

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

مختم زهره رحیمی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی رفتار منابع (HDR) Hot Dry Rock در مین تحریرک هیدرولیسی با استفاده از روشهای عددی در تاریخ ۱۳۸۸/۳/۳۰ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کردند و پذیرش آنرا برای تکمیل توجیه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - خاک ویرایشگاه می کنند.

نام دانشجو	رشته تحصیلی	نام و نام خانوادگی داور	نام و نام خانوادگی داور
	مهندسی عمران	دکتر محمود زاهدی	استاد راهنما
	مهندسی عمران	دکتر علی اکبر گشتی	استاد مشاور
	مهندسی عمران	دکتر محمد نوروز علیانی	استاد ناظر
	مهندسی عمران	دکتر محسن شریفی راد	استاد ناظر
	مهندسی عمران	دکتر محمد نوروز علیانی	مستشار گروه آیا نمایندگ گروه تخصصی

این سند معتبر است و در تاریخ ۱۳۸۸/۳/۳۰ صادر شده است.
 استاد راهنما

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند.

ماده ۱. در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ای خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آکادمی» دانشگاه اطلاع دهند.

ماده ۲. در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کنند:

کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگاشته در رشته موسیقی عمومی/ گیتار الکتریک است که در سال ۱۳۹۸ در دانشگاه موسیقی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سوکوعلی خانم نجف آبادی دکتر گیتار الکتریک - مشاوره سوکوعلی علیرضا نجف آبادی دکتر گیتار الکتریک و مشاوره سوکوعلی خانم نجف آبادی دکتر گیتار الکتریک - از آن دفاع شده است.

ماده ۳. به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب در هر صورت چاپ را به «دفتر نشر آکادمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند، موارد نیاز خود را به تبع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴. در صورت عدم رعایت ماده ۳، آثار چاپی شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تحویل کند.

ماده ۵. دانشجوی نهاد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند شمارگان را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند. به علاوه به دانشگاه حق می آید، به منظور استیفای حقوق خود از طریق دادگاه، تعداد ویژه شمارگان در ماده ۳ را از محل توفیق کتابهای عرضه شده نگذارد. برای تریبون نامی رعایت

ماده ۶. در صورت تصویب دانشجوی رشته موسیقی عمومی/ گیتار الکتریک قطع کتابخانه است.

کتاب حقوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: تعمیر حسین

تاریخ و امضا: ۸۸/۷/۸

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده 1- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده 2- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

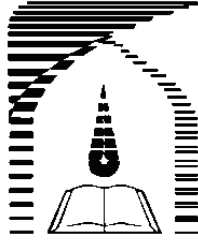
ماده 3- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده 4- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده 5- این دستورالعمل در 5 ماده و یک تبصره در تاریخ 1384/4/25 در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری است.

زهره ربیعی

امضاء



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران گرایش خاک و پی

عنوان:

**بررسی رفتار منابع HDR (Hot Dry Rock) در حین تحریک
هیدرولیکی با استفاده از روشهای عددی**

زهره ربیعی

استاد راهنما:

دکتر محمود یزدانی

استاد مشاور:

دکتر علی اکبر گلشنی

خرداد 1388

تقدیم به

دویدہ الہی

پدر و مادر عزیزم

و تقدیم به

ہمراہ صبر و ہمتی

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس به درگاه آن یکتای بی همتا که

قام را قدرت و انسان را کرامت بخشید و تواند گاه به گاه

و جی از هزاران هزار و جوه قدرت او را به تصدیق ویرا کشد

و بر بنده حقیر منت نهاد تا بتوانم زحمات و آموزه های استاید را

با بضاعت اندک خویش در ره آوردی محقره به محض آنکه

که به علم عشق من و زنده تقدیرم دارم.

تقدیر و تشکر بی پایان از استاد کرامی

جناب آقای دکتر محمد ویزدانی که بارها به منی های ارزنده خود مرا دتدوین و تکمیل این پایان نامه

یاری نه داده اند

و کمال تشکر از

جناب آقای دکتر علی اکبر گلشنی و جناب آقای دکتر محمد زوروز علایمی که بارها به منی های مهینویش

در رفع نقایص این مجهد و کمالی بیباخته می نه داده اند.

چکیده

سالهاست که انرژی زمین گرمایی، که از گرمای قسمتهای داخلی زمین حاصل می گردد، به صورت بخار یا آب داغ در تولید الکتریسیته، گرمایش و فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی حوزه های زمین گرمایی به صورت یک سیکل دائمی گردش گرما و سیال هستند که سیال از حوزه های تغذیه یا به وسیله تزریق وارد منبع شده و از سوی دیگر به صورت آب داغ و بخار خارج می گردند و در حین بهره برداری صنعتی، سیال استفاده شده مجدداً از طریق چاههایی به منبع برگردانده می شوند. استخراج انرژی در سنگهای داغ و خشک HDR که اغلب در همه جا در اعماق زمین یافت می شود، از روشهای نوین استخراج انرژی زمین گرمایی است. این منابع به صورت طبیعی با رخدادهای لرزه ای یا به صورت مصنوعی با تحریک هیدرولیکی می توانند به یک ناحیه نفوذپذیر تبدیل گردند. آگاهی از شکل، اندازه و نفوذپذیری ناحیه شکست که به وسیله تحریک هیدرولیکی ایجاد می گردد برای ارزیابی عملی بودن پروژه و تعیین بهترین محل چاههای تزریق و تولید اهمیت زیادی دارد. از آنجایی که آزمایشهای تحریک هیدرولیکی که در اعماق زیاد انجام می شوند بسیار گران هستند، مدلسازی عددی نقش بسیار مهمی را ایفاء می کند. در مدلسازی کامل رفتار یک منبع HDR در درازمدت می بایست جریان هیدرولیکی در درزه ها و در بافت سنگ محیطی، انتقال انرژی گرمایی از طریق همرفت و هدایت و تغییر شکل الاستیک سنگ ناشی از تغییرات گرمایی و هیدرولیکی و تغییر در میدان تنش طبیعی سنگ مورد توجه قرار گیرد. از آنجا که تحریک هیدرولیکی عموماً بین چند ساعت تا چند روز به طول می انجامد و در مقیاس زمانی نسبت به گردش سیال در سیستم که در طول سالها صورت می پذیرد بسیار کوتاه است، در مدلسازی تحریک هیدرولیکی، فرآیند تئوآمان هیدرومکانیکی، غالب خواهد بود. در این تحقیق سعی خواهد شد تا با استفاده از یک روش عددی مناسب، پاسخ مکانیکی سنگ به تحریک هیدرولیکی (رفتار توده سنگ درزه دار به افزایش فشار آب)، همچون ارتباط بازشدگی درزه ها با افزایش فشار آب و تغییر آن با زمان، تغییرات تنشهای نرمال وارد بر درزه، حداکثر فشار آب حفره ای در سیستم و مقادیر دبی خروجی در چاه تولید، مورد بررسی قرار گیرد. با استفاده از نتایج مذکور، پارامترهای مؤثر برای ارزیابی عملکرد هیدرولیکی منبع همچون مقاومت جریان، اتلاف سیال و تزریق پذیری منبع استخراج گشته و مورد تحلیل قرار می گیرد. پارامتری که آنالیز حساسیت بر روی آن صورت پذیرفته است، بازشدگی اولیه بوده و تغییرات حداکثر فشار آب حفره ای، دبی خروجی، مقاومت جریان، اتلاف سیال و تزریق پذیری برای بازشدگی های اولیه متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: *HDR (Hot Dry Rock)*، سنگ داغ خشک، هیدرومکانیک، تحریک هیدرولیکی، *UDEC*.

صفحه	عنوان
	فصل 1: کلیات
1	1-1-1. مقدمه
3	2-1-2. انرژی زمین گرمایی از دیدگاه زمین شناسی
3	1-2-1-1. ساختار زمین
4	2-2-1-2. تئوری تکتونیک صفحه‌ای
6	3-2-1-3. گرمای زمین
7	4-2-1-4. انتقال گرما در زمین
7	5-2-1-5. گرادیان گرمایی زمین و هدایت گرمایی سنگها
8	3-1-3. منابع زمین گرمایی
8	1-3-1-1. نگاهی کلی
9	2-3-1-2. سیستمهای هیدروگرمایی
9	1-2-3-1-1. حوزه‌های آب - غالب
10	2-2-3-1-2. حوزه‌های بخار - غالب
12	4-1-4. اکتشاف منابع زمین گرمایی
13	1-4-1-1. فهرست بندی و شناسایی نشانه های سطحی
13	2-4-1-2. مطالعات زمین شناسی و زمین - آب شناسی
13	3-4-1-3. مطالعات شیمیایی زمین و گرماسنج زمین
14	4-4-1-4. مطالعات ژئوفیزیکی
14	1-4-4-1-1. مطالعات لرزه‌ای
15	2-4-4-1-2. مطالعات ثقلی
15	3-4-4-1-3. مطالعات مغناطیسی
15	4-4-4-1-4. مطالعات مقاومت الکتریکی
16	5-4-4-1-5. مطالعات الکترومغناطیسی
16	6-4-4-1-6. مطالعات مربوط به گرماسنجی
17	5-1-5. موارد استفاده از انرژی زمین گرمایی
21	6-1-6. تکنولوژیهای نوین استخراج انرژی زمین گرمایی
21	1-6-1-1. سیستمهای سنگ داغ خشک (HDR)
23	2-6-1-2. انرژی ماگما
24	3-6-1-3. منابع زمین فشاری

فصل 2: منابع سنگ داغ خشک (HDR)

25	..... 1-2. مقدمه
26	..... 2-2. تاریخچه منابع HDR
28	..... 3-2. مفهوم منابع HDR
30	..... 4-2. ملاحظات مورد توجه در ایجاد منابع
30	..... 1-4-2. دما
31	..... 2-4-2. زمین‌شناسی
32	..... 3-4-2. میدان تنش
32	..... 4-4-2. سیال برجا
33	..... 5-2. فرآیند تحریک هیدرولیکی برای ایجاد منابع
34	..... 6-2. ارزیابی منبع
35	..... 1-6-2. داده‌های هیدرولیکی در حین ایجاد یک منبع
36	..... 2-6-2. داده‌های هیدرولیکی در حین آزمایش گردش سیال
36	..... 3-6-2. رفتارسنجی رخدادهای ریز لرزه‌ای
37	..... 4-6-2. اندازه‌گیری دما
37	..... 5-6-2. واقع‌نگاری تولید
37	..... 6-6-2. ردیاب‌ها
38	..... 7-6-2. ترکیب شیمیایی زمین
38	..... 8-6-2. اقتصاد
39	..... 7-2. سایت‌های آزمایش HDR
39	..... 1-7-2. اولین پروژه HDR - آزمایشگاه علمی لس‌آلاموس (LASL)، آمریکا
41	..... 2-7-2. پروژه HDR در مدرسه کامبورن (CSM)، انگلستان
41	..... 3-7-2. پروژه‌های HDR در ژاپن
42	..... 1-3-7-2. پروژه هیجی اوری (استان یاماگاتا)
42	..... 2-3-7-2. پروژه اوگاچی
42	..... 4-7-2. فعالیت‌های HDR در استرالیا
43	..... 5-7-2. فعالیت‌های HDR در آلمان
44	..... 6-7-2. پروژه تحقیقات اروپایی HDR در شولتز سوس فارتز

فصل 3: منابع HDR از دیدگاه مکانیک سنگ و پارامترهای مهندسی

48	..... 1-3. مقدمه
49	..... 2-3. ماهیت بسترهای عمیق زمین
49	..... 1-2-3. وجود درزه‌ها

49	..... 2-2-3 تغییرات تنش با عمق
49	..... 3-2-3 وضعیت تنش در مجاورت گسلها
50	..... 3-3 وجوه مکانیک سنگ در مهندسی منابع
51	..... 4-3 توصیف تنشها
51	..... 5-3 تکنیکهای اندازه گیری تنش
51	..... 1-5-3 تکنیک شکست هیدرولیکی در منابع عمیق و داغ
53	..... 2-5-3 روش HTPF
54	..... 3-5-3 برون شکست گمانه
55	..... 4-5-3 درزه های ناشی از حفاری
55	..... 5-5-3 تفسیر مشترک برون شکست گمانه و درزه های ناشی از حفاری
56	..... 6-5-3 اندازه گیریهای آزمایشگاهی بر روی نمونه
56	..... 6-3 پیشرفتهای مکانیک سنگ در زمینه HDR
56	..... 1-6-3 تخمین سختی درزه ها به عنوان تابعی از تنش نرمال
56	..... 2-6-3 جریان در درزه ها
57	..... 7-3 پارامترهای مهندسی
57	..... 1-7-3 سطح انتقال گرمایی
58	..... 2-7-3 پارامترهای منبع برای استخراج انرژی
58	..... 3-7-3 عملکرد هیدرولیکی
59	..... 1-3-7-3 مقاومت منابع
62	..... 2-3-7-3 اتلاف آب در منبع
64	..... 3-3-7-3 ارتباط تحریک هیدرولیکی و مقاومت جریان
66	..... 4-7-3 اثر ترموالاستیک بر روی میدان جریان در حین گردش سیال

فصل 4: روش های شبیه سازی فرآیند توأمان هیدرومکانیکی - گرمایی

69	..... 1-4 مقدمه
70	..... 2-4 روشهای عددی
72	..... 1-2-4 روش تفاضل محدود (FDM)
73	..... 2-2-4 روش المان محدود (FEM)
73	..... 3-2-4 روش المان مرزی (BEM)
74	..... 4-2-4 روش المان مجزا (DEM)
74	..... 5-2-4 روش شبکه درزه مجزا (DFN)
75	..... 6-2-4 مدل های ترکیبی
75	..... 3-4 کدهای شبیه سازی

76	..... تحلیل غیرخطی در UDEC
78	..... 1-4-4. مدلسازی رفتار مکانیکی و معادلات حرکت بلوکها
79	..... 2-4-4. مدلسازی رفتار هیدرولیکی
79	..... 1-2-4-4. الگوریتم پایه جریان در درزهها، در UDEC
80	..... 2-2-4-4. رفتار هیدرولیکی جریان در درزههای سنگ
83	..... 3-4-4. مدلسازی رفتار گرمایی
83	..... 4-4-4. مدلسازی انواع مختلف فرآیندهای توأمان
84	..... 1-4-4-4. فرآیند توأمان دوطرفه هیدرولیکی - مکانیکی
87	..... 2-4-4-4. فرآیند توأمان یکطرفه گرمایی - مکانیکی
87	..... 3-4-4-4. فرآیند توأمان یکطرفه گرمایی - هیدرولیکی
88	..... 5-4-4. مدل‌های رفتاری در UDEC

فصل 5: تحلیل عددی منبع زیرزمینی

91	..... 1-5. مقدمه
91	..... 2-5. هندسه مدل
92	..... 3-5. مشخصات مکانیکی مدل
93	..... 4-5. تعریف مسأله و تحریک هیدرولیکی در مدل
93	..... 5-5. بررسی تغییرات پارامترهای هیدرولیکی - مدل اول
93	..... 1-5-5. مسیر جریان
96	..... 2-5-5. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی
99	..... 3-5-5. تغییرات دبی عبوری
100	..... 4-5-5. تغییرات فشار آب حفره‌ای
102	..... 5-5-5. تغییرات تنش در درزهها
103	..... 6-5-5. مقاومت جریان و اتلاف سیال
105	..... 6-5. تحلیل حساسیت بازشدگی اولیه درزهها - مدل اول
109	..... 7-5. اثر جهت درزهها
111	..... 8-5. بررسی تغییرات پارامترهای هیدرولیکی - مدل دوم
113	..... 1-8-5. مسیر جریان
116	..... 2-8-5. تغییرات فشار هیدرولیکی
118	..... 3-8-5. تغییرات دبی عبوری
119	..... 4-8-5. تغییرات فشار آب حفره‌ای
120	..... 5-8-5. تغییرات تنش در درزهها
122	..... 6-8-5. مقاومت جریان و اتلاف سیال

123 9-5. تحلیل حساسیت بازشدگی درزه‌ها- مدل دوم

فصل 6: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

126 1-6. نتیجه‌گیری

127 2-6. پیشنهادات

129 مراجع

131 واژه‌نامه فارسی - انگلیسی

137 واژه‌نامه انگلیسی - فارسی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
2	شکل 1-1. یک حوزه زمین‌گرمایی با اجزای آن: حوزه تغذیه، لایه نفوذناپذیر، منبع و منشأ گرمایی.....
2	شکل 2-1. شکل شماتیک یک منبع HDR.....
3	شکل 3-1. پوسته، جبه و هسته زمین. در سمت راست یک مقطع از پوسته و قسمت بالایی جبه نشان داده شده است.....
3	شکل 4-1. الگوی صفحه‌ها، پشته‌های اقیانوسی، نواحی کاهشی و حوزه‌های زمین‌گرمایی که در حال حاضر الکتریسیته تولید می‌کنند.....
5	شکل 5-1. مفهوم اساسی تکتونیک صفحه‌ای.....
6	شکل 6-1. یک چاه بخار در حوزه بخار - غالب گایزر کالیفرنیا، حفاری شده است.....
11	شکل 7-1. حوزه بخار زمین‌گرمایی لاردولو، ایتالیا.....
11	شکل 8-1. نیروگاه برق زمین‌گرمایی ماتسوکاوا، قدیمی‌ترین نیروگاه در ژاپن.....
12	شکل 9-1. لوله‌های عایق دار شبکه توزیع آب زمین‌گرمایی برای گرمایش منطقه ریک جاویک، ایسلند.....
18	شکل 10-1. استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برای تولید الکتریسیته.....
18	شکل 11-1. نیروگاه‌های تبدیل به بخار فلش می‌توانند از یک جداکننده آب و بخار یا بیشتر استفاده نمایند.....
20	شکل 12-1. نیروگاه سیکل دوگانه.....
20	شکل 13-1. نیروگاه سیکل دوگانه اورمات، 30MW، ایست مسا، کالیفرنیا.....
21	شکل 14-1. شکل شماتیک از یک منبع HDR که با درزه‌های مصنوعی شکل گرفته است.....
22	شکل 1-2. تغییر مفاهیم منابع HDR در طی سالهای پیشین.....
29	شکل 2-2. دمای سایتهای HDR/HWR در دنیا.....
39	شکل 3-2. سایت آزمایشی شولتز (فرانسه).....
46	شکل 1-3. ابزار آزمایش شکست هیدرولیکی.....
52	شکل 2-3. روش آزمایش HTPF.....
54	شکل 3-3. روش نشانگر تعیین تنش - Breakouts.....
54	شکل 4-3. وقوع برون شکست در تونلی در کانادا.....
55	شکل 5-3. مدل شماتیک یک سیستم ساده تولید انرژی در منابع سنگ داغ خشک.....
59	شکل 6-3. پارامترهای هیدرولیکی عملیاتی سیستم RH12/RH15 به عنوان تابعی از فشار تزریق.....
63	شکل 7-3. نتایج آزمایش تزریق پله‌ای سیال در فنتون هیل، نیومکزیکو.....
65	شکل 8-3. تزریق‌پذیری به عنوان تابعی از دبی اعمالی در حین شکست هیدرولیکی.....
65	شکل 1-4. فرآیندهای توآمان گرمایی - هیدرولیکی - مکانیکی در توده سنگ درزه‌دار.....
70	شکل 2-4. چهار شیوه اصلی، دو سطح و بنابراین هشت روش متفاوت برای مدلسازی مکانیکی سنگ.....
71	شکل 3-4. جریان در درزه‌ها به صورت جریان در Domain ها مدل می‌شوند.....
79	شکل 4-4. شکل ناپیوستگی (الف) بازشدگی واقعی و متغیر (ب) بازشدگی معادل و ثابت.....
82	شکل 5-4. فرآیندهای توآمان موجود در UDEC.....
83	شکل 1-5. هندسه مدل.....
91	شکل 2-5. مسیر جریان در سیستم پس از 3800s با بازشدگی اولیه از 0/21 تا 0/81mm (مدل اول).....
94	شکل 3-5. میزان فشار آب حفره‌ای در سیستم پس از 3800s با بازشدگی اولیه از 0/21 تا 0/51mm.....
95	شکل 4-5. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با

97	.....0/21mm	بازشدگی اولیه
	شکل 5-5.	تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با
97	.....0/31mm	بازشدگی اولیه
	شکل 6-5.	تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با
97	.....0/41mm	بازشدگی اولیه
	شکل 7-5.	تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با
98	.....0/51mm	بازشدگی اولیه
	شکل 8-5.	تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با
98	.....0/61mm	بازشدگی اولیه
	شکل 9-5.	تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با
98	.....0/71mm	بازشدگی اولیه
	شکل 10-5.	تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با
99	.....0/81 mm	بازشدگی اولیه
	شکل 11-5.	تغییرات دبی عبوری در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و دبی تزریق
100	.....50l/s	
	شکل 12-5.	تغییرات دبی عبوری در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و دبی تزریق
100	.....70l/s	
	شکل 13-5.	تغییرات فشار آب حفره‌ای در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و دبی تزریق
101	.....50 l/s	
	شکل 14-5.	تغییرات فشار آب حفره‌ای در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و دبی تزریق
101	.....70 l/s	
	شکل 15-5.	تغییرات تنش قائم وارد بر درزه در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید با بازشدگی اولیه 0/21mm
102	.....0/31mm	بازشدگی اولیه
	شکل 16-5.	تغییرات تنش قائم وارد بر درزه در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید با بازشدگی اولیه 0/31mm
102	.....0/31mm	بازشدگی اولیه
	شکل 17-5.	تغییرات تنش قائم وارد بر درزه در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید با بازشدگی‌های اولیه
103	.....	متفاوت
	شکل 18-5.	مقاومت جریان و تزریق‌پذیری به عنوان تابعی از دبی تزریق، بازشدگی اولیه 0/21mm
104	.....0/31mm	بازشدگی اولیه
	شکل 19-5.	مقاومت جریان و تزریق‌پذیری به عنوان تابعی از دبی تزریق، بازشدگی اولیه 0/31mm
104	.....0/21mm	بازشدگی اولیه
	شکل 20-5.	مقاومت جریان و اتلاف سیال به عنوان تابعی از فشار در چاه تزریق، بازشدگی اولیه 0/21mm
105	.....0/31mm	بازشدگی اولیه
	شکل 21-5.	مقاومت جریان و اتلاف سیال به عنوان تابعی از فشار در چاه تزریق، بازشدگی اولیه 0/31mm
105	.....	ماکزیمم بازشدگی به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه
	شکل 22-5.	ماکزیمم دبی خروجی به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه
106	.....	ماکزیمم فشار آب حفره‌ای به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه
107	.....	مقاومت جریان به عنوان تابعی از دبی تزریق و بازشدگی اولیه
107	.....	مقاومت جریان به عنوان تابعی از دبی تزریق و بازشدگی اولیه
	شکل 26-5.	مقاومت جریان به عنوان تابعی از محل چاه تولید و بازشدگی اولیه
108	.....	مسیر جریان در سیستمی با درزه‌های عمود بر هم
109	.....	مسیر جریان در سیستمی با درزه‌های 45 و 45- درجه
109	.....	مسیر جریان در سیستمی با درزه‌های 75 و 35- درجه
109	.....	مسیر جریان در سیستمی با درزه‌های 75 و 35- درجه
	شکل 30-5.	ماکزیمم بازشدگی درزه‌ها به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه در سیستم با درزه‌های 45 و
110	.....	45- درجه

- شکل 5-31. ماکزیمم بازشدگی درزه‌ها به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه در سیستم با درزه های 35 و 75- درجه..... 110
- شکل 5-32. ماکزیمم بازشدگی درزه‌ها به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه..... 111
- شکل 5-33. ماکزیمم فشار آب به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه..... 111
- شکل 5-34. تغییرات فشار آب حفره‌ای در 5 نقطه در طول زمان تزریق..... 112
- شکل 5-35. دبی تزریق و فشار ثبت شده در سر چاه GPK2..... 112
- شکل 5-36. مسیر جریان در سیستم پس از 3800s با تغییر بازشدگی اولیه در مسیر جریان از 0/31 تا 0/81 میلیمتر..... 113
- شکل 5-37. میزان فشار آب حفره‌ای پس از 3800s با تغییر بازشدگی اولیه در مسیر جریان از 0/31 تا 0/71 میلیمتر..... 115
- شکل 5-38. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با بازشدگی اولیه 0/21mm..... 116
- شکل 5-39. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با بازشدگی اولیه 0/31mm..... 116
- شکل 5-40. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با بازشدگی اولیه 0/41mm..... 117
- شکل 5-41. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با بازشدگی اولیه 0/51mm..... 117
- شکل 5-42. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با بازشدگی اولیه 0/61mm..... 117
- شکل 5-43. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با بازشدگی اولیه 0/71mm..... 118
- شکل 5-44. تغییرات بازشدگی هیدرولیکی در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید در مسیر غالب جریان و با بازشدگی اولیه 0/81 mm..... 118
- شکل 5-45. تغییرات دبی عبوری در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید به ازای دبی تزریق 70 l/s..... 119
- شکل 5-46. تغییرات فشار آب حفره‌ای در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید به ازای دبی تزریق 70l/s..... 119
- شکل 5-47. مقایسه فشار آب حفره‌ای در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید بین مدل اول با بازشدگی اولیه 0/31 میلیمتر و مدل دوم با تغییر بازشدگی در بین دو چاه به 0/31 میلیمتر..... 120
- شکل 5-48. تغییرات تنش قائم وارد بر درزه در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید با بازشدگی اولیه 0/31mm در مسیر جریان..... 120
- شکل 5-49. تغییرات تنش قائم وارد بر درزه در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید با بازشدگی اولیه 0/41mm در مسیر جریان..... 121
- شکل 5-50. تغییرات تنش قائم وارد بر درزه در فاصله بین چاه تزریق و چاه تولید با بازشدگی‌های اولیه متفاوت..... 121
- شکل 5-51. تزریق‌پذیری به عنوان تابعی از دبی تزریق با بازشدگی‌های اولیه 0/21، 0/31 و 0/41 mm..... 122
- شکل 5-52. مقاومت جریان به عنوان تابعی از فشار تزریق با بازشدگی‌های اولیه 0/21، 0/31 و 0/41mm..... 122
- شکل 5-53. اتلاف سیال به عنوان تابعی از فشار تزریق با بازشدگی‌های اولیه 0/21، 0/31 و 0/41 mm..... 123
- شکل 5-54. ماکزیمم بازشدگی هیدرولیکی به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه..... 123
- شکل 5-55. ماکزیمم دبی خروجی به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه..... 124
- شکل 5-56. ماکزیمم فشار آب حفره‌ای به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه..... 124

- شکل 5-57. مقاومت جریان به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه..... 124
- شکل 5-58. مقاومت جریان به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه و مقایسه بین مدل اول و مدل دوم..... 125
- شکل 5-59. اتلاف سیال به عنوان تابعی از بازشدگی اولیه و مقایسه بین مدل اول و مدل دوم..... 125

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
28	جدول 1-2. حوزه‌های آزمایش HDR/HWR
67	جدول 1-3. نتایج به دست آمده در سایتهای اصلی منابع HDR تاکنون
77	جدول 1-4. کدهای کامپیوتری به منظور شبیه‌سازی عددی تحریک هیدرولیکی و استخراج گرما
89	جدول 2-4. مدل‌های رفتاری موجود در UDEC
90	جدول 3-4. مدل‌های ساختاری درزه‌ها در UDEC
92	جدول 1-5. مشخصات مکانیکی مدل
92	جدول 2-5. وضعیت تنش‌های برجا

کلیات

1-1. مقدمه

منبع انرژی زمین‌گرمایی نوعی از انرژی است که از گرمای داخل زمین حاصل می‌گردد. منشأ این گرما با ساختار داخلی زمین و فرآیندهای فیزیکی که در آن رخ می‌دهد در ارتباط است. گرما از بخش داخل زمین به سطح حرکت کرده و منتشر می‌گردد. ما از وجود این پدیده آگاه هستیم چرا که با افزایش عمق، دمای سنگها نیز افزایش می‌یابد و این ثابت می‌کند که یک گرادپان گرمایی با میانگین $30^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ با افزایش عمق در زمین وجود دارد. قسمتهایی از پوسته زمین که دمایی بالاتر از دمای میانگین دارند، با حفاری قابل دسترسی هستند. در این نواحی که در فاصله کمی از سطح قرار دارند، ماگماهایی که هنوز به صورت سیال هستند و یا فرآیند جامد شدن را طی می‌کنند، در حال سرد شدن هستند و گرما آزاد می‌کنند.

استخراج و استفاده از این مقدار عظیم انرژی گرمایی نیاز به وسیله‌ای برای انتقال گرما به اعماق قابل دسترسی در زیر سطح زمین دارد. عموماً گرما از اعماق زمین ابتدا به وسیله هدایت¹ و سپس به وسیله همرفت²، انتقال می‌یابد و در این مراحل سیال نقش انتقال دهنده گرما را دارد. این سیالها عموماً آب بارانی هستند که در درون پوسته زمین نفوذ کرده‌اند و در تماس با سنگهای داغ، گرم شده و در یک لایه آبدار، گاهی با فشار زیاد و دمای بالا (بالاتر از 300°C) قرار می‌گیرند. این لایه آبدار³ (منبع)⁴ قسمتهای اصلی پهنه زمین گرمایی⁵ را تشکیل می‌دهد.

گاهی اوقات این آب گرم شده می‌تواند خود را به سطح زمین برساند که به صورت چشمه‌های آب گرم و یا بخار ظاهر می‌شود. اما در اغلب حالات، منبع با سنگهای نفوذناپذیری که مانع از انتقال آسان سیال داغ به سطح می‌شود، پوشانده شده است و سیال را تحت فشار نگاه می‌دارد. به همین منظور، چاههایی تا منبع حفاری می‌شوند تا سیال داغ یا سیال داغ با بخار یا فقط بخار را استخراج نماید (شکل 1-1).

در روشهای نوین استخراج گرما حتماً نیاز نیست که به یک لایه آبدار دسترسی پیدا کنیم بلکه همین که سنگ داغ خشکی از درزه و ترکهای کافی برخوردار باشد، کافی است [1].

¹ Conduction

² Convection

³ Aquifers

⁴ Reservoirs

⁵ Geothermal fields