون گمانه‌ای نشت رخ دهد، زمین و آبهای زیرزمینی را به مخاطره نمی‌اندازد.

ظرفیت حرارتی ویژه سیال انتقال دهنده حرارت باید مشخص باشد.

استفاده از مواد افزودنی ضد یخ باید توجیه‌پذیر باشد. در صورت استفاده، باید بین صالح پرکننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها و شرایط ذوب و یخ‌ندان، به منظور جلوگیری از ایجاد ترک در صالح سازگاری وجود داشته باشند.

طراحی باید براساس حداقل دمای سیال انتقال دهنده حرارت انجام گیرد.

۳-۲-۵ ماده پرکننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها

مصالح پرکننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها باید حرارت را از زمین به مبدل حرارتی درون گمانه‌ای و بر عکس منتقل کند. به منظور جلوگیری از ورود و نفوذ احتمالی آلدگی به درون زمین و ورود آلودگی‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی، گمانه باید تا سطح زمین آب‌بندی شود. مصالح پرکننده باید شرایط بادوام و پایداری را از نظر فیزیکی و شیمیایی برای مبدل حرارتی درون گمانه‌ای فراهم نماید. این ماده باید برای تمام گستره‌های دمایی مربوطه مناسب باشد.

مصالح پرکننده باید بر اساس هدایت حرارتی زمین و آب‌های زیرزمینی پیرامونی انتخاب شود.

باید از مصالح پرکننده اصلاح شده از نظر حرارتی با هدایت حرارتی بزرگ‌تر از 2W/mK استفاده شود.

مصالح پرکننده باید از نظر شیمیایی برای محیط زیست و سلامت جامعه بی‌ضرر باشد.

۳-۵ الزامات عمومی قبل از نصب

۱-۳-۵ الزامات محل نصب و حفاری

قبل از شروع حفاری باید نقاط مورد نظر بر روی منطقه مورد مطالعه مشخص شود. مکان و ارتفاع نقاط حفاری باید به طور صحیح و مطابق با شرایط محل، بررسی و برای تکمیل فرآیند اجرا در نقشه منطقه وارد شود.

مکان حفاری و نصب باید با توجه به خطرات مرتبط، تاسیسات زیرزمینی، فعالیت‌های معدنی زیرزمینی جاری و گذشته، حفره‌های طبیعی و غیر مترقبه، مهمات منفجر نشده و در صورت لزوم، اقدامات متناسب به کار گرفته شده، بررسی شوند. مکان‌های حفاری و نصب بر روی زمین آلدده باید توسط دستورالعمل‌های ویژه توزیع شود.

باید اثرات زیستمحیطی حفاری و نصب در نظر گرفته شود. موارد ویژه زیر باید در نظر گرفته شود:

- مناطق تامین آب؛

- مناطق با شرایط سفره‌های آب زیرزمینی محبوس یا آرتزین^۱؛

- مناطق با سفره‌های آب زیرزمینی متعدد و

- زمین‌های با خاک‌ها یا سنگ‌های تورمپذیر یا فروریزشی^۲.

برای اینکه پایداری ساختمان‌ها به خطر نیفتد، فاصله تا ساختمان‌های موجود باید حداقل ۲ متر باشد.

1-Artesian

2-Collapsible

۲-۳-۵ انتخاب روش‌های حفاری و نصب

فنون و روش‌های حفاری و نصب باید مطابق با هدف طراحی مبدل حرارتی درون گمانه‌ای و شرایط هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی مورد نظر انتخاب شود.

در صورت نیاز به نصب مبدل حرارتی در زمین ناپایدار، وجود گمانه‌های پایدار یا پایدار شده با لوله جدار، یا حفاری با جت سیال مناسب ضروری است.

روش نمونه‌برداری، حمل نمونه، روش‌های نگهداری باید مطابق با استاندارد ISO 22475-1 کیفی مورد نیاز برای نمونه انتخاب شود.

برای تفسیر نتایج آزمون پاسخ زمین‌گرمایی و برای انتخاب مصالح پرکننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها، شناخت شرایط هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی ضروری است.

۳-۳-۵ اطلاعات اولیه مورد نیاز قبل از شروع حفاری و نصب

قبل از شروع حفاری و نصب باید اطلاعات اولیه زیر در دسترس باشد:

الف- مکان مبدل حرارتی درون گمانه‌ای طراحی شده؛

ب- الزامات شماره‌گذاری گمانه؛

پ- عمق‌های تعیین و طرح شده گمانه‌ها مطابق با طرح کلی؛

ت- جهت، شیب و انحراف قابل قبول در گمانه؛

ث- طرح نصب مبدل حرارتی درون گمانه‌ای شامل مصالح پرکننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها؛

ج- رواداری‌های مربوط به عمق گمانه و طول نصب؛

چ- زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی مورد نظر؛

ح- فضای مورد نیاز، در دسترس بودن مکان حفاری، مسیرهای حمل؛

خ- خطرات (ریسک) ایمنی و زیست محیطی مربوطه از قبیل سیال بکار رفته در جت شستشو یا مواد افزودنی در نظر گرفته شده و همچنین مقررات استفاده از آن‌ها؛

د- خطرات (ریسک) احتمالی، ناشی از تاسیسات زیرزمینی و سطحی، ترافیک، مهمات منفجر نشده و غیر متربقه وآلودگی؛

ذ- تمهیدات دفع گل حفاری و خرده سنگ‌ها؛

ر- تامین مصالح کمکی، آب و انرژی؛

- ز- روش نمونهبرداری و رده نمونهبرداری مورد نظر؛
- س- بررسی نمونه، نگهداری و حمل مورد نظر مطابق با استاندارد ISO 22475-1؛
- ش- الزامات مربوط به اندازه‌گیری‌های طراحی شده در مبدل حرارتی درون گمانه‌ای؛
- ص- دقت و عدم قطعیت مورد نیاز اندازه‌گیری‌ها؛
- ض- تعداد تکرار اندازه‌گیری‌ها؛
- ط- آزمون‌های میدانی مورد نظر؛
- ظ- ثبت محل گمانه زنی؛
- ع- ایمنی زیست محیطی؛
- غ- تدابیر اضطراری؛
- ف- مشخص کردن مجوزهای لازم؛
- ق- نام شخص رابط؛
- ک- گردش برنامه‌ریزی شده اطلاعات.

۴-۳-۵ الزامات زیست محیطی

برای هر وضعیت خاص (با توجه به آسیب‌ها و حفاظت از محیط زیست) استانداردهای ملی، دستورالعمل‌ها یا الزامات قانونی مربوطه یا استانداردهای بین‌المللی مربوطه باید به کار رود.

۵-۳-۵ الزامات ایمنی

برای برقراری ایمنی در محل و ایمنی روش کار، باید استانداردهای ملی، دستورالعمل‌ها یا الزامات قانونی مربوطه یا استانداردهای بین‌المللی مربوطه به کار رود.

تجهیزات حفاری باید مطابق با استانداردهای EN 16228-1 و EN 16228-2 باشد.

پیرامون هر گمانه باید نرده‌کشی یا دهانه آن موقتاً به شیوه‌ای امن با کلاهک پوشیده شود تا نصب پایان یابد.

۴-۵ اجرا

۱-۴-۵ حفاری

روش‌های حفاری باید با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی و هیدرولوژی مورد نظر انتخاب شود. در حالتی که گمانه ناپایدار است، باید با یک سیال پایدار کننده (به عنوان مثال سوسپانسیون بنتونیت^۱) یا با لوله جدار پایدار شود.

یادآوری - در خاک‌های مناسب، به جای حفاری می‌توان از روش رانش با فشار استفاده کرد. در جایی که نیاز است انحراف لوله جدار و گمانه می‌تواند با شبیستج بررسی شود.

امکان نمونه‌برداری از خرده سنگ‌های حاصل از حفاری باید فراهم شود. اگر بیش از یک دستگاه حفاری در همان محل در حال انجام کار است، برای به حداقل رساندن تأثیر آنها بر یکدیگر در خلال حفاری و تزریق، تجهیزات باید از همدیگر فاصله کافی داشته باشد.

۲-۴-۵ نصب مبدل‌های حرارتی درون گمانه‌ای

مبدل حرارتی درون گمانه‌ای باید از پیش ساخته شود تا از جوشکاری در محل نصب خودداری شود و گواهی تست فشار را داشته باشد. از صدمات مکانیکی طی حمل و نقل، نگهداری و نصب باید اجتناب شود.

قبل از نصب، لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای با آب پر شده و به وسیله درپوش فشار قوی بسته شود. باید از قبل نیاز به یک وزن‌اضافی در انتهای لوله مبدل حرارتی درون گمانه‌ای مشخص شده باشد. در صورت استفاده از جت شستشو، باید سفتی سیال (جهت اطمینان از انطباق با وزن‌اضافه از پیش تعیین شده) کنترل شود.

هنگام قرار دادن مبدل حرارتی درون گمانه‌ای، برای جلوگیری از لغزش خیلی سریع آن به درون گمانه باید آن را مهار نمود. لوله‌ها نمی‌توانند با فشار از سطح زمین به درون گمانه رانده شوند. لوله‌ها تنها به صورت مستقیم توسط یک دستگاه مناسب که مستقیماً نیرو را به انتهای مبدل حرارتی وارد می‌کند، کشیده می‌شود و نشانه‌های متري بر روی لوله‌ها ثبت و گزارش شود.

هنگامی که گمانه خشک است، لوله مبدل حرارتی درون گمانه‌ای تا بعد از نصب نباید از آب پر شود.

برای پر کردن فضای خالی باید لوله‌های خوراک دهنده^۲ همراه با لوله مبدل حرارتی درون گمانه با توجه به ابعاد فضای باقی مانده، درون گمانه قرار داده شوند. برای اطمینان از تزریق پیوسته، بسته به عمق گمانه چند لوله خوراک دهنده مورد نیاز است. تعداد و طول لوله‌های خوراک دهنده باید از قبل طراحی شود. لوله‌های خوراک دهنده باید به طور واضح علامت‌گذاری شوند، یعنی عمق یا طول لوله‌های خوراک دهنده مربوطه در سطح زمین قابل تشخیص باشد.

1-Bentonite

2-Tremie

در طی دوره‌های یخبندان طولانی مدت، لوله‌ها را نیز می‌توان با یک سیال ضدیخ، مناسب با وضعیت زمین پر نمود.

فرآیند نصب باید مطابق با بند ۱-۷ ثبت شود.

۳-۴-۵ پر کردن فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها

پس از نصب مبدل حرارتی درون گمانه‌ای، فضای خالی (به منظور پایدارسازی گمانه و فراهم نمودن انتقال حرارتی خوب و جلوگیری از انتقال آلودگی و ارتباط بین سفره‌های آب زیر زمینی و زهکشی عمودی در امتداد لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای) باید با موادی که بعد از سخت شدن نفوذپذیری برابر یا کمتر از زمین‌های اطراف دارد، پر شود.

روان‌ملات باید با استفاده از یک لوله خوراک دهنده که تا کف گمانه پایین آورده شده، جایگذاری شود. لوله خوراک دهنده باید در گمانه باقی بماند. اگر قرار بر حذف لوله خوراک دهنده است، باید تا هنگامی که مصالح پرکننده (روان‌ملات) از دهانه گمانه سریز می‌شود و سفتی آن با سفتی مصالح تزریق شده یکسان است، صبر نمود. عملیات تزریق درطی زمان خروج لوله خوراک دهنده باید ادامه یابد.

در صورتی که شرایط زمین و آب‌های زیرزمینی در فرآیند پر کردن اثرگذار باشد، الزامات فنی خاصی برای پرکردن، باید از قبل تعیین شود. به هنگام تزریق مصالح پرکننده درون گمانه نباید فضای خالی به وجود آید.

با توجه به شرایط خاص (به عنوان مثال شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژی) و به منظور اطمینان از پر شدن فضای خالی از پایین به بالا، بیش از یک لوله خوراک دهنده مورد نیاز است.

در هنگام بیرون کشیدن لوله خوراک دهنده، برای جلوگیری از ایجاد هوای محبوس، باید مجرای خروجی زیر سطح پر فعلى باشد. لوله خوراک دهنده‌ای که درون گمانه باقی می‌ماند باید با سوسپانسیون پر شده باقی بماند.

فضای خالی باید پر، تحکیم و کلاهک گذاری گردد، به گونه‌ای که با توجه به نشست مصالح پرکننده، فرورفتگی ناشی از آن در سطح زمین روی ندهد. بعد از یک یا دو روز، مسطح بودن سطح مصالح پرکننده فضای خالی باید کنترل شود. تمام فرورفتگی‌ها باید تراز و هم سطح گردد.

ویژگی‌ها و نحوه آماده‌سازی مصالح پرکننده باید ثبت شود.

میزان پرشدن باید ثبت و بطور مداوم با میزان هدف مقایسه شود. در صورت وجود هر نوع مغایرت، با اقدامات مناسب برطرف شود.

در صورت بیرون کشیدن لوله جدار (در صورت وجود)، امکان آسیب لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای وجود ندارد.

نحوه پر کردن فضای خالی باید مطابق با بند ۲-۱-۷ ثبت شود.

بعد از اینکه فضای خالی پر شد، باید یک آزمون عملکردی (مطابق با بند ۴-۵) بر روی لوله‌های پرشده از سیال انجام شود.

۴-۵ آزمون عملکردی

آزمون عملکردی مبدل حرارتی درون گمانه‌ای که از آب پر شده است، شامل یک آزمون جریان و یک آزمون فشار است.

آزمون فشار باید تحت شرایط زیر انجام شود:

الف- تجهیزات آزمون و مبدل‌های حرارتی باید کاملاً از هوا تخلیه شوند.

ب- دمای لوله باید در محدوده مجاز باشد، تجهیزات آزمون، سر مبدل حرارتی و لوله‌های آبرسانی (در صورت استفاده)، باید در سایه قرار داده شود.

ج- اگر دما به زیر صفر برسد، تدبیر لازم در برابر یخ زدگی باید اعمال شود.

آزمون فشار باید در مراحل مختلف انجام شود (به جدول ۲ مراجعه کنید).

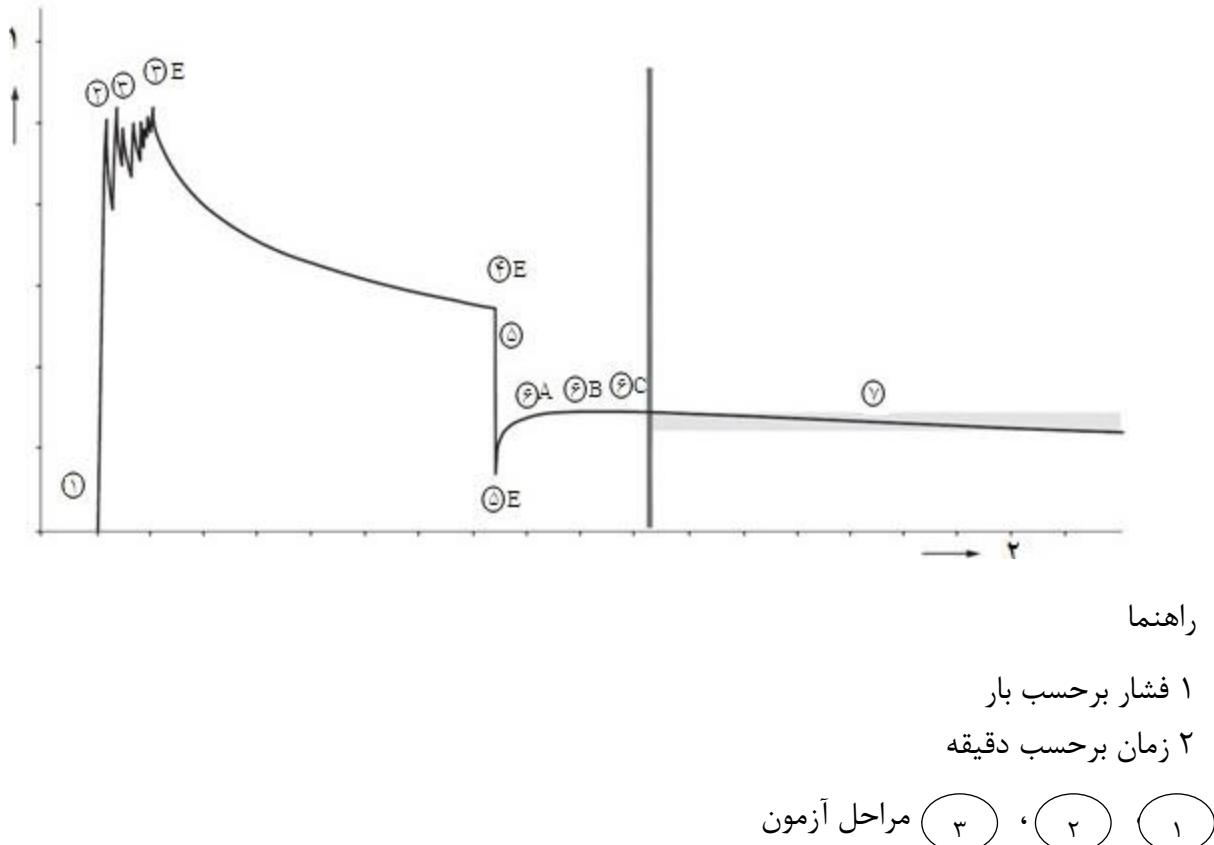
جدول ۲- مراحل آزمون فشار

مرحله	توضیحات	زمان
۱	کاهش فشار فقط یک فشار تفاضلی کوچک در حین نصب لوله‌های مبدل حرارتی و آزمون جریان ایجاد می‌شود. بنابراین مرحله کاهش فشار می‌تواند حذف شود مگر اینکه یک آزمایش دوباره مورد نیاز باشد.	
۲	افزایش فشار فشار باید به سرعت تا ۸ بار افزایش یابد و سپس تا ۴ بار کاهش داده شود.	کمتر از ۱۰ دقیقه
۳	حفظ فشار فشار باید تا ۴ بار حفظ شود. حداقل فشار در حین این مرحله نمی‌تواند کمتر از ۱۰ بار باشد. افت فشار در مدت زمان ۳E باید ثبت شود (به شکل ۳ مراجعه کنید).	۲۰ دقیقه
۴	استراحت یا سکون فشار در مدت زمان ۴E باید ثبت شود (به شکل ۳ مراجعه کنید). افت فشار بین زمان‌های ۳E و ۴E باید کمتر از ۲۰ درصد باشد.	۶۰ دقیقه
۵	آزاد سازی فشار آب باید از مجموعه آزمون برای رسیدن به فشار کمتر از ۲ بار تخلیه شود. مقدار و فشار در مدت زمان ۵E باید ثبت شود (به شکل ۳ مراجعه کنید). مقدار آب نباید بیشتر از مقادیر نشان داده شده در جدول ۳ باشد. اگر مقدار آب بیشتر شود، هوا در لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای ایجاد می‌شود و آزمون فشار از جمله مرحله کاهش فشار (مرحله یک) باید تکرار شود.	
۶	انقباض لوله‌های مبدل حرارتی منقبض می‌شوند. فشار دوباره افزایش می‌یابد. فشار باید در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه ثبت شود (A، ۶B، ۶C و ۶D را در شکل ۳ ببینید). فشار نمی‌تواند از A به ۶C و ۶D کاهش یابد، یعنی این که این فشار باید اندکی افزایش یابد یا ثابت بماند. اگر افت فشار وجود داشته باشد، به این معنی است که در مبدل حرارتی یا تجهیزات آزمون نشتی وجود دارد. در این حالت، اول باید تجهیزات آزمون و اتصالات کنترل شوند. سپس، هر یک از لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه باید کنترل شوند. مرحله کاهش فشار باید در نظر گرفته شود (مرحله ۱). اگر فشار به وسیله مبدل‌های الکترونیکی فشار ثبت می‌شود، افت فشار بیشتر از ۰/۱ بار نسبت به ماکسیمم قابل قبول نمی‌باشد (اختلال).	۳۰ دقیقه

جدول ۳- حجم آب قابل قبول برای آزاد سازی فشار تا ۲ بار(همچنین به جدول ۲، مرحله ۵ مراجعه کنید).

حداکثر حجم آب برای لوله‌های مبدل حرارتی معمولی			
قطر لوله ۴۰ میلی‌متر		قطر لوله ۳۲ میلی‌متر	
حجم (l)	طول لوله (m)	حجم (l)	طول لوله (m)
۰,۹۵۱	۱۰۲	۰,۳۰۸	۵۰
۱,۱۸۴	۱۲۷	۰,۳۷۰	۶۰
۱,۳۰۶	۱۴۰	۰,۴۳۲	۷۰
۱,۸۱۴	۱۵۲	۰,۴۹۳	۸۰
۱,۵۳۹	۱۶۵	۰,۵۵	۹۰
۱,۶۳۲	۱۷۵	۰,۶۱۷	۱۰۰
۱,۷۲۵	۱۸۵	۰,۶۹۱	۱۱۲
۱,۸۶۵	۲۰۰	۰,۷۷۱	۱۲۵
۲,۰۹۸	۲۲۵	۰,۸۴۵	۱۳۷
۲,۳۳۱	۲۵۰	۰,۹۲۵	۱۵۰
۲,۷۹۸	۳۰۰	۱,۰۷۹	۱۷۵
۳,۲۶۴	۳۵۰	۱,۲۳۴	۲۰۰

لوله آبرسانی			
قطر لوله (۵۰ mm)	قطر لوله (۴۰ mm)	قطر لوله (۳۲mm)	طول (m)
۰,۰۱۸	۰,۰۱۲	۰,۰۰۸	۵
۰,۰۳۷	۰,۰۲۳	۰,۰۱۵	۱۰
۰,۰۵۵	۰,۰۳۵	۰,۰۲۳	۱۵
۰,۰۷۳	۰,۰۴۷	۰,۰۳۱	۲۰
۰,۰۹۲	۰,۰۵۸	۰,۰۳۹	۲۵
۰,۱۱۰	۰,۰۷۰	۰,۰۴۶	۳۰
۰,۱۲۹	۰,۰۸۲	۰,۰۵۴	۳۵
۰,۱۴۷	۰,۰۹۳	۰,۰۶۲	۴۰
۰,۱۶۵	۰,۱۰۵	۰,۰۶۹	۴۵
۰,۱۸۴	۰,۱۱۷	۰,۰۷۷	۵۰
۰,۲۰۲	۰,۱۲۸	۰,۰۸۵	۵۵
۰,۲۲۰	۰,۱۴۰	۰,۰۹۳	۶۰



شکل ۳- نمونه‌ای از آزمون فشار

۵-۴-۵ بازگرداندن محل حفاری به وضعیت قبلی

هنگامی که نصب مبدل حرارتی گمانه و آزمون‌ها به پایان رسید، بازگرداندن محوطه کار به حالت اول خیلی مهم است تا خطرات بالقوه احتمالی، به عموم مردم یا محیط یا حیوانات آسیبی نرساند.

اگر قرار است مبدل حرارتی گمانه برای فرآیند بعدی استفاده شود، آب درون لوله باید تا ۲ متر پایین‌تر از سطح زمین تخلیه شود و لوله‌ها باید پوشیده شده و از ذوب حرارتی حفاظت شوند. قسمت انتهایی لوله مبدل حرارتی گمانه باید توسط یک درپوش چدنی با قابلیت قفل شدن، محافظت شود.

اگر قرار است دیگر از گمانه استفاده نشود، باید لوله‌ها با روان‌ملات پر شوند و گمانه تا عمق مناسبی حفاری شود. انتهای لوله مبدل حرارتی گمانه باید برش داده شده و با یک کلاهک حرارتی پوشانده شود. حفاری باید تا اندازه مورد نیاز، دوباره پر شود.

در نهایت محوطه کار باید به صورت ایمن، تمیز و مرتب رها شود.

۶ آزمون پاسخ زمین‌گرمایی

۱-۶ کلیات

طراحی مبدل‌های حرارتی درون گمانه‌ای نیازمند شناخت ویژگی‌های حرارتی زمین می‌باشد. هدایت حرارتی زمین مهمترین ویژگی است.

اتصال حرارتی دیواره گمانه، لوله‌ها و سیال انتقال دهنده حرارت درون لوله‌ها از نظر موارد زیر کنترل می‌شود:

- الف- جنس لوله؛
- ب- ضخامت دیواره لوله؛
- پ- اندازه و چیدمان لوله؛
- ت- فواصل لوله‌ها؛
- ث- خواص سیال درون لوله‌ها؛
- ج- سرعت جریان سیال؛
- ج- قطر گمانه؛
- ح- مصالح پرکننده فضای خالی بین دیواره گمانه و لوله‌ها.

۲-۶ وسایل انجام آزمون

تجهیزات آزمون شامل قسمت‌های زیر است:

- لوازم سرد و گرم کننده؛
- پمپ گردش آب؛
- دستگاه‌های ثبت داده‌ها (منبع تغذیه، دمای جریان ورودی و خروجی، دمای محیط، سرعت جریان)؛
- حسگرهای اندازه‌گیری دما و سرعت جریان؛
- عایق حرارتی؛

تجهیزات آزمون به لوله‌های مبدل درون گمانه‌ای متصل می‌شود.

در طی آزمون پاسخ زمین‌گرمایی، تجهیزات آزمون باید دارای منبع گرمایشی یا سرمایشی با قدرت ثابت باشد. باید امکان تنظیم مراحل بارگذاری یا خنک سازی مختلف وجود داشته باشد. پمپ گردش آب باید امکان تنظیم

مقدار گردش آب را داشته باشد. تمهیدات اینمی در برابر گرمای زیاد، مسائل مربوط به جریان و... باید پیش‌بینی شود.

دما و سرعت‌های جریان باید به وسیله حسگرهایی با صحت مناسب اندازه‌گیری و ثبت شوند و از این نتایج برای محاسبه عملکرد حرارتی استفاده شود.

دستگاه ثبت داده‌ها و اتصالات لوله‌ها به لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای باید به منظور به حداقل رساندن تبادل حرارتی با هوا عایق بندی شود. اتصالات باید بطور کلی تا جای ممکن کوتاه باشند. لوله‌های مبدل حرارتی، لوله‌های رابط و دستگاه آزمون باید با سیال انتقال دهنده حرارتی (ترجیحاً آب) پر شود: به عنوان مثال، با شیرهای هوای نصب شده در بالای مبدل‌های حرارتی درون گمانه‌ای یا در بالاترین نقطه ارتفاع تجهیزات آزمون، کاملاً قابل هوایگیری باشند.

تجهیزات آزمون باید قادر به فراهم کردن جریان آشفته با عدد رینولدز بزرگ‌تر از 2500 باشند تا نرخ حرارتی مناسبی را تامین نماید. در نرخ‌های حرارتی پایین‌تر که مربوط به سازنده‌های با هدایت حرارتی کمتر است، نرخ حرارتی فراهم شده برای مبدل حرارتی باید $W/m = 80$ تا 40 W/m گمانه باشد. نرخ‌های حرارتی پایین‌تر باید به حدی کافی باشد تا یک اختلاف دمایی بین 3 تا 5 درجه در لوله مبدل حرارتی درون گمانه‌ای ایجاد شود.

۶-۳ روش انجام آزمون

آزمون نباید بعد از 5 روز پس از پر کردن فضای خالی مبدل حرارتی درون گمانه‌ای و برطرف شدن دست خوردگی‌های حرارتی انجام شود.

در جایی که حفاری با استفاده از جت هوای انجام می‌شود (به علت دمیدن هوای گرم در لایه‌های زمین) یا در جایی که از روان‌ملات‌های سیمانی استفاده می‌شود (چون گیرش سیمان یک واکنش گرمaza است)، ممکن است به تاخیرات طولانی‌تر از 5 روز نیاز باشد. اندازه‌گیری‌ها تا زمان برقراری تعادل انجام گیرد.

قبل از شروع آزمون، دمای اولیه زمین باید اندازه‌گیری شود. درجه حرارت می‌تواند به صورت زیر اندازه‌گیری شود:

الف- اندازه‌گیری پروفیل عمقی دما در بازه‌های 2 متری در لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای یا در فضای خالی گمانه‌های باز، بدون گردش سیال انتقال دهنده حرارت، تا رسیدن به عمق مورد نظر،

ب- دما باید در طول یک چرخه از سیال به منظور اندازه‌گیری دمای اولیه دست نخورده زمین در حد امکان بطور دقیق ثبت شود.

سیال انتقال دهنده حرارتی که تا یک دمای معینی گرم شده باید بطور مساوی میان لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای پمپ شود. تغییر دما در مقایسه با دمای اولیه تا حد امکان با دقت اندازه‌گیری شود تا دمای عملیاتی بعدی را به ما نشان بدهد. گرم یا سرد شدن باید تا حد امکان متعادل باشد.

دمای سیال باید در طی آزمون در ورودی و خروجی لوله‌های مبدل حرارتی ثبت شود. ثبت داده‌ها باید از زمان شروع به کار پمپ گردش سیال، آغاز گردد.

دما باید باوضوح (قدرت تفکیک) چند ثانیه‌ای در نقطه B اندازه‌گیری و ثبت شود.

پس از اندازه‌گیری دمای اولیه، از دستگاه گرمکننده می‌توان استفاده کرد.

جريان درون لوله‌های مبدل حرارتی درون گمانه‌ای، باید آشفته باشد.

آزمون باید با توان ورودی ثابت انجام گیرد، تا اینکه مقدار هدایت حرارتی به یک مقدار ثابت برسد. مدت زمان قطعی آزمون باید مطابق باشد با:

- ابعاد و طرح مبدل حرارتی درون گمانه‌ای (قطر گمانه، مصالح پرکننده فضای خالی و...)
- پایداری گرمايش و سرمايش.

حداقل مدت زمان لازم تا شروع واقعی تعیین هدایت حرارتی زمین، براساس فرمول (۱) می‌تواند محاسبه شود.

$$t_1 = \frac{5r_0^2}{\alpha} \quad (1)$$

که در آن:

$$\alpha = \frac{\lambda_{est}}{\rho c_p}$$

r_0 شعاع گمانه (m);

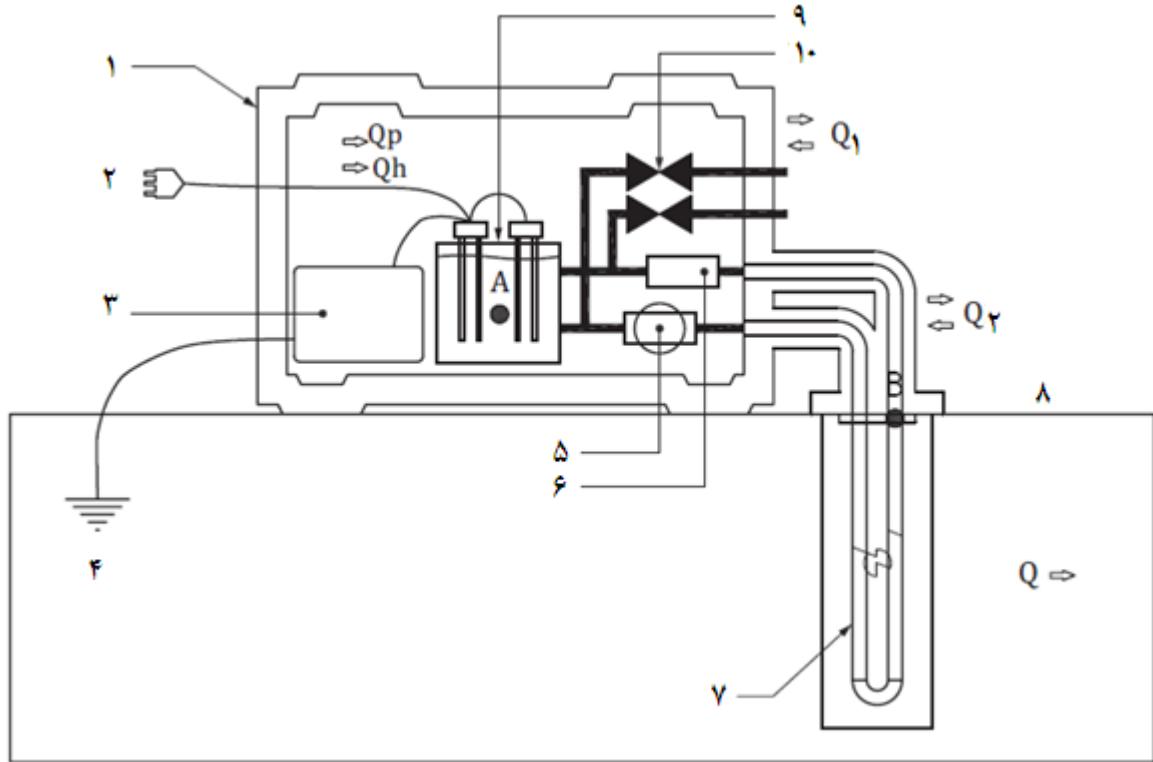
λ_{est} هدایت حرارتی تخمینی بر حسب وات بر متر درجه کلوین (W/m/K);

ρc_p ظرفیت حرارتی حجمی بر حسب ژول بر متر مکعب درجه کلوین (J/m³/K).

مدت زمان آزمون باید بر همگرایی هدایت حرارتی اندازه‌گیری شده تا یک مقدار ثابت استوار شده باشد و هدایت حرارتی اندازه‌گیری شده باید پس از مدت تخمینی محاسبه شده از فرمول (۱) به منظور غلبه بر مقاومت گمانه ثابت باقی بماند. حداقل مدت زمان آزمون در جایی که از روان‌ملات با هدایت حرارتی کمتر از $1/3 W/m/K$ استفاده می‌شود، طولانی‌تر گردد.

اگر نوسانات مشخص دمایی قابل تشخیص باشد، از نظر آماری برای تصحیح تغییرات، زمان اندازه‌گیری باید طولانی‌تر شود.

باید، شرایط محیطی نیز ثبت شود.



راهنمای

۱	عایق	Q جریان حرارتی
۲	اتصال الکتریکی	Q_1 و Q_2 تبادل جریان حرارت با هوا محی
۳	سیستم جمع آوری داده	Q_p جریان حرارت پمپ
۴	میخکوب کردن زمین برای کاهش تداخل در ثبت اطلاعات (ارت کردن)	Q_h جریان حرارتی سامانه گرمایش
۵	نقاط اندازه‌گیری	Q جریان حرارتی سطح زمین
۶	پروفهای حرارتی و جریان سنج	Q_1 و Q_2 جریان حرارت پمپ
۷	مبدل حرارتی زمینی استاندارد حفر شده به عمق لوله‌های مبدل حرارتی گمانه مورد انتظار در محل	Q_p مبدل حرارتی زمینی استاندارد حفر شده به عمق لوله‌های مبدل حرارتی گمانه مورد انتظار در محل
۸	سطح زمین	Q_h جریان حرارتی سامانه گرمایش
۹	مخزن آب با اجزا گرمایشی	Q جریان حرارتی سطح زمین
۱۰	شیرهای تخلیه	Q_1 و Q_2 تبادل جریان حرارت با هوا محی

شکل ۴- شمای تصویری از آزمون پاسخ زمین‌گرمایی در حال نشان دادن جریان‌های حرارتی احتمالی

۴-۶ بیان نتایج آزمون

نتایج آزمون پاسخ زمین‌گرمایی عبارتند از:

- دمای جریان سیال ورودی در بالای مبدل حرارتی درون گمانه‌ای طی زمان آزمون و
- دمای جریان سیال خروجی در بالای مبدل حرارتی درون گمانه‌ای در طی زمان آزمون.

۵-۶ ارزیابی نتایج آزمون

نتایج آزمون را می‌توان به روش‌های زیر ارزیابی نمود:

- تعیین تقریبی توسط تئوری خط مبناء؛
- تخمین پارامتر با مدل‌های عددی و تحلیلی؛
- ارزیابی مطابق با تئوری سیلندر (اگر عملی باشد)؛

یادآوری - در هر دو روش فرض می‌شود هدایت حرارتی از نوع رسانشی می‌باشد.

اگر پس از مدت زمان اولیه، نمودار دما- لگاریتم زمان به صورت یک خط مستقیم باشد یا دارای تغییرات دوره‌ای متوازن در طول مدت زمان آزمون باشد، می‌توان از تقریب تئوری خط مبناء استفاده کرد. مدت زمان اولیه حدود ۱۰ تا ۱۵ ساعت است و آن را می‌توان براساس فرمول (۱) تعیین نمود. هنگامی که نتایج هدایت حرارتی محاسبه شده با هدایت حرارتی تخمینی اختلاف زیادی دارد، ارزیابی باید با یک زمان اولیه و دیگر که براساس فرمول (۱) مجدداً محاسبه شده، تکرار گردد.

برای محاسبه هدایت حرارتی مؤثر، شبیه (k) نمودار حرارتی باید براساس فرمول (۲) تعیین شود:

$$\lambda_{eff} = \frac{Q}{K \cdot 4 \cdot \pi \cdot H} \quad (2)$$

مقاومت حرارتی گمانه (R_b) براساس فرمول (۳) محاسبه می‌شود:

$$R_b = \frac{H}{Q} \cdot (T_f - T_0) - \frac{1}{4\pi\lambda} \cdot \left(\ln(t) + \ln\left(\frac{4a}{r_0^2}\right) - 0.5772 \right) \quad (3)$$

مقادیر (k) و (R_b) باید مکرراً تغییر داده شود تا وقتی که پاسخ حرارتی مدل شده بر پاسخ حرارتی اندازه‌گیری شده تا حد امکان منطبق شود.

برای تعیین پارامتریک از طریق شبیه‌سازی عددی از یک مدل شبیه‌سازی ریاضی استفاده می‌شود. پارامترهای هدایت حرارتی زمین و مقاومت حرارتی گمانه (یا هدایت حرارتی مصالح پرکننده فضای خالی) مدامی که نمودار واقعی درجه حرارت اندازه‌گیری شده بدست آید، باید تغییر داده شوند.

۷ گزارش آزمون

۱-۷ گزارش میدانی

در محل پروژه، برای هر گمانه تا انتهای باید گزارش میدانی تکمیل شود. این گزارش باید در صورت امکان شامل موارد زیر باشد:

- الف- خلاصه چاهنگاری مطابق با استاندارد ISO 22475-1؛
- ب- برگه ثبت فرآیند حفاری مطابق با استاندارد ISO 22475-1؛
- پ- برگه ثبت فرآیند نمونهبرداری مطابق با استاندارد ISO 22475-1؛
- ت- برگه ثبت مشخصات و توصیف خاک و سنگ مطابق با استاندارد ISO 22475-1؛
- ث- برگه ثبت فرآیند نصب لولههای مبدل حرارتی (مطابق بند ۱-۱)؛
- ج- برگه ثبت فرآیند پر کردن فضای خالی (مطابق بند ۷-۱)؛
- چ- کنترل موارد ثبت شده (مطابق بند ۷-۱-۳)؛
- ح- ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون (مطابق بند ۷-۱-۴)؛
- تمام تحقیقات میدانی باید طوری ثبت و گزارش شود که اشخاص ثالث قادر به فهمیدن و کنترل نتایج باشند.

۷-۱-۱ برگه ثبت فرآیند نصب لولههای مبدل حرارتی

برگه ثبت فرآیند نصب لولههای مبدل حرارتی، باید به خلاصه چاهنگاری پیوست شود در صورت امکان شامل اطلاعات ضروری زیر باشد (همچنین بند ب ۱ را ببینید):

الف- اطلاعات عمومی شامل:

- ۱- نام شرکت نصاب لولههای مبدل حرارتی؛
- ۲- نام مشتری یا نماینده؛
- ۳- تاریخ نصب لولههای مبدل حرارتی؛
- ۴- مشخصات پروژه؛
- ۵- مشخصات گمانه؛
- ۶- موقعیت و تراز ارتفاعی گمانه؛
- ۷- عمق سطح آب زیرزمینی، در صورت امکان.

ب- اطلاعات مربوط به تجهیزات مورد استفاده شامل:

- ۱- نوع و سازنده لولههای مبدل حرارتی؛
- ۲- ابعاد لولههای مبدل حرارتی؛
- ۳- روش نصب.

پ- اطلاعات مربوط به نصب شامل:

- ۱- تراز سطح زمین و انتهای بالا و پایین لولههای مبدل حرارتی؛
- ۲- نوع و موقعیت هر گونه تجهیزات اندازه‌گیری نصب شده؛

ت- سایر اطلاعات شامل:

۱- نام و امضاء متصدی واجد شرایط.

۲-۱-۷ برگه ثبت مصالح پرکننده فضای خالی

برگه ثبت مصالح به کار رفته برای پر کردن فضای خالی، باید به خلاصه چاهنگاری پیوست گردد و در صورت امکان شامل اطلاعات ضروری زیر باشد (همچنین بند ب ۲ را ببینید):

الف- نام شرکت پرکننده فضای خالی؛

ب- نام مشتری یا نماینده؛

پ- تاریخ پر کردن فضای خالی؛

ت- مشخصات پروژه؛

ث- مشخصات گمانه؛

ج- مصالح پرکننده فضای خالی؛

چ- مقدار مصالح پرکننده؛

ح- نام و امضاء متصدی واجد شرایط.

۳-۱-۷ کنترل موارد ثبت شده

کنترل موارد ثبت شده باید به خلاصه چاهنگاری پیوست گردد و در صورت امکان شامل اطلاعات ضروری زیر باشد (همچنین بند ب ۳ را ببینید):

الف- نام شرکت انجام دهنده کنترل؛

ب- نام مشتری یا نماینده؛

پ- تاریخ کنترل؛

ت- مشخصات پروژه؛

ث- مشخصات گمانه؛

ج- نتایج حاصل از بررسی؛

چ- نام و امضاء کنترل کننده.

۴-۱-۷ برگه ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون

برگه ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون باید بصورت دیجیتالی به خلاصه چاهنگاری پیوست گردد و در صورت امکان شامل اطلاعات ضروری زیر باشد (همچنین بند ب ۴ را ببینید):

- الف- دمای جریان ورودی؛
- ب- دمای جریان خروجی؛
- پ- خروجی حرارتی؛
- ت- مدت زمان آزمون؛
- ث- دمای زمین دست نخورده؛
- ج- توان به کار رفته؛
- چ- تغییرات توان؛
- ح- دمای محیط.

۵-۱-۷ برگه ثبت نتایج ارزیابی آزمون

برگه ثبت نتایج ارزیابی آزمون باید به خلاصه چاهنگاری پیوست گردد و در صورت امکان شامل اطلاعات ضروری زیر باشد (همچنین بند ب ۵ را ببینید):

- الف- هدایت حرارتی؛
- ب- مقاومت حرارتی گمانه.

۲-۷ گزارش نتایج

در صورت امکان گزارش نتایج باید شامل اطلاعات ضروری زیر باشد:

- الف- گزارش نصب مبدل‌های حرارتی گمانه، شامل:
 - ۱- گزارش میدانی (در قالب فرم اولیه و/یا رایانه‌ای)؛
 - ۲- ثبت نهایی مشخصات و توصیف خاک و سنگ، مطابق با استاندارد ISO 14688-1 و ISO 14689-1؛
 - ۳- نمایش گرافیکی پارامترهای حفاری ثبت شده؛
 - ۴- نمایش گرافیکی مشخصات و ویژگی‌های نهایی خاک و سنگ (نمودار چاهنگاری گمانه)؛
 - ۵- نمایش گرافیکی مبدل حرارتی درون گمانه‌ای نصب شده شامل مصالح پرکننده فضای خالی؛
 - ۶- نام و امضاء کارشناس مسئول.

- ب- گزارش آزمون پاسخ زمین‌گرمایی، شامل:
- ۱- گزارش میدانی (در قالب فرم اولیه و/یا رایانه‌ای);
 - ۲- ارزیابی آزمون (از جمله تعیین میانگین هدایت حرارتی موثر و مقاومت حرارتی گمانه، روش ارزیابی);
 - ۳- گزارش عددی نتایج حاصل از آزمون پاسخ زمین‌گرمایی؛
 - ۴- نمایش گرافیکی مبدل حرارتی درون گمانه‌ای نصب شده که با نمودار چاهنگاری گمانه ترکیب شده است؛
 - ۵- نام و امضاء کارشناس مسئول.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

نمونه فرم اطلاعات اولیه قبل از نصب مبدل حرارتی

نمونه فرم اطلاعات اولیه قبل از نصب مبدل حرارتی به شکل زیر می‌باشد.

اطلاعات اولیه قبل از نصب مبدل حرارتی		
		پروژه
		موقعیت
		شماره گمانه
		جهت، شیب، و انحراف قابل قبول در گمانه
		ابزار نقشه برداری و شرایط هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی منطقه مورد نظر
		دقت، صحت و عدم قطعیت
		تکرار اندازه‌گیری
<input type="checkbox"/> خیر	<input type="checkbox"/> بله	ایمنی خطرات احتمالی و زیست محیطی (مرتبط با به عنوان مثال سیال بکار رفته در جت شیستشو، سوسپانسیون‌ها)
<input type="checkbox"/> انجام شد	<input type="checkbox"/> انجام نشد	ارزیابی خطر برای محل‌های آلوده
<input type="checkbox"/> خیر	<input type="checkbox"/> بله	خطرات احتمالی
اگر بله لطفاً مشخص کنید <input type="checkbox"/> تاسیسات زیرزمینی، مانند <input type="checkbox"/> تاسیسات سطحی، مانند <input type="checkbox"/> ترافیک، مانند <input type="checkbox"/> مهمات منفجر نشده <input type="checkbox"/> آلودگی، مانند <input type="checkbox"/> موارد دیگر، مانند		

ادامه فرم اطلاعات اولیه قبل از نصب مبدل حرارتی

اطلاعات اولیه	صفحه ۲
	عمق مورد نیاز گمانهزنی
	روش‌های نمونه‌برداری، بررسی، ذخیره‌سازی و حمل و نقل
	نوع مبدل حرارتی
	مصالح پرکننده فضای خالی
	سیال انتقال دهنده حرارت
<input type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/> بله	آزمون میدانی از قبل تعیین شده است. اگر بله، لطفاً مشخص کنید: <input type="checkbox"/> آزمون پاسخ زمین‌گرمایی <input type="checkbox"/> موارد دیگرمانند
	روش اتمام گمانه و پایش میدانی (نیازها، ماده، روش‌ها و...)
	حفظاًت محیط زیست
	تمهیدات اضطراری
	نام شخص رابط (مشتری یا نماینده)
	گردش اطلاعات
	نام متصدی واجد شرایط
	نام کارشناس مسئول
	ملاحظات

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

گزارش‌های میدانی

ب-۱ برجه ثبت فرآیند نصب لوله‌های مبدل حرارتی به فرم زیر می‌باشد.

برگه ثبت فرآیند نصب مبدل حرارتی										
		نام شرکت				نام مشتری				
		مشخصات پروژه				شماره کار				
		تاریخ نصب				مشخصات گمانه				
		مکان و موقعیت مبدل‌های حرارتی		(m)		ارتفاع مبدل حرارتی				
جنس	قطر	تا m	از m	نوع	جنس	قطر	تا m	از m	نوع	
ملاحظات										
										نام متصلی واجد شرایط
										امضا متصلی واجد شرایط

ب-۲ برجه ثبت فرآیند پر کردن فضای خالی به فرم زیر می‌باشد.

ب-۳ کنترل موارد ثبت شده به فرم زیر می‌باشد.

کنترل موارد ثبت شده			
	نام شرکت		نام مشتری
	مشخصات پروژه		شماره کار
	تاریخ بررسی		مشخصات گمانه
			نتایج کنترل
			نام بررسی کننده
			امضا بررسی کننده

ب-۴ برگه ثبت مقادیر اندازه گیری شده و نتایج آزمون به فرم زیر می باشد.

برگه ثبت مقادیر اندازه گیری شده و نتایج آزمون															
		نام شرکت				نام مشتری									
		مشخصات پروژه				شماره کار									
		تاریخ آزمون				مشخصات گمانه									
$^{\circ}C$		دماه اولیه زمین		(ساعت)		مدت زمان آزمون									
دماه جريان خروجی	دماه جريان ورودی	دماه جريان زمان	دماه جريان زمان	دماه جريان خروجی	دماه جريان ورودی	دماه جريان زمان	دماه جريان خروجی	دماه جريان ورودی	زمان						
h		توان به کار رفته		$^{\circ}C$		خروجی حرارتی									
		تعییرات توان				دماه محیط									
ملاحظات															
نام متصلی واجد شرایط															
امضا متصلی واجد شرایط															

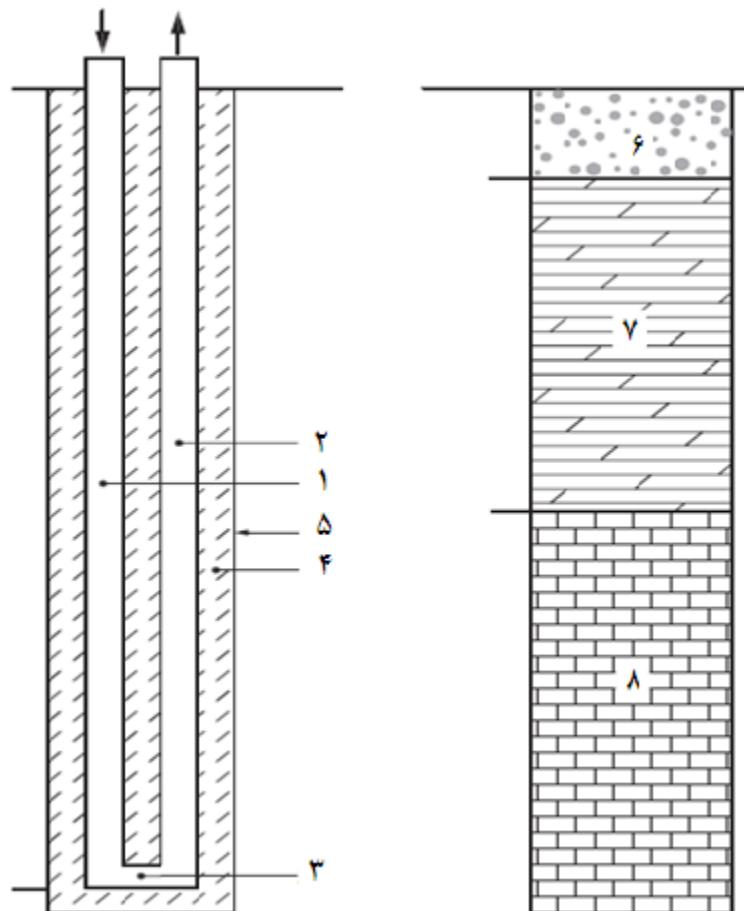
ب-۵ برگه ثبت نتایج آزمون ارزیابی شده به فرم زیر می‌باشد.

برگه ثبت نتایج ارزیابی آزمون			
	نام شرکت		نام مشتری
	مشخصات پروژه		شماره کار
	تاریخ آزمون		مشخصات گمانه
	هدایت حرارتی		ظرفیت گرمایی
ملاحظات			
			نام متصدی واجد شرایط
			امضا متصدی واجد شرایط

پیوست(پ)

(آگاهی دهنده)

مثال تصویری مبدل حرارتی گمانه نصب شده و مقطع عرضی زمین شناسی در طول گمانه



ب- طرح مبدل حرارتی نصب شده

الف- مقطع عرضی زمین شناسی

راهنما

- | | |
|--|------------------------|
| ۱ لوله مبدل حرارتی- جریان ورودی (با قطر) | ۵ دیوار گمانه (با قطر) |
| ۲ لوله مبدل حرارتی- جریان خروجی (با قطر) | ۶ ماسه |
| ۳ انتهای لوله مبدل حرارتی | ۷ دولومیت |
| ۴ مصالح پرکننده فضای خالی (تعیین شود) | ۸ سنگ آهک |

شکل ب-1 مثال تصویری مبدل حرارتی گمانه نصب شده و مقطع عرضی زمین شناسی در طول گمانه

كتاب نامه

- [1] Austin W. Development of an in-situ system for measuring ground thermal properties. - Mscthesis. OSU, Stillwater, OK, 1998
- [2] Bundesamts für Energie der Schweiz: Energieforschungsprogramm Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte - Schlussbericht, Dezember 2005, Anpassen der Druckprüfung nach DINV4279-7 für Erdwärmesonden aus Polyethylen
- [3] Choudary A. An approach to determine the thermal conductivity and diffusivity of a rock in situ. - PhD-thesis. OSU, Stillwater, OK, 1976
- [4] Claesson J., & Eskilson P. Conductive Heat Extraction to a deep Borehole, Geothermal Analysisand Dimensioning Rules. - Energy. 1988, 13 (6) pp. 509-527 [Oxford]
- [5] Eklöf C., & Gehlin S. 1996): TED - a mobile equipment for thermal response test. - 62 p., Master's thesis 1996:198E, Luleå University of Technology
- [6] Gehlin S. 1998) Geothermal Response Test - In-situ measurements of thermal properties in hard rock. - Lic. thesis1998:37, Luleå University of Technology, Luleå
- [7] Hellström G. Ground Heat Storage, Geothermal Analysis of Duct Storage Systems, I. Theory. -262 S., Dept. Mathematical Physics. University of Lund, Lund, 1991
- [8] Hellström G. Fluid-to-ground thermal resistance in duct ground heat storage. - Proc. Calorstock. 1994, 94 pp. 373-380 [Espoo/Helsinki]
- [9] Hellström G. Geothermal response test of a heat store in clay at Linköping, Sweden. - Proc. Megastock. 1997, 97 pp. 115-120 [Sapporo]
- [10] Ingersoll L.R., & Plass H.J. Theory of the ground pipe heat source for the heat pump. - Heat.Piping Air Cond. 1948, 20 (7) pp. 119-122 [Chicago]
- [11] Mogensen P. 1983): Fluid to Duct Wall Heat Transfer in Duct System Heat Storages. - Proc. Int Conf Subs Heat Storage, S. 652-657, SCBR, Stockholm
- [12] Sanner B., Reuss M., Mands E. Geothermal Response Test - eine Methode zur in-situ-Bestimmung wichtiger thermischer Eigenschaften bei Erdwärmesonden. - Geothermische Energie 24/25. Geeste, 1999
- [13] Skouby A. Geothermal Conductivity Testing. - in: SKOUBY, A., Proper Engineering + Thermally Enhanced Grouts = GeoExchange Savings. The Source. 1998, 11-12 (98) p. 5 [Stillwater OK]
- [14] Spitler J ., Yavuzturk C., Jain N. Refinement and Validation of In-situ Parameter Estimation Models. - Kurzbericht. OSU, Stillwater, OK, 1999
- [15] Spitler J.D., Yavuzturk C., Rees S.J. Situ Measurement of Ground Geothermal Properties. Proc.Terrastock, Stuttgart, 2000, pp. 165-70.
- [16] Van Gelder G., Witte H.J.L., Kalma S., Snijders A., Wennekes R.G.A. 1999): In-situ-Messung der thermischen Eigenschaften des Untergrunds durch Wärmeentzug. - Tagungsband OPET-Seminar Erdgekoppelte Wärmepumpen zum Heizen und Klimatisieren von Gebäuden, Cottbus,pp. 56- 58, GtV, Geeste

- [17] VDI 4640-1 Thermische Nutzung des Untergrunds - Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte (Thermal use of the underground – Part 1: Fundamentals, approvals, environmental aspects)
- [18] VDI 4640-2 Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (Thermal use of the underground - Part 2: Ground source heat pump systems)