

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

کاربرد فن آوری داده‌های ماهواره‌ای در اکتشاف مناطق انرژی زمین گرمایی در
بخش مرکزی ایران (محلات) و اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده‌های
مغناطیس هوایی و ژئوشیمیایی

دانشجو :

محمد رضایی

اساتید راهنما :

دکتر منصور ضیائی

دکتر علی مراد زاده

اساتید مشاور:

دکتر حمید آقاجانی

مهندس محمدرضا رحمانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۰



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد رضایی رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف تحت عنوان : کاربرد داده‌های فن‌آوری ماهواره‌ای در اکتشاف مناطق زمین گرمایی در بخش مرکزی ایران (محلات) و اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی و ژئوشیمیایی که در تاریخ ۱۳۹۰/۶/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه : <u>بسیار خوب امتیاز ۱۸/۵</u>)	☒	دفاع مجدد	☐	مردود	☐
--	-------------------------------------	-----------	--------------------------	-------	--------------------------

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر منصور ضیائی	استادیار	
	دکتر علی مراد زاده	استاد	
۲- استاد مشاور	دکتر حمید آقاجانی	استادیار	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر علیرضا عرب امیری	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر رضا قوامی ریایی	استادیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر علی نجاتی کلاته	استادیار	

رئیس دانشکده : دکتر محمد عطانی

تقديم به

محضر شريف حضرت صاحب الامر (عج الله تعالى فرجه الشريف)

تقدیر و تشکر

اینک که به توفیق خداوند متعال، این پایان نامه را به پایان رسانده‌ام وظیفه خود می‌دانم تا از زحمات گرانقدر عزیزانی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق، کمک‌های شایانی نموده‌اند تشکر و قدر دانی نمایم. در ابتدا لازم می‌دانم از زحمات جناب آقای دکتر منصور ضیائی و آقای دکتر علی مرادزاده که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و با رهنمودهایشان مرا تا پایان مسیر کمک کردند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم. همچنین از جناب آقادر دکتر حمید آقاجانی و مهندس رحمانی که مشاورت این پایان نامه را بر عهده داشتند، جهت مساعدت و همکاری‌های لازم تشکر و قدردانی می‌نمایم. در انتها نیز جا دارد از راهنمایی‌های ارزشمند دکتر علی نجاتی کلاته صمیمانه کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

تعهد نامه

اینجانب محمد رضایی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کاربرد فن آوری داده‌های ماهواره‌ای در اکتشاف مناطق انرژی زمین گرمایی در بخش مرکزی ایران (محلات) و اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی و ژئوشیمیایی تحت راهنمایی دکتر ضیائی و دکتر مرادزاده متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه-های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

انرژی زمین گرمایی یکی از انواع منابع انرژی‌های تجدیدپذیر است که به طرق مختلف جهت تولید برق و سیستم‌های گرمایشی محلی به کار برده شده و در سال‌های اخیر در کشورهای مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. سنجش از دور فن‌آوری نوینی است که می‌توان از آن در اکتشاف میدان‌های زمین گرمایی به منظور تهیه نقشه کانی‌ها و ناهنجاری‌های حرارتی مرتبط با فعالیت‌های زمین گرمایی، پهنه‌بندی خطواره‌های ساختاری که محل عبور سیالات زمین گرمایی هستند و آشکارسازی مناطق دگرسان شده گرمایی، استفاده کرد. در بررسی‌های سنجش از دور می‌توان از داده‌های به دست آمده از ماهواره استر و سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ استفاده کرد. به دلیل برتری‌های داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ نسبت به داده‌های ماهواره استر، در این تحقیق منطقه زمین گرمایی محلات که در مرکز ایران و در استان مرکزی قرار دارد با استفاده از داده‌های سنجش از دور ماهواره لندست ۷ مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده با نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌های مغناطیس‌هوایی و ژئوشیمیایی مقایسه شده و نتایج حاصل از بررسی‌های سنجش از دور اعتبارسنجی می‌شوند. با توجه به مطالعات انجام شده، مشخص شد که منطقه محلات قسمتی از یک سیستم زمین گرمایی فعال و قدیمی است که مخزن این سیستم در شمال شهرستان محلات واقع شده است. سیالات زمین گرمایی در این ناحیه توسط گسلی با روند شمال غربی - جنوب شرقی به محل چشمه‌های آبگرم می‌رسد. با توجه به نتایج مطالعات انجام شده، در اینجا حدود جدیدی برای منطقه زمین گرمایی محلات به منظور مطالعات تکمیلی پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: محلات، میدان زمین گرمایی، سنجش از دور، ETM+، مغناطیس هوایی، ژئوشیمی.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- زمینه تحقیق	۳
۱-۳- فرض‌های تحقیق	۵
۱-۴- اهداف تحقیق	۷
۱-۵- ساختار پایان نامه	۸
فصل دوم: سیستم‌های زمین‌گرمایی	۹
۲-۱- مقدمه	۱۰
۲-۲- سیستم‌های زمین‌گرمایی و تکتونیک صفحه‌ای	۱۱
۲-۳- انواع سیستم‌های زمین‌گرمایی	۱۳
۲-۳-۱- سیستم زمین‌گرمایی همرفتی	۱۳
۲-۳-۱-۱- سیستم گرمایی	۱۴
۲-۳-۱-۱-۳- سیستم بخار - غالب	۱۴
۲-۳-۱-۱-۳-۲- سیستم مایع غالب	۱۷
۲-۳-۱-۳-۲- سیستم‌های چرخشی	۱۹
۲-۳-۲- سیستم‌های زمین‌گرمایی انتقالی	۱۹
۲-۳-۲-۱- لایه‌های آب دار کم دما، آنتالپی پایین	۲۰
۲-۳-۲-۲- مناطق تحت فشار زمین	۲۰
۲-۳-۲-۳- سنگ داغ خشک	۲۱
۲-۴- اکتشاف مناطق زمین‌گرمایی	۲۲

فصل سوم: جغرافیا و زمین شناسی منطقه	۲۴
۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه زمین گرمایی محلات	۲۵
۲-۳- زمین شناسی منطقه	۲۶
۱-۲-۳- پرکامبرین	۲۶
۲-۲-۳- پالئوزوئیک	۲۶
۳-۲-۳- مزوزوئیک	۲۹
۴-۲-۳- سنوزوئیک	۳۰
۳-۳- چشمه‌های آبگرم محلات	۳۰
۴-۳- کارهای اکتشافی انجام شده قبلی	۳۱
۵-۳- داده‌های استفاده شده در تحقیق	۳۳
۱-۵-۳- داده‌های ماهواره‌ای	۳۳
۲-۵-۳- داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی	۳۴
۳-۵-۳- داده‌های هیدروژنوشیمیایی	۳۴

فصل چهارم: روش‌های سنجش از دور	۳۵
۱-۴- مقدمه	۳۶
۱-۱-۴- کاربرد فن‌آوری سنجش از دور در اکتشاف منابع زمین گرمایی	۳۹
۲-۴- ماهواره‌های لندست	۴۰
۳-۴- روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور	۴۲
۱-۳-۴- روش ترکیب‌های رنگی	۴۲
۲-۳-۴- روش نسبتی بین باندها	۴۵
۳-۳-۴- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی	۴۹

۴-۳-۴- برآزش به روش کمترین مربعات	۵۲
۴-۳-۵- فیلتر کردن تصویر	۵۳
۴-۳-۶- به دست آوردن دمای سطح زمین	۵۵
۴-۳-۶-۱- تبدیل اعداد رقومی به تابش	۵۶
۴-۳-۶-۲- تبدیل تابش به دما در ماهواره	۵۷
۴-۳-۶-۳- محاسبه دمای تابشی سطح زمین	۵۸
۴-۳-۶-۴- دمای جنبشی سطح زمین	۵۹

فصل پنجم: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور.....۶۰

۵-۱- مقدمه	۶۱
۵-۲- شناسایی واحدهای سنگی و علائم سطحی فعالیت‌های زمین گرمایی	۶۱
۵-۳- شناسایی مناطق دگرسان شده	۶۵
۵-۳-۱- روش ترکیب‌های رنگی	۶۶
۵-۳-۲- نسبت‌گیری بین باندها	۶۶
۵-۳-۳- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی	۶۸
۵-۳-۴- آشکارسازی تصویر به روش کمترین مربعات	۷۴
۵-۴- شناسایی ساختارهای زمین شناسی منطقه	۷۵
۵-۵- شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی موجود در منطقه زمین گرمایی محلات	۷۷
۵-۶- نتیجه‌گیری	۸۰

فصل ششم: اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی و داده‌های

هیدروژئوشیمیایی منطقه	۸۲
۶-۱- مقدمه	۸۳

۶-۲- اعتبارسنجی نتایج حاصل از سنجش از دور با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی ۸۳

۶-۲-۱- داده‌ها و نرم افزار ۸۴

۶-۲-۲- نقشه های ناهنجاری میدان مغناطیسی منطقه زمین گرمایی محلات ۸۵

۶-۲-۳- شناسایی گسل‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی ۸۸

۶-۳- اعتبارسنجی نتایج حاصل از سنجش از دور با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی ۹۰

۶-۳-۱- داده‌های ژئوشیمیایی و نرم افزار ۹۳

۶-۳-۲- رده بندی آب چشمه‌های آبگرم محلات ۹۵

۶-۳-۲-۱- نمودار مثلثی کلر- سولفات- بی کربنات ۹۵

۶-۳-۲-۲- نمودار مثلثی برم- کلر- لیتیم ۹۶

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۹

۷-۱- نتیجه گیری ۱۰۰

۷-۲- پیشنهادات ۱۰۱

منابع ۱۰۳

فهرست شکل‌ها

- فصل اول: کلیات..... ۱
- شکل ۱-۱: رشد جمعیت جهان در مقایسه با مصرف انرژی و سرانه آن در گذشته و برآورد آن در آینده. ۲
- شکل ۱-۲: مناطق مستعد زمین گرمایی ایران (YOUSEFI ET AL. 2010)..... ۴
- فصل دوم: سیستم‌های زمین گرمایی..... ۹
- شکل ۱-۲: سیستم زمین گرمایی (با اقتباس از WIBOWO, 2006)..... ۱۴
- شکل ۲-۲: مدل مفهومی سیستم زمین گرمایی نوع گرمایی از گروه بخار-غالب (با اقتباس از GUPTA AND ROY, 2007)..... ۱۶
- شکل ۳-۲: نمایش نمادین یک مخزن زمین گرمایی مایع غالب به همراه منحنی تغییرات نقطه جوش آب خالص با عمق (با اقتباس از GUPTA AND ROY, 2007)..... ۱۸
- شکل ۴-۲: مدلی از از رده ی لایه‌های آبدار کم دما، آنتالپی پایین (ANDERSON & LUND, 1979) ۲۰
- شکل ۵-۲: سیستم زمین گرمایی مناطق تحت فشار زمین (BEBOUT ET AL., 1978)..... ۲۱
- فصل سوم: جغرافیا و زمین شناسی منطقه..... ۲۴
- شکل ۱-۳: موقعیت منطقه زمین گرمایی محلات..... ۲۵
- شکل ۲-۳: نقشه زمین شناسی منطقه زمین گرمایی محلات با تغییرات از (THIELE ET AL., 1968). ۲۷
- شکل ۳-۳: نقشه تفسیر مغناطیس سنجی هوایی منطق زمین گرمایی محلات- اصفهان شامل خطواره‌های اصلی و توده‌های نفوذی (پژوهشکده نیرو، ۱۳۸۸)^۱..... ۳۳

فصل چهارم: روشهای سنجش از دور..... ۳۵

شکل ۴-۱: ترکیب رنگی ۴۳

شکل ۴-۲: منحنی بازتاب طیفی برخی از کانی‌های رسی (با اقتباس از SABINS, 1999) ۴۶

شکل ۴-۳: منحنی بازتاب طیفی برخی از کانی‌های آهنی (با اقتباس از SABINS, 1999) ۴۷

شکل ۴-۴: چگونگی به دست آوردن مولفه‌های اصلی از داده‌ها ۵۰

شکل ۴-۵: نمایی از فرآیند آشکارسازی لبه‌ها با استفاده از روش کاستن تصویر هموار شده ۵۵

فصل پنجم: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور..... ۶۰

شکل ۵-۱: تصویر ترکیب رنگی واقعی منطقه زمین‌گرمایی محلات ۶۲

شکل ۵-۲: نمودار همبستگی بین باندهای مختلف ۶۳

شکل ۵-۳: تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۷، ۴ و ۱ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی از منطقه مورد

مطالعه. به دور تراورتن‌ها دایره‌ای زرد رنگ رسم شده است. ۶۴

شکل ۵-۴: تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۴، ۵ و ۱ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی که در آن فلش زرد

به توف، فلش قرمز به گرانیت و فلش آبی به گنبد آتشفشانی ریوداسیتی اشاره دارد. ۶۴

شکل ۵-۵: شناسایی مناطق دگرسانی با استفاده از تصویر حاصل از اختصاص باندهای ۴، ۵ و ۷ به

رنگهای قرمز، سبز و آبی ۶۶

شکل ۵-۶: تصویری با ترکیب نسبت‌های باندی ۳ به ۱، ۵ به ۷ و ۴ به ۵، به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی.

دور مناطق دگرسان خط کشیده شده است ۶۷

شکل ۵-۷: تصویر حاصل از ترکیب نسبت‌های باندی ۷ به ۴، ۴ به ۳ و ۵ به ۷، در محیط قرمز، سبز و

آبی. مناطق دگرسان به رنگ آبی دیده می‌شوند. ۶۸

شکل ۵-۸: تصویر حاصل از مولفه اصلی سوم که مناطق دارای اکسید آهن در آن به رنگ تیره دیده

می‌شوند ۷۰

شکل ۵-۹: تصویر حاصل از منفی کردن مولفه اصلی سوم که مناطق دارای اکسید آهن در آن به رنگ

روشن دیده می شوند ۷۰

شکل ۵-۱۰: تصویر حاصل از (PC4) برای شناسایی مناطق دارای کانی های رسی ۷۲

شکل ۵-۱۱: تصویر حاصل از (PC4-) برای شناسایی مناطق دارای کانی های رسی ۷۲

شکل ۵-۱۲: تصویر رنگی حاصل از نمایش تصویر نمایان کننده اکسیدهای آهن به رنگ قرمز، تصویر

نمایان کننده کانی های رسی به رنگ آبی و میانگین این دو تصویر به رنگ سبز. مناطق به شدت

دگرسان شده به رنگ روشن دیده می شوند. ۷۳

شکل ۵-۱۳: تصویر رنگی تهیه شده با اختصاص باقی مانده باند ۳ ، باقی مانده باند ۵ و باقی مانده باند ۴

به ترتیب در محیط های قرمز، سبز و آبی ۷۵

شکل ۵-۱۴: خطواره های اصلی در منطقه زمین گرمایی محلات ۷۶

شکل ۵-۱۵: تصویر ترکیب رنگی کاذب حاصل از نمایش باندهای ۴، ۵ و ۱ در محیط های قرمز، سبز و

آبی پس از اعمال فیلتر بارزسازی لبه ها که ساختارهای چین خورده و گسل ها در آن دیده می شوند ۷۷

شکل ۵-۱۶: تصویر حاصل از مقدار تابش از سطح زمین در منطقه زمین گرمایی محلات ۷۸

شکل ۵-۱۷: دمای جنبشی سطحی محاسبه شده در منطقه زمین گرمایی محلات به درجه کلوین.

ناهنجاری حرارتی با فلش زرد رنگ و گسل ها با خطوط مشکی نشان داده شده است. ۷۹

فصل ششم: اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده های مغناطیسی هوایی و داده های

هیدروژئوشیمیایی منطقه ۸۲

شکل ۶-۱: نقشه ناهنجاری میدان کل مغناطیسی منطقه زمین گرمایی محلات ۸۶

شکل ۶-۲: نقشه برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه زمین گرمایی محلات ۸۷

شکل ۶-۳: نقشه باقی مانده داده های برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه زمین گرمایی

محلات ۸۸

شکل ۴-۶: نقشه زاویه تمایل داده های برگردان به قطب شده منطقه زمین گرمایی محلات. گسل های

اصلی موجود در این منطقه با خطوط مشکی پر رنگ نشان داده شده اند ۹۰

شکل ۵-۶: نمودار مثلثی کلر- سولفات- بی کربنات چشمه های آبگرم محلات ۹۶

شکل ۶-۶: نمودار مثلثی برم، کلر و لیتیم برای داده های چشمه های آبگرم محلات ۹۸

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۹۹

شکل ۱-۷: محدوده پیشنهادی قدیمی (محدوده درون خط زرد) و جدید (محدوده درون خط آبی)

برای سیستم زمین گرمایی محلات ۱۰۱

فهرست جداول

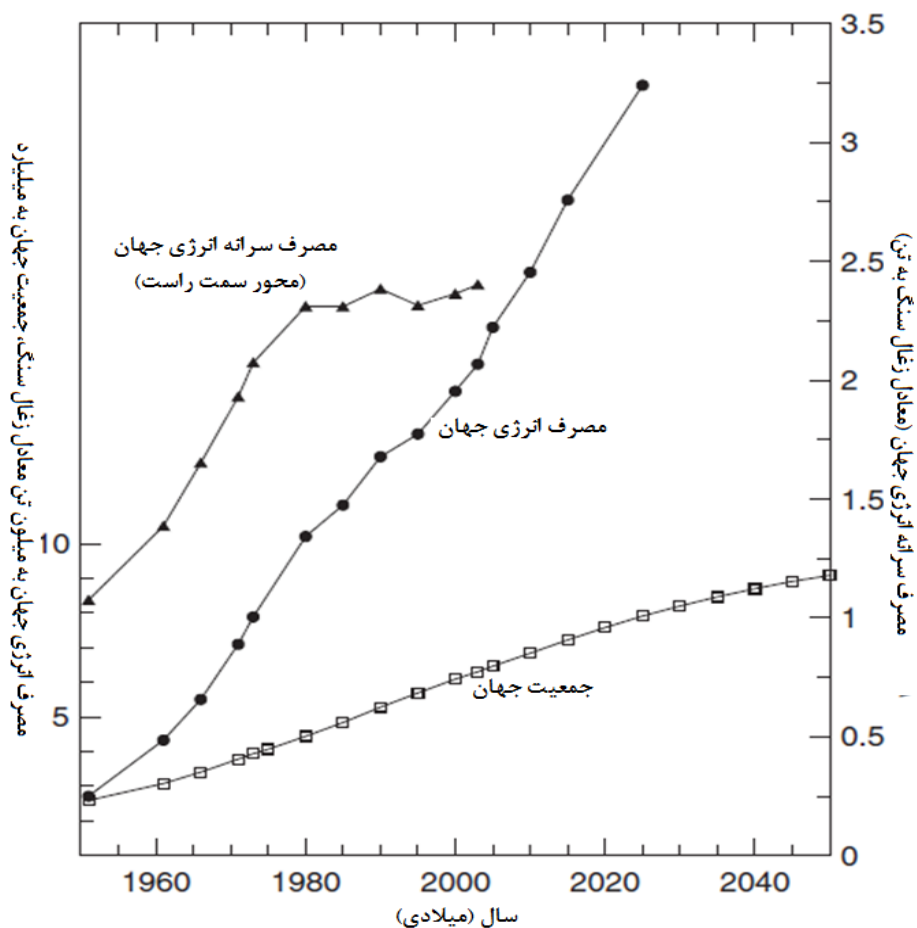
- جدول ۳-۱: نام و مختصات جغرافیایی چشمه‌های آبگرم محلات ۳۱
- جدول ۴-۱: محدوده طول موج و مشخصه باندهای سنجنده ETM+ ۴۱
- جدول ۴-۲: ثابت‌های کالیبراسیون برای تعیین دما در ماهواره لندست ۷ (USGS) ۵۸
- جدول ۵-۱: مقدار ویژه‌های محاسبه شده برای مولفه‌های اصلی به منظور شناسایی مناطق دارای اکسیدهای آهن ۶۹
- جدول ۵-۲: مقدار ویژه‌های محاسبه شده برای مولفه‌های اصلی به منظور شناسایی مناطق دارای کانی‌های رسی ۷۱
- جدول ۶-۱: نتایج حاصل از تجزیه تحلیل شیمیایی چشمه‌های آبگرم محلات. (غلظت‌ها به میلی گرم به لیتر است) ۹۴

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، صنعتی شدن، و رشد استانداردهای زندگی، به طور پیوسته مصرف انرژی افزایش داشته است (شکل ۱-۱). وضعیت ذخایر موجود انرژی و شرایط تقاضا به گونه‌ای است که همه انرژی از تمام منابع در دسترس انرژی باید مهار شده و مورد استفاده قرار گیرند. به ویژه منابع مرسوم، مثل نفت و زغال سنگ، با نرخ نگران کننده‌ای خالی خواهند شد. رشد نگرانی‌ها درباره‌ی تأثیرات زیست محیطی منابع انرژی مختلف موانعی را بر سر راه استفاده از آن‌ها قرار داده است. برای غلبه بر مشکلات ذکر شده باید به دنبال منابع انرژی پاک و تجدید پذیر باشیم [Gupta and Roy, 2007].



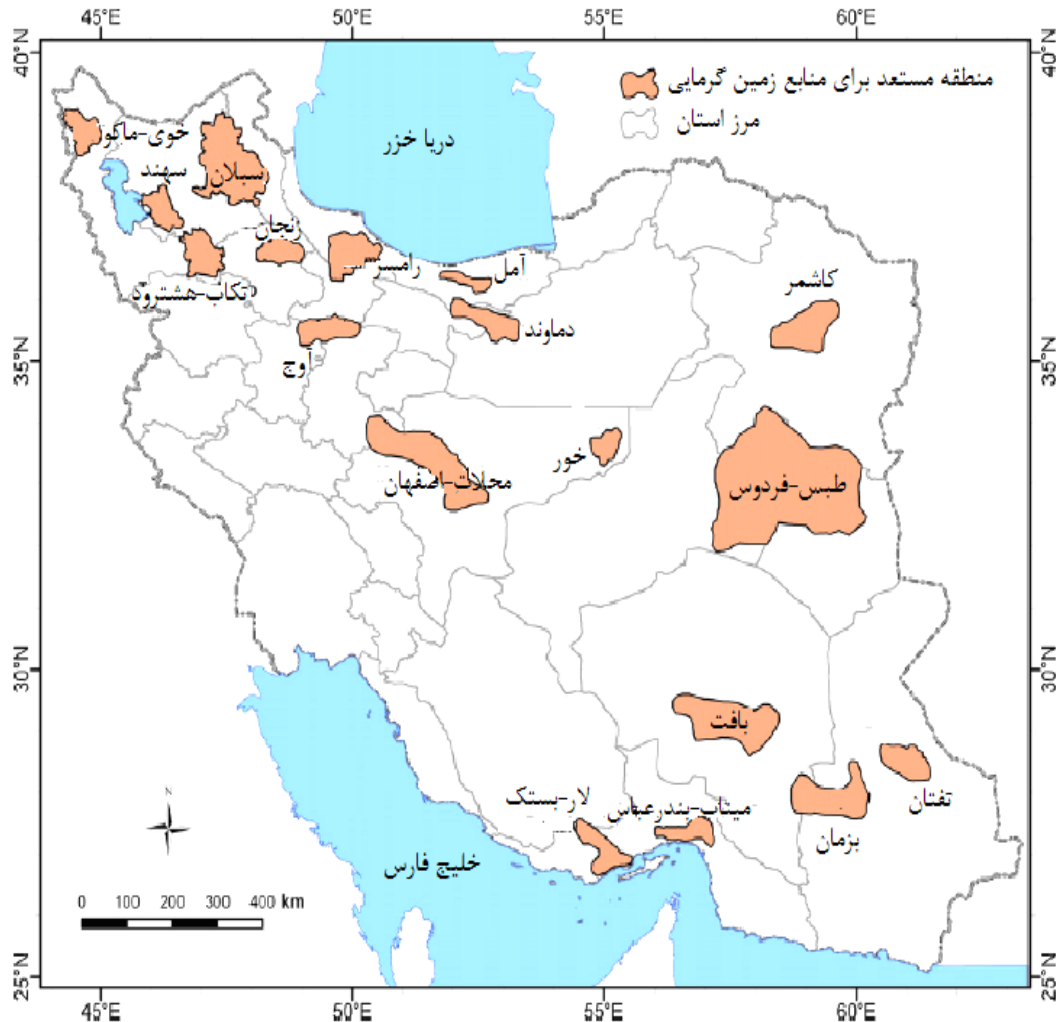
شکل ۱-۱: رشد جمعیت جهان در مقایسه با مصرف انرژی و سرانه آن در گذشته و برآورد آن در آینده (با اقتباس از Gupta and Roy, 2007)

انرژی زمین‌گرمایی منبع انرژی فراوان دیگری است که در دهه‌های اخیر در کشورهای مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. در گذشته‌های دور از چشمه‌های آب گرم برای مقاصد مختلف استفاده می‌شده است. اما به هر حال، استفاده از حرارت زمین به عنوان یک منبع انرژی در آغاز قرن بیستم شروع شد هنگامی که برای اولین بار برق از بخار زمین‌گرمایی در لاردولو ایتالیا (۱۹۰۴) تولید شد. از این انرژی هم به شکل خانگی و هم به شکل صنعتی استفاده می‌شود. این انرژی با استفاده از حرارت درونی زمین تولید می‌شود. این انرژی زمانی تولید می‌شود که این حرارت زیرزمینی از طریق آب‌هایی که از درون درزه شکاف‌های سنگ‌های داغ عبور می‌کنند و یا از نزدیکی توده‌های ماگمایی که در عمق کمی قرار دارند (چند صد متر تا چند کیلومتر) عبور می‌کنند، منتقل می‌شود. این آب‌ها و یا جریان‌های داغ از طریق حفر چاه به سطح زمین انتقال می‌یابند. این آب‌ها بیشتر طبیعی بوده، و آب‌های زیرزمینی می‌باشند که از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها به درون زمین نفوذ می‌کنند. در بعضی از موارد این آب‌ها به شکل مصنوعی به درون زمین تزریق می‌شوند و پس از گرم شدن به سطح زمین پمپ می‌شوند. فرایند استخراج و انتقال انرژی زمین‌گرمایی سرمایه بر می‌باشد. ولی به دلیل افزایش و رشد روز افزون مصرف انرژی و قیمت نفت خام، اقتصادی می‌باشد [Gupta & Roy, 2007].

۲-۱- زمینه تحقیق

از هزاران سال پیش در ایران، از چشمه‌های آب گرم برای شستشو و استفاده از خواص درمانی آن استفاده شده است. توسعه استفاده از انرژی زمین‌گرمایی در ایران حدوداً از سال ۱۳۵۳ با انجام یک پروژه اکتشافی در مناطق شمال غربی کشور توسط وزارت انرژی، آغاز شد. در نتیجه این مطالعات چهار منطقه زمین‌گرمایی که پتانسیل توسعه را داشتند، شناسایی شدند که شامل مناطق سبلان، دماوند، خوی-ماکو، و سهند می‌شدند [ENEL, 1983]. مطالعات اکتشافی بعدی توسط سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) در بین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۷ صورت گرفت که در نتیجه این مطالعات ده منطقه مستعد زمین‌گرمایی جدید یافت شد [Yousefi et al. 2010]. یوسفی و همکاران (۲۰۱۰) با

ترکیب اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی در محیط GIS، هجده منطقه مستعد دارای منابع زمین‌گرمایی را در ایران مشخص نموده‌اند (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲: مناطق مستعد زمین‌گرمایی ایران (Yousefi et al. 2010)

اولین پروژه تولید برق از انرژی زمین‌گرمایی در ایران در سال ۱۹۹۵ و در منطقه زمین‌گرمایی سبلان آغاز شد. در این منطقه مطالعات اکتشافی و امکان‌سنجی پنج منطقه مستعد را معرفی کرده بود. ظرفیت این مخزن پنجاه مگاوات می‌باشد [KML, 1998].

تعدادی منطقه زمین‌گرمایی اخیراً توسط دولت به منظور تولید برق و استفاده مستقیم از گرمای داخلی زمین، مورد ارزیابی قرار گرفته است [Yousefi et al. 2010]. یکی از این مناطق، منطقه زمین‌گرمایی محلات می‌باشد که در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود. دولت جمهوری اسلامی ایران

قصد دارد استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در داخل کشور را توسعه دهد که اکتشاف و استخراج انرژی زمین گرمایی می تواند کمک خوبی برای رسیدن به این هدف باشد.

۱-۳- فرض های تحقیق

وجود چشمه های آبگرم، فعالیت های آتشفشانی جوان، و توده های نفوذی از علائم فعالیت های زمین گرمایی می باشند [Bowen, 1989]. که با استفاده از داده های سنجش از دور می توان آن ها را شناسایی نمود.

منطقه زمین گرمایی محلات در محدوده فرورانش حاشیه قاره ارومیه دختر قرار گرفته است. این منطقه به صورت نواری بلند در امتداد و به موازات روراندگی زاگرس قرار دارد. درازای این منطقه حدود ۱۵۰۰ و پهنای آن در حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر می باشد. این منطقه از فرورانش صفحه اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران که از اواخر کرتاسه آغاز شده بود در دوران سنوزوئیک ادامه یافت و برخورد صفحه عربی با ایران در میوسن، به وجود آمده است [Berberian, 1981]. در این منطقه فعالیت های آتشفشانی جوان و توده های نفوذی زیادی دیده شده است [خویی و همکاران، ۱۳۷۸].

طبیعت فرآیندهای گرمایی فعال در بسیاری از مناطق زمین گرمایی شبیه فرایندهای گرمایی است که ذخایر معدنی را ایجاد نموده است. بنابراین، بسیاری از مفاهیم مورد استفاده در اکتشاف مواد معدنی در اکتشاف منابع زمین گرمایی نیز کاربرد دارند، مثل مناطق دگرسانی [Bogie And Lawless, 2000]. تهیه نقشه مناطق دگرسانی گرمایی با استفاده از تصاویر ماهواره ای امکان پذیر می باشد، چون کانی های مشخصه دگرسانی مرتبط با ذخایر معدنی گرمایی دارای ویژگی های طیفی مشخصی هستند که شناسایی این کانی ها از راه دور را ممکن می سازد [Gladwell et al., 1983; Carranza and Hale, 2001; Poormirzaee et al., 2010]. گسل ها و شکستگی ها نفوذ پذیری لازم را برای گردش سیالات موجود در سیستم های زمین گرمایی فراهم می کنند [Rybach and Muffler, 1981; Tezuka et al., 2000]. این گسل ها و شکستگی ها را می توان با استفاده از روش های دورسنجی و مغناطیس سنجی هوابرد شناسایی نمود.

دراکتشاف مناطق زمین گرمایی، برداشت‌های مغناطیس سنجی بیشتر برای مشخص کردن توده های نفوذی پنهان و تخمین عمق احتمالی آن‌ها، و یا برای مشخص کردن دایک‌ها و گسل‌های پنهان انجام می‌شوند [Mwangi, 2007; Mariita, 2009; Georgsson, 2009]. همچنین پیمایش مغناطیس سنجی برای یافتن مناطقی که در آن‌ها خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها به دلیل فعالیت‌های گرمایی کم است، استفاده می‌شود. در مناطق زمین گرمایی در اثر فعالیت‌های زمین گرمایی غلظت برخی از عناصر مثل کالر، برم، در سیالات زمین گرمایی افزایش می‌یابد. از این عناصر می‌توان به عنوان شاخص‌هایی برای به دست آوردن دما و ویژگی‌های مخازن زمین گرمایی در مناطق وسیع و تعیین محدوده‌های مناطق زمین گرمایی استفاده کرد [Giggenbach, 1991].

بنابراین، به طور خلاصه فرضیات ما در این تحقیق برای مطالعه منطقه زمین گرمایی محلات در استان مرکزی کشور ایران، باتوجه به اطلاعات ناحیه ای موجود شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- وجود سنگهای آتشفشانی جوان، آثار دگرسانی و چشمه‌های آبگرم می‌تواند نشان دهنده وجود فعالیت‌های زمین گرمایی در منطقه باشد که با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌توان آن‌ها را بررسی کرد.

۲- مناطق دارای گسل و درزه و شکاف نشان دهنده مناطقی نفوذپذیر هستند که علائم سطحی فعالیت های زمین گرمایی مثل چشمه های آبگرم می توانند در آنجا به وجود آیند. با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مغناطیس سنجی هوابرد می‌توان این مناطق را مورد بررسی قرار داد.

۳- به دلیل وجود سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی در مناطق زمین گرمایی ناهنجاری مثبت مغناطیسی وجود دارد. و همچنین در برخی از بخش‌های مناطق زمین گرمایی به دلیل فعالیت‌های زمین گرمایی و دگرسانی سنگها خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند که در این مناطق ناهنجاری منفی مغناطیسی ایجاد می‌شود.

۴- غلظت بالای برخی از عناصر مثل برم و کالر در آب چشمه‌های آبگرم وجود دارد، نشان دهنده وجود میدان زمین گرمایی است.

با ترکیب موارد زمین‌شناسی که در بالا شرح داده شد می‌توان فعالیت‌های زمین گرمایی منطقه محلات را ارزیابی کرد.

۱-۴- اهداف تحقیق

هدف اصلی از این تحقیق این است که ثابت کنیم که تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور ابزار مناسبی برای اکتشاف منابع زمین‌گرمایی در مقیاس ناحیه‌ای و محلی می‌باشد. بدین منظور می‌توان از داده‌های مختلف و روش‌های تجزیه و تحلیل متفاوتی استفاده کرد. سیستم‌های زمین‌گرمایی معمولاً توسط شاخص‌های زمین‌شناسی خاصی شناسایی می‌شوند که این شاخص‌های زمین‌شناسی را می‌توان با استفاده از داده‌های سنجش از دور شناسایی کرد. در این میان اهداف کوچکتری نیز وجود دارند که ترتیب قرارگیری آن‌ها نشان دهنده ترتیب انجام کار در جهت رسیدن به هدف اصلی می‌باشند، این اهداف شامل موارد زیر می‌باشند:

۱- تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور و استخراج مشخصه‌های زمین‌شناسی مرتبط با فعالیت‌های زمین‌گرمایی از آن‌ها.

۲- تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوفیزیکی (مغناطیس‌هوائی) و استخراج شاخص‌های زمین‌شناسی مرتبط با فعالیت‌های زمین‌گرمایی از آن‌ها.

۳- تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی.

۴- اعتبار سنجی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور با استفاده از نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌های مغناطیس‌هوائی و داده‌های ژئوشیمیایی و نتیجه‌گیری.

۱-۵- ساختار پایان نامه

این پایان نامه شامل هفت فصل است. در فصل اول به کلیاتی در خصوص زمینه، فرض‌ها و اهداف تحقیق پرداخته می‌شود. در فصل دوم انواع سیستم‌های زمین‌گرمایی و زمین‌شناسی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم جغرافیا و زمین‌شناسی منطقه زمین‌گرمایی محلات آورده شده و داده‌های استفاده شده در این تحقیق نیز شرح داده شده‌اند. فصل چهارم مختص انواع روش‌

های تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای به کار گرفته شده در این تحقیق است. در فصل پنجم نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای منطقه گرمایی محلات ارائه شده است و در فصل هفتم این نتایج با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی و ژئوشیمیایی منطقه، اعتبار سنجی شده است. در انتها نیز در فصل هفتم نتایج به دست آمده و پیشنهادات ارائه شده است.

فصل دوم

سیستم های زمین گرمایی

۲-۱- مقدمه

کلمه زمین‌گرمایی^۱ به انرژی حرارتی داخل زمین اشاره دارد و معمولاً به سیستم‌هایی گفته می‌شود که در آن مخزن حرارتی به اندازه کافی بزرگ بوده و می‌توان از آن‌ها به عنوان منابع انرژی استفاده کرد. چنین سیستم‌هایی را می‌توان بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، آب زمین‌شناسی، و انتقال حرارتشان تعریف و دسته‌بندی کرد [Bowen, 1989]. تمرکز انرژی حرارتی در سیستم‌های زمین‌گرمایی توسط ناهنجاری‌های زمین‌گرمایی مشخص می‌گردد. عوامل زمین‌شناسی و آب‌شناسی به همراه پدیده‌ی انتقال حرارت می‌تواند نقش مهمی در تشکیل ناهنجاری‌های حرارتی داشته باشد مثل منابع حرارتی ماگمایی جوان در قسمت‌های فوقانی پوسته، چرخه گرمایی آب‌های جوی در سیستم‌های گسل‌ها و شکستگی‌ها، و بی‌نظمی‌ها در انتقال هدایتی حرارت. مهم‌ترین ناهنجاری‌های زمین‌گرمایی مرتبط با ماگماهایی هستند که به سمت بالا حرکت می‌کنند [Wibowo, 2006].

درجه تمرکز انرژی حرارتی در یک مخزن زمین‌گرمایی را می‌توان به وسیله‌ی مقایسه میانگین حرارت محتوی در سنگ‌های پوسته در ۱۰ کیلومتر بالایی، که ۸۵ کیلوژول بر کیلوگرم است و میانگین حرارت محتوی بخار اشباع شده در مخزن زمین‌گرمایی که ۲۹۷۰ کیلوژول بر کیلوگرم است، به دست آورد [Rybach And Muffler, 1981]. بنابراین ضریب غنی‌شدگی برای منابع زمین‌گرمایی با قابلیت استخراج بالا، حدود ۳۰ می‌باشد. تمرکز انرژی زمین‌گرمایی به تخلخل بالا (ضریب ذخیره)، و نفوذپذیری بالای سنگ مخزن بستگی دارد [Bowen, 1989].

شرایط لازم برای ایجاد و تشکیل یک سیستم زمین‌گرمایی عبارتند از:

(۱) یک منبع بزرگ حرارتی.

(۲) مخزنی که این حرارت در آن انباشته شود. سنگ مخزن نفوذپذیری بالایی دارد.

(۳) سدی که این حرارت انباشته شده را نگه دارد. این سنگ پوششی نفوذپذیری کمی دارد.

¹ Geothermal

در صورت وجود هر نوع شرایط زمین شناسی مناسب، سیستم‌های زمین‌گرمایی متنوعی می‌توانند تشکیل شوند. در نتیجه، تمامی مناطق زمین‌گرمایی با یکدیگر متفاوت می‌باشند [Gupta and Roy, 2007].

۲-۲- سیستم‌های زمین‌گرمایی و تکتونیک صفحه‌ای

محیط‌های زمین شناسی که مخازن زمین‌گرمایی در آن‌ها به وجود می‌آیند، ساختارهای متفاوتی دارند. بزرگترین مناطق زمین‌گرمایی در حال بهره‌برداری دارای سنگ‌های مخزنی متفاوتی هستند که بازه‌ای از سنگ‌های رسوبی همانند سنگ آهک تا شیل و سنگ‌های آذرین مانند گرانیت و ریولیت را دربر می‌گیرند. علاوه بر سنگ شناسی، ذخایر زمین‌گرمایی رابطه بسیار نزدیکی با سیستم‌های جریان حرارتی زمین دارند. بنابراین فاکتورهای مهم‌تر در شناسایی مناطق زمین‌گرمایی واحدهای سنگی نیستند بلکه وجود عوامل تکتونیکی مثل شکستگی و گسل، و وجود جریان حرارت بالا می‌باشند [Manzella, 2000].

از آنجایی که مناطق زمین‌گرمایی دمای بالا به طور مکرر مرتبط با آتشفشان‌های جوان می‌باشند، واضح است که منبع حرارتی آن‌ها معمولاً توده‌های نفوذی آذرینی است که از همان مخزن ماگمایی آتش فشان‌ها، منشاء گرفته‌اند [Wibowo, 2006]. بر اساس نظریه تکتونیک صفحه‌ای سنگ کره که بر روی سست کره قرار دارد از ۸ یا ۹ صفحه اصلی تشکیل شده است که هر صفحه اصلی خود از چندین صفحه کوچکتر تشکیل شده است. صفحات لیتوسفر نسبت به هم ثابت نیستند بلکه دائماً در حال حرکت هستند و این حرکات پدیده‌های مختلف تکتونیکی را به وجود می‌آورند. لبه‌های صفحات سنگ کره مکان عمده‌ی تغییرات پوسته‌ای، زلزله‌ها، و جریان‌های حرارت بالا هستند که مرتبط با آتش فشان‌ها و مناطق زمین‌گرمایی هستند. رابطه واضحی بین جریان‌های حرارت بالا و آتش فشان‌های فعال مناطق گسترش کف اقیانوس‌ها وجود دارد [Rybach, 1981]. ادواردز و همکاران در سال ۱۹۸۲ نشان دادند که سیستم‌های زمین‌گرمایی حرارت بالا در امتداد مرز صفحات قاره‌ای فراوان می‌باشند [Wibowo, 2006].

عموماً حرکت رو به بالای حرارت به صورت توده جرمی (مثل ماگما) منجر به توسعه‌ی ناهنجاری‌های زمین گرمایی می‌شود پس ناهنجاری‌های زمین گرمایی به فعالیت‌های ماگمایی وابسته است. در حرکت به سمت بالا، به علت متفاوت بودن ترکیب شیمیایی، بین دو نوع ماگمای بازالتی و گرانیتی تفاوت‌هایی وجود دارد. ماگماهای بازالتی از ذوب بخشی مواد گوشته^۱ به وجود می‌آیند. اگر آن‌ها به طور مستقیم به سطح زمین راه یابند دایک‌ها و صفحات نازک را تشکیل می‌دهند، که این ساختارها حرارت خود را به سرعت پراکنده می‌نمایند و بنابراین توده‌های نفوذی کم عمق بزرگ را تشکیل نمی‌دهند. از طرف دیگر اگر این ماگماها در نزدیکی قسمت‌های عمیق پوسته در مناطقی که رژیم‌های کششی حاکم است سرد شوند، به شدت باعث افزایش جریان حرارت محلی می‌شوند که خود می‌تواند باعث به وجود آمدن جریان‌های همرفتی گرمایی در امتداد سیستم‌های گسلی پر شیبی شوند که در این رژیم‌های کششی به وجود می‌آیند.

ماگماهای گرانیتی در اثر ذوب بخشی گوشته و تفریق ماگماهای بازالتی به وجود می‌آیند، اما معمولاً ذوب مجدد مواد پوسته، در تشکیل آن‌ها موثر می‌باشند. به خاطر گرانیروی بیشتر و سرعت کمتر مواد مذاب گرانیتی، این ماگماها معمولاً در عمق چند کیلومتری پوسته گیر می‌افتند. که این امر می‌تواند موجب تامین حرارت سنگ‌های دربرگیرنده توده‌های نفوذی باتولیتی شود. در قاره‌ها منابع زمین-گرمایی به احتمال زیاد بیشتر مرتبط با فعالیت‌های آتشفشانی گرانیتی می‌باشند تا با فعالیت‌های آتش فشانی بازالتی [Wibowo, 2006].

فرایند غالب تولید ماگما ذوب بخشی مذاب‌کره^۲ روی بلوک فرورو در مناطق فروران‌ش است که به خاطر آزاد شدن آب زیر آن است. این آب می‌تواند از طریق آب‌های موجود در خلل و فرج رسوبات فرورو و یا واکنش‌های دگرگونی تامین شود [Rybach, 1981]. این ماگماها در کمربندهای آتشفشانی به موازات مناطق فروران‌ش و با یک فاصله معین از آن‌ها دیده می‌شوند که این فاصله به شیب صفحه‌ی فرورو

¹. Mantle

². Asthenosphere

بستگی دارد. گسترش ناهنجاری‌های زمین گرمایی مرتبط با این نوع فعالیت آتشفشانی به ترکیب شیمیایی ماگما بستگی دارد، که ترکیب شیمیایی به نوع صفحات فرورو فرورانس بستگی دارد برای مثال در حاشیه صفحه اقیانوسی- قاره‌ای ماگما با ترکیب حد واسط در مرز صفحات اقیانوسی- اقیانوسی ماگمای بازیک و در مرز صفحات قاره‌ای-قاره‌ای غالباً ماگمای گرانیته به وجود می‌آید.

۲-۳- انواع سیستم‌های زمین گرمایی

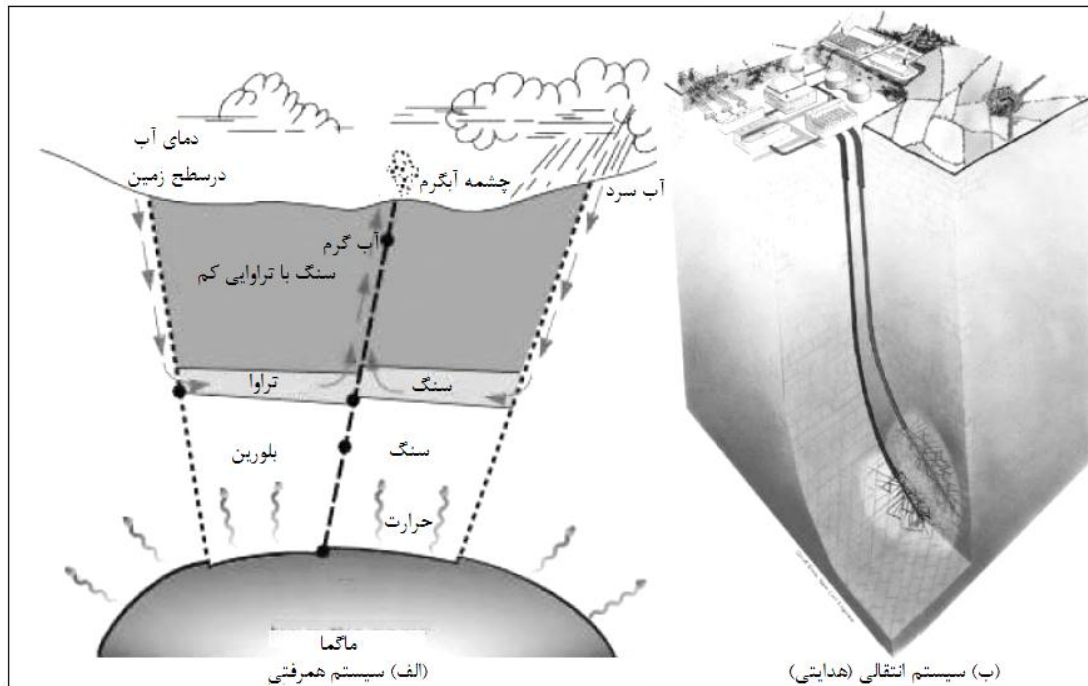
سیستم‌های زمین گرمایی را می‌توان براساس طبیعت زمین شناسی و رژیم‌های انتقال حرارت، به دو گروه تقسیم کرد: سیستم زمین گرمایی هم‌رفتی^۱ و سیستم زمین گرمایی انتقالی^۲ (شکل ۲-۱) [Rybach, 1981].

۲-۳-۱- سیستم زمین گرمایی هم‌رفتی

این سیستم‌ها با گردش طبیعی سیال در آن‌ها مشخص می‌شوند. در این سیستم بیشتر حرارت توسط گردش سیال منتقل می‌شود. سیستم‌های زمین گرمایی هم‌رفتی را می‌توان به دو زیرسیستم گرمایی و چرخشی تقسیم کرد [Bowen, 1989].

^۱. Convective

^۲. Conductive



شکل ۱-۲: سیستم زمین گرمایی (با اقتباس از Wibowo, 2006)

۲-۳-۱-۱- سیستم گرمایی^۱

این سیستم‌ها به واسطه تخلخل و نفوذپذیری بالا شناخته می‌شوند. تقریباً بیشتر مناطقی که در آن انرژی الکتریسیته به طور اقتصادی از انرژی زمین گرمایی تولید می‌شود در این گروه قرار دارند. این سیستم‌ها عمق کمی دارند (حدود ۳ کیلومتر) و منبع اصلی حرارت در آن توده‌های نفوذی کم عمق و جوان هستند. این سیستم‌ها در محیط‌های زمین شناسی مثل، مناطق گسترش کف اقیانوس-ها، مرز صفحات همگرا، ریف‌های قاره‌ای و ذوب ناهنجار در داخل صفحات به وجود می‌آیند. این سیستم‌ها به دو گروه تقسیم بندی می‌شوند که به شرح آن‌ها می‌پردازیم [Bowen, 1989].

۲-۳-۱-۱-۱- سیستم بخار-غالب^۲

بیشتر مناطق زمین گرمایی دارای آب با فشار و دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. هنگامی که این آب به سطح زمین می‌رسد، فشار آن به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. در نتیجه مقدار زیادی بخار آب و ترکیبی از بخار اشباع و آب تولید می‌شود. نسبت بخار به آب از یک محل به محل دیگر

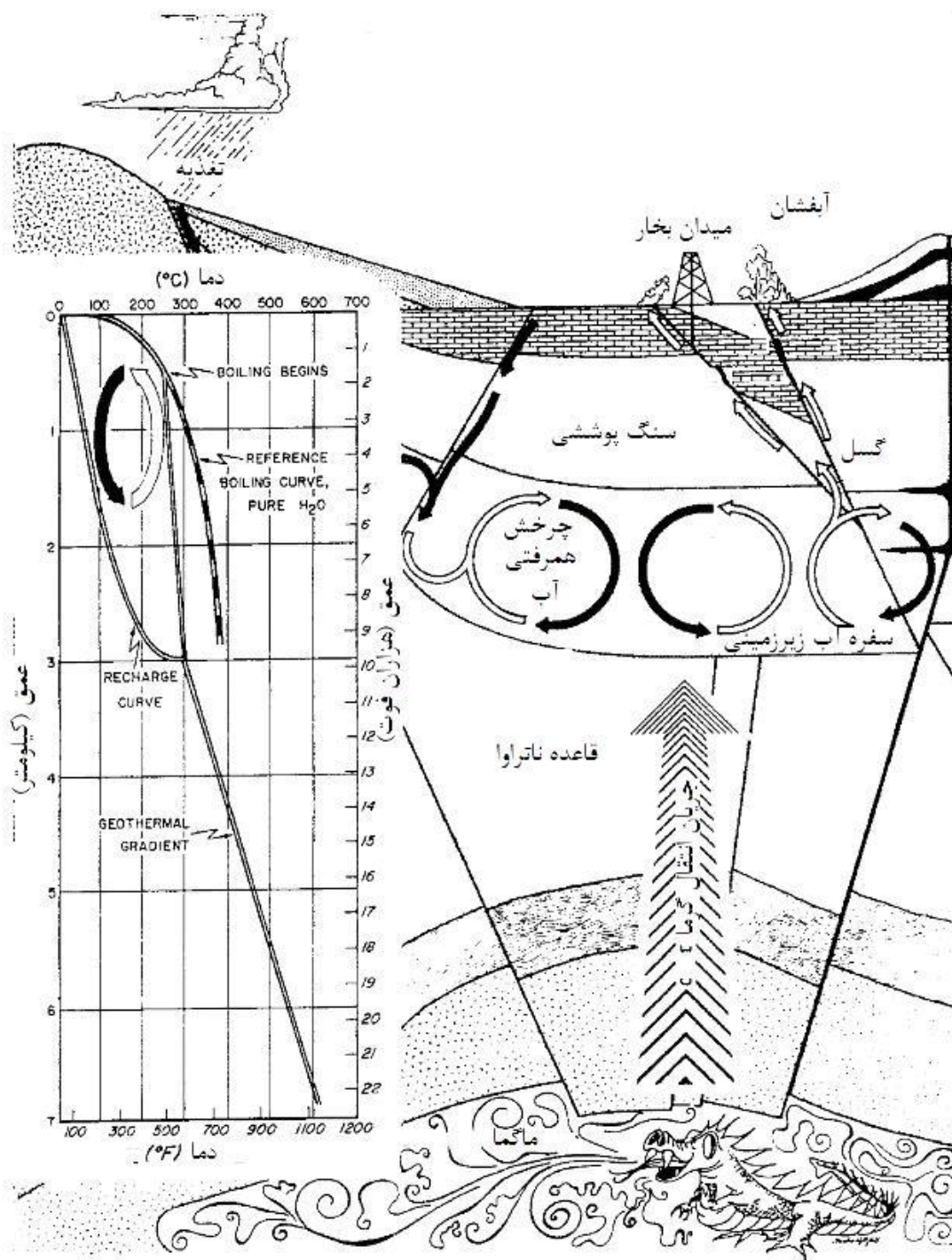
^۱. Hydrothermal systems

^۲. Vapor dominated system

متفاوت است. هنگامی که بخار به همراه آب تولید شود، مثل ریک جاویک در کشور ایسلند، به آن‌ها میادین بخار تر گفته می‌شود. در بعضی از میادین بخار به شدت داغ و بدون مایع تولید می‌شود که به آن‌ها میادین بخار خشک گویند مثل لاردولو در ایتالیا. برای تشکیل این رده از منابع زمین گرمایی به منبع تامین آب، منبع حرارت، پوشش مناسب و سنگ مخزن مناسب نیاز است.

بیشتر توده‌های ماگمایی که منشا این گروه هستند وابسته به فعالیت‌های آتشفشانی می‌وسن تا کواترنری می‌باشند. اختلاف دما بین پایین و بالای سنگ مخزن زیاد می‌باشد. سنگ‌های مختلفی قابلیت ایجاد مخزن را دارند (مثل سنگ‌های آهک و دولومیت‌های درزه دار، گری واک‌ها، برش، توف و...) مطالعات نشان داده است که منشا ۹۰٪ آب‌های موجود در این رده، آب‌های جوی هستند. بنابراین لایه‌های آبداری که این مخازن را تشکیل می‌دهند باید با مناطق باز انباشت^۱ آب از آب باران، پیوستگی هیدرولیکی داشته باشد. سنگ پوششی نفوذ ناپذیر یا با نفوذ پذیری کم بر روی سنگ مخزن قرار دارد و از فرار سیالات مخزن به سمت سطح زمین جلوگیری می‌نماید. بر روی سنگ مخزن می‌توان آثار دگرسانی گرمایی را مشاهده نمود. (شکل ۲-۲) مدل مفهومی از این رده را نشان می‌دهد [Gupta and Roy, 2007].

^۱. Recharge



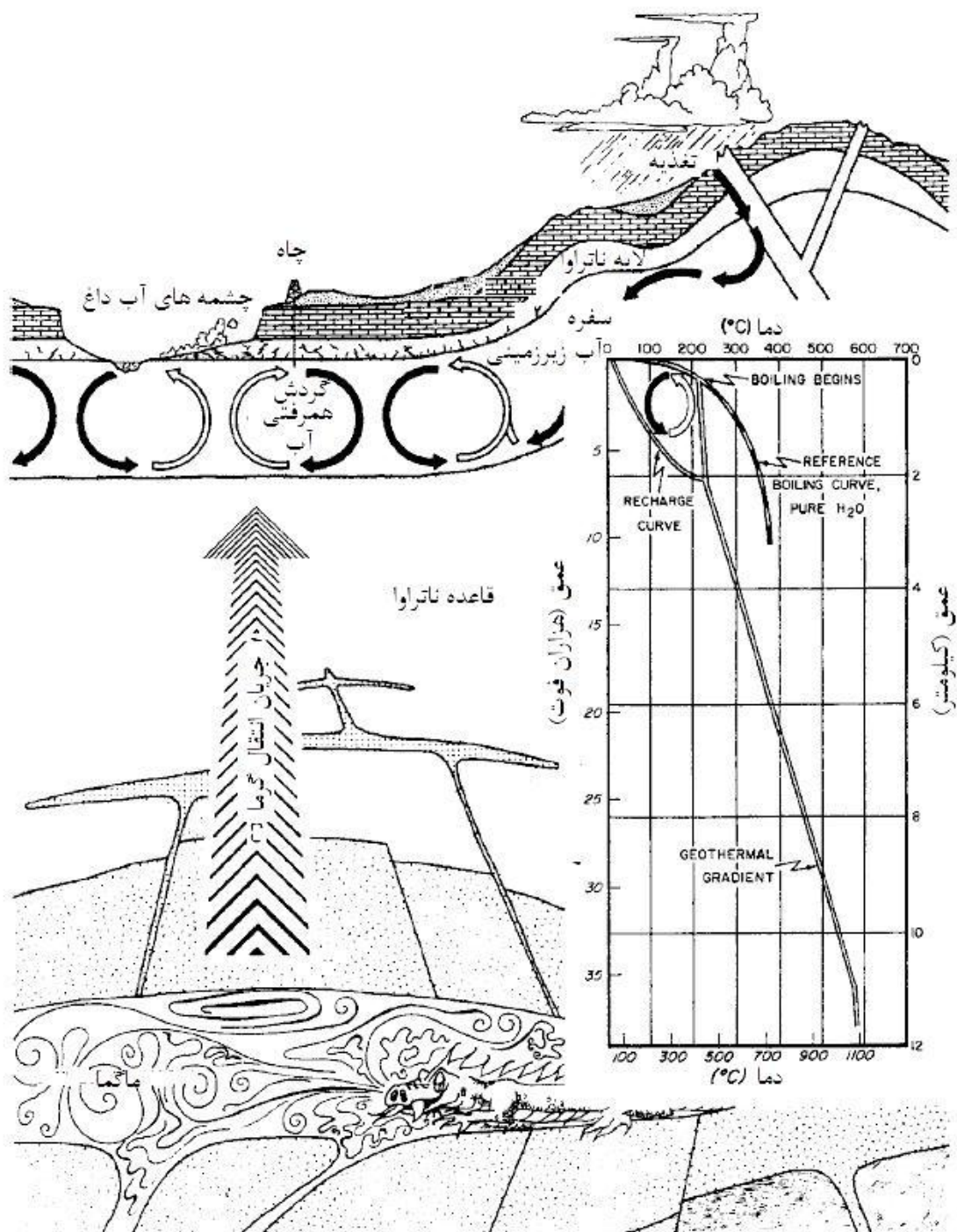
شکل ۲-۲: مدل مفهومی سیستم زمین گرمایی نوع گرمایی از گروه بخار-غالب (با اقتباس از Gupta and Roy, 2007)

در این گروه همان طور که در شکل دیده می‌شود آب مخزن با لایه نفوذ ناپذیر زیرین که توسط توده-ی نفوذی داغ شده است، در تماس بوده و گرم شده و سپس از طریق درزه‌ها و شکستگی‌ها و چاه به سطح زمین می‌رسد.

۲-۳-۱-۱-۲- سیستم مایع غالب^۱

در این گروه، جریان‌های همرفتی آب حرارت را از اعماق به سطح می‌آورند. دمای آب، در سنگ مخزن آن حدود ۶۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد می‌باشد. و مخزن در ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری از عمق زمین قرار دارد. تفاوت این رده با رده بخار غالب این است که در این نوع، ذخایر با آب مایعی شناخته می‌شود که در فشار تقریباً ثابتی بوده و فاز مایع خود را حفظ می‌کند. شکل (۲-۳) به طور نمادین یک میدان مایع غالب را به همراه منحنی تغییرات نقطه جوش آب خالص با عمق را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل (۲-۳) دیده می‌شود هنگامی که سنگ پوششی وجود ندارد دما آب در قسمت‌های بالایی مخزن و در فشار اتمسفر از نقطه جوش فراتر نرفته و با سیستم‌های همرفتی بالا می‌آید، و با آب‌های سرد زیر زمینی مخلوط می‌شود [Gupta and Roy, 2007].

¹. Liquid dominated system



شکل ۲-۳: نمایش نمادین یک مخزن زمین گرمایی مایع غالب به همراه منحنی تغییرات نقطه جوش آب خالص با عمق (با اقتباس از Gupta and Roy, 2007)

۲-۳-۱-۲- سیستم های چرخشی^۱

این سیستم‌ها در محیط‌هایی به وجود می‌آیند که در آن‌ها تخلخل، شکستگی و نفوذپذیری کم می‌باشد و در این مناطق جریان‌های حرارتی بالا تا متوسط وجود دارد. این سیستم‌ها در مناطقی اتفاق می‌افتند که در آن‌ها توده‌های آذرین جوان وجود ندارند و به دلیل وجود چرخش آب‌های جوی در رژیم‌های انتقالی و جریان حرارتی محلی این سیستم‌ها به وجود می‌آیند. شرط لازم برای ایجاد چنین سیستم‌هایی وجود گسل، درزه و شکاف در سنگ‌ها می‌باشد تا نفوذپذیری کافی برای چرخش آب فراهم شود [Bowen, 1989]. دمای آب چرخشی به بزرگی جریان حرارتی محلی و عمق چرخش آب بستگی دارد [Wibowo, 2006]. ممکن است در مناطقی که جریان‌های حرارتی انتقالی بیشتری وجود دارند و در نواحی کم عمق قرار دارند، آب به دمای بالاتری برسد. زمان باقی ماندن آب‌های گرم در چنین سیستم‌های چرخشی به راحتی به ۱۰۰۰ سال و یا بیشتر می‌رسد.

۲-۳-۲- سیستم های زمین گرمایی انتقالی

این سیستم‌ها توسط رژیم‌های حرارتی شناخته می‌شوند که فقط بوسیله‌ی انتقال^۲ به وجود آمده اند. در این سیستم‌ها یا سیال انتقال دهنده‌ی حرارت^۳ نیز وجود دارد (مثلا در لایه‌های آب دار عمیق در حوضه‌های رسوبی) و یا باید به طور مصنوعی تامین شود (در سیستم‌های سنگ داغ و خشک) (شکل ۲-۱-ب) [Wibowo, 2006].

این سیستم‌ها خود به سه رده‌ی مختلف تقسیم می‌شوند: الف- لایه‌های آب دار کم دما، آنتالپی پایین^۴ ب- مناطق تحت فشار زمین^۵ ج- سنگ داغ خشک^۶ [Bowen, 1989].

^۱. Circulation Systems

^۲. Conduction

^۳. Working fluid

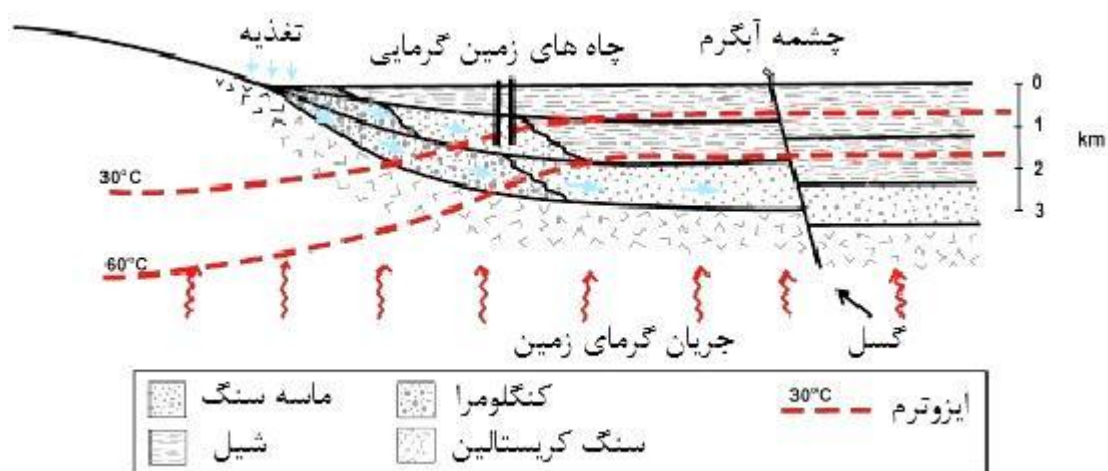
^۴. Low-temperature, low enthalpy aquifers

^۵. Geopressurized zones

^۶. Hot dry rock

۲-۳-۱- لایه‌های آب دار کم دما، آنتالپی پایین

در حوضه‌های رسوبی عمیق ممکن است سفره‌های آبی وجود داشته باشد که در اعماق مختلف و در لایه‌هایی با تخلخل و نفوذپذیری بالا قرار دارند. دمای آن‌ها معمولاً از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد فرا تر نمی‌رود (شرایط آنتالپی پایین). توده‌های آب می‌توانند دارای آب‌های فسیلی قدیمی باشند که شوری بالایی دارند و یا به وسیله سرزمین‌های کوهستانی اطراف تغذیه شوند. اگر سفره‌های آب از نوع آرتزین باشند پس از نفوذ چاه به سفره، آب‌های زمین گرمایی آزادانه به سطح زمین می‌آیند. تولید واقعی سفره با ضریب انتقال^۱ مشخص می‌شود [Bowen, 1989]. اختلاف حرارت بین این مخازن با سازند-های اطراف به خاطر انتقال حرارتی پایین و جریان حرارتی بالا می‌باشد. (شکل ۲-۴) مدلی از این ذخایر را نشان می‌دهد [Lund, 2007].



شکل ۲-۴: مدلی از از رده ی لایه های آبدار کم دما، آنتالپی پایین (Anderson and Lund, 1979)

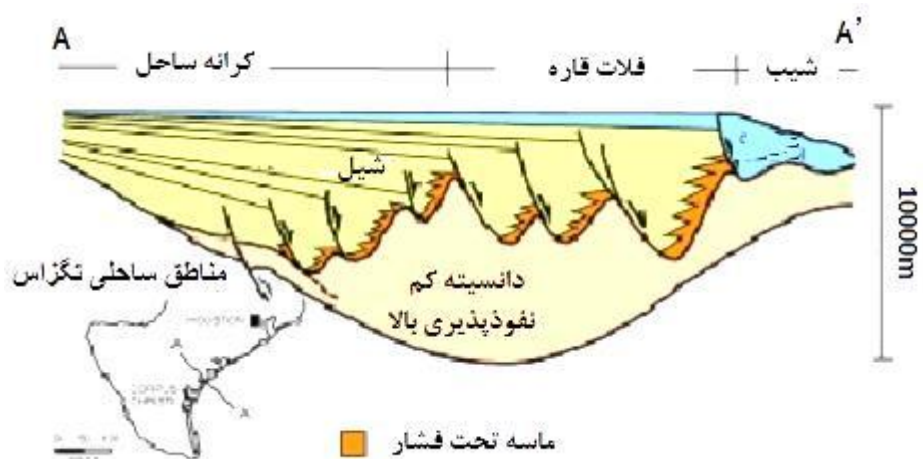
۲-۳-۲- مناطق تحت فشار زمین

این نوع از منابع زمین گرمایی در حوضه‌هایی که در آن سنگ‌های رسوبی نفوذپذیر حاوی سیال در اعماق زیاد قرار دارند و دمای آن‌ها به خاطر افزایش گرادیان زمین گرمایی در اعماق زمین افزایش یافته است، به وجود می‌آیند. این سیالات به شدت به وسیله سنگ‌های نفوذناپذیر اطراف محدود شده اند و فشاری بیش از فشار هیدروستاتیک دارند. هدف حفاری در این ذخایر، آب‌های گرم تحت فشار

^۱. Transmissivity

در سفره‌های ماسه‌ای می‌باشند که به طور عمده متان به شکل محلول در آن‌ها وجود دارد (شکل ۵-۱) [Lund, 2007]. چنین سیستم‌هایی معمولاً در حوزه‌هایی شکل می‌گیرند که سریع با رسوبات پر شده‌اند [Gupta and Roy, 2007].

منبع انرژی در دسترس از این منابع شامل: (۱) حرارت (۲) انرژی مکانیکی (۳) متان می‌باشد. به دلیل عمق زیاد چندین کیلومتری، بهره‌برداری از آن اقتصادی نمی‌باشد.



شکل ۲-۵: سیستم زمین گرمایی مناطق تحت فشار زمین (Bebout et al., 1978)

۲-۳-۲-۳- سنگ داغ خشک

نوع دیگری از منابع زمین گرمایی است که در آن انرژی زمین گرمایی در سنگ‌هایی که نفوذپذیری کمی دارند و در عمق کمی از پوسته قرار گرفته‌اند، ذخیره می‌شوند و هیچ سیالی برای ذخیره سازی و یا انتقال انرژی در آن وجود ندارد. به آن‌ها ذخایر HDR نیز گفته می‌شود. از نظر زمین‌شناسی توده‌های آذرین نفوذی جوان در پوسته زمین که در اعماق کمی جای گرفته‌اند در پوسته‌های قاره‌ای، چنین مناطقی را به وجود می‌آورند. با توجه به منابع انرژی، این منابع در سه ناحیه مختلف قابل پی‌جویی می‌باشند: (۱) مناطقی با فعالیت‌های آتش فشانی جوان (۲) مناطق جریان‌های حرارتی دمای بالا (۳) منابع حرارت رادیومتری که در پوسته جای گرفته‌اند (مثل توده‌های نفوذی گرانیتی) [Gupta & Roy, 2007].

این مخازن در عمقی حدود ۱۰ کیلومتری از سطح زمین قرار گرفته‌اند و نمی‌توان به طور اقتصادی آب گرم طبیعی و یا بخار را از آن استحصال نمود. از آنجایی که این ذخایر تخلخل و نفوذپذیری کمی دارند، در پروژه‌های آزمایشی انجام شده در آن‌ها برای استحصال انرژی با استفاده از فشار هیدرولیکی درزه شکاف‌های مصنوعی در سنگ ایجاد شده است. و سپس از طریق یک چاه آب سرد به درون مخزن فرستاده شده و از طریق چاه دیگر آب داغ و بخار خارج می‌شود. شکل (۱-۲) ب) نمایی از این منبع زمین‌گرمایی را نشان می‌دهد [Lund, 2007].

۲-۴- اکتشاف مناطق زمین گرمایی

به دلایل اقتصادی و فن‌آوری استخراج انرژی زمین گرمایی از قسمت‌های بالایی پوسته زمین ممکن می‌باشد. عمیق‌ترین چاه‌های زمین گرمایی تا به امروز کمتر از ۵ کیلومتر عمق دارند. بر مبنای نظریه تکتونیک صفحه‌ای اطلاعات مفیدی درباره‌ی ناحیه‌هایی که پتانسیل زمین گرمایی در آن‌ها وجود دارد را می‌توان به دست آورد. هنگامی که این ناحیه‌ها مشخص شدند، قدم بعدی، شناسایی مناطقی است که در مقیاس محلی پتانسیل انرژی زمین گرمایی در آن‌ها وجود دارد که این کار با استفاده از روش‌های اکتشافی مختلف انجام می‌شود. روش‌های مختلفی که در اکتشاف مناطق زمین گرمایی به کار می‌روند شامل (۱) روش‌های زمین شناسی و آب شناسی (۲) روش‌های دورسنجی (۳) روش‌های ژئوشیمیایی (۴) روش‌های ژئوفیزیکی و (۵) حفاری اکتشافی هستند [Gupta and Roy, 2007; Bruhn et al. 2009]. با توجه به میدان زمین گرمایی مورد ارزیابی، ممکن است که این روش‌های اکتشافی به شکل جداگانه و یا ترکیبی مورد استفاده قرار گیرند. روش‌های اکتشافی به کار گرفته شده باید، کشف دماهای ناهنجار بالا، سیالات زیرسطحی و تغییرات نفوذپذیری زمین را تسهیل کند. ارزیابی دو پارامتر ابتدایی می‌تواند منجر به کشف میدان زمین گرمایی شده و همچنین در مورد گسترش آن ایده‌هایی را به ما بدهد [Bowen, 1989]. استراتژی‌های اکتشافی باید منابع آب‌های حرارتی قابل دسترسی و استخراج پذیری را هدف قرار دهند که به اندازه کافی بزرگ باشند تا تولید پایدار نیرو و یا حرارت تضمین شود [Bruhn et al. 2009].

همانطور که اشاره شد در این فصل سیستم‌های زمین گرمایی به طور خلاصه تشریح شد. در ادامه و در فصل بعد به معرفی منطقه مطالعاتی زمین گرمایی محلات پرداخته می‌شود.

فصل سوم

جغرافیا و زمین‌شناسی منطقه

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه زمین گرمایی محلات

منطقه زمین گرمایی محلات بین عرض های جغرافیایی $33^{\circ} 45'$ تا $34^{\circ} 8'$ شمالی، و طول های جغرافیایی $50^{\circ} 15'$ و 51° شرقی، در جنوب شرق استان مرکزی واقع شده است (شکل ۳-۱). چون شهر محلات در این محدوده قرار می گیرد، این محدوده را منطقه محلات می نامند. شهرستان محلات از طرف شمال به قم و آشتیان و از طرف جنوب به اصفهان و گلپایگان و از طرف غرب به خمین و اراک و از طرف شرق به دلیجان محدود می باشد. محصور بودن بین کوه ها، محلات را تا حدودی از تغییرات ناگهانی دما مصون داشته و اثر عوامل مختلف آب و هوایی نوعی آب و هوای کوهپایه ای را برای شهر به ارمغان آورده است بطور کلی این شهرستان دارای تابستان های خنک و زمستان های سرد (البته نه شدید) است، بیشترین درجه حرارت در تابستان حدود 37° درجه سانتی گراد و حداقل درجه حرارت در زمستان حدود -8° درجه سانتی گراد می باشد و میانگین بارش سالیانه برف و باران در این شهر طبق آمار موجود 300 میلیمتر است [ازمانی پدرام و همکاران، ۱۳۸۶].



شکل ۳-۱: موقعیت منطقه زمین گرمایی محلات

وجود چشمه آب‌های طبیعی باعث آبادانی این شهر شده است. رودخانه دائمی لعل بار که در جنوب شهر محلات جریان دارد از رودهای مهم ناحیه است که پس از پیوستن به رودخانه قم رود، آب آن به دریاچه نمک می‌ریزد. زراعت ناحیه به طور عمده آبی است و از محصولات آن می‌توان به گندم، جو، انواع گل‌های زینتی، سبزیجات و گیاهان دارویی اشاره نمود.

۳-۲- زمین شناسی منطقه

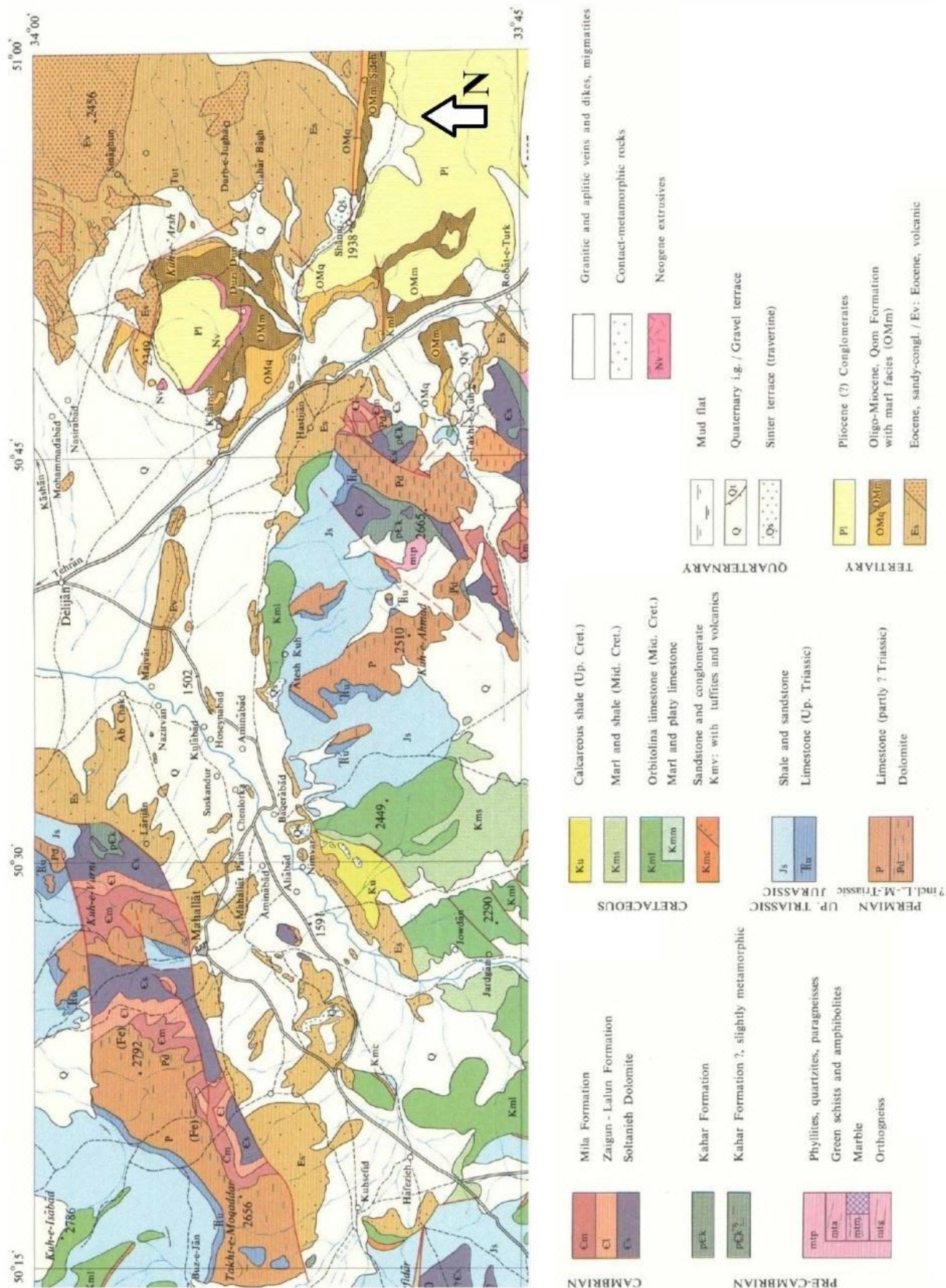
منطقه زمین‌گرمایی محلات بر روی نوار کوه زایی سنندج-سیرجان قرار گرفته است [Yousefi et al., 2010]. منطقه سنندج-سیرجان مهمترین منطقه فرورانش حاشیه قاره در ایران است. این منطقه به صورت نواری طولانی در امتداد و به موازات روراندگی زاگرس قرار دارد که روند کلی آن شمال غربی-جنوب شرقی است. درازای این منطقه حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و پهنای آن در حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر می‌باشد. این منطقه در اثر فرورانش صفحه اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران که از اواخر کرتاسه آغاز شده بود و در دوران سنوزوئیک ادامه یافت تا اینکه صفحه عربستان با صفحه ایران در میوسن برخورد کرد، به وجود آمده است [Berberian, 1981]. شکل (۳-۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. سازندهای مختلفی در این منطقه رخنمون دارند که به لحاظ سنی متعلق به پرکامبرین تا عهد حاضر می‌باشد:

۳-۲-۱- پرکامبرین

قدیمی‌ترین سنگ‌های پرکامبرین موجود در منطقه شامل سنگ‌های دگرگونی فیلیت، کوارتزیت و پاراگنایس (mtp) است. سازند کهر (pEk) نیز بخش دیگری از سنگ‌های پرکامبرین منطقه را تشکیل می‌دهد، این سنگ‌ها در بعضی از مناطق تا حدودی دگرگون شده‌اند [Thiele et al., 1968].

۳-۲-۲- پالئوزوئیک

کهن‌ترین واحد سنگی پالئوزوئیک این منطقه به کامبرین پیشین تعلق دارد. این واحد سنگی هم‌ارز سازند سلطانیه در البرز است (Es). رخنمون‌های این واحد سنگی در شمال غرب شهرستان محلات



شکل ۳-۲: نقشه زمین شناسی منطقه زمین گرمایی محلات با تغییرات از (Thiele et al., 1968).

و جنوب هستیجان گسترش دارند. از لحاظ رخساره سنگ شناختی شامل دولومیت‌های ضخیم لایه به رنگ زرد، خاکستری، تیره تا روشن، در برخی از مناطق قهوه‌ای با لایه‌بندی منظم حاوی نوارهای چرتی خاکستری رنگ متمایل به سفید و در مواردی کانی‌های اکسید آهن و کلسیت به صورت نوار یا رگه در آن دیده می‌شوند [زمانی پدram و همکاران، ۱۳۸۶]. از آنجا که در ناحیه گلپایگان حد زیرین آن بر روی مجموعه سنگ‌های هم ارز سازندکهر قرار می‌گیرد و حد بالایی آن با مجموعه درهم ریخته سازند لالون-زاگون (El) پوشیده شده است می‌توان سنی معادل دولومیت‌های سلطانیه در البرز برای آن در نظر گرفت [Thiele et al., 1968].

سازند لالون-زاگون در کوه‌های شرق و غرب محلات و در قسمت‌های جنوب هستیجان در منطقه مورد مطالعه برونزد دارد. این واحد سنگی در بخش‌های پایین‌تر بیشتر از شیل‌های اسلیتی طوسی رنگ متمایل به آبی پدید آمده است که به سوی بالا با تغییرات جانبی به ماسه‌سنگ‌های آرکوزی کمی دگرگونه دانه ریز تبدیل می‌شود. در اثر بهم ریختگی زمین ساختی در این مجموعه، واحدهای شیلی و ماسه‌سنگی درهم آمیخته‌اند و جداسازی آن‌ها از یکدیگر مشکل است [زمانی پدram و همکاران، ۱۳۸۶]. بر روی سازند لالون-زاگون، سازند میلا (Em) با سن کربونیفر قرار دارد [Thiele et al., 1968].

ردیف سنگ‌های به سن پرمین در شمال و غرب شهرستان محلات و همچنین در قسمت‌های جنوب شرقی آن گسترش وسیعی دارند. حد زیرین سنگ‌های پرمین به سبب بهم ریختگی ساختاری به وضوح مشخص نیست. تیل و همکاران (۱۹۶۸) معتقدند که این سنگ‌های دولومیتی (Pd) و آهکی (P) بر روی سازند میلا قرار دارند آن‌ها همچنین برخی از این سنگ‌های آهکی را مرتبط با تریاس زیرین می‌دانند ولی زمانی پدram و همکاران (۱۳۸۶) معتقدند که این سنگ‌ها به صورت هم شیب و موازی بر روی سنگ‌های هم ارز لالون-زاگون و یا دولومیت سلطانیه قرار گرفته‌اند.

۳-۲-۳- مزوزوئیک

اولین برونزدگی سنگ‌های مزوزوئیک مرتبط با واحد سنگی هم ارز با سازند الیکا (Hu) با سن تریاس زیرین تا میانی است. رخساره سنگ شناختی آن از پایین به بالا شامل سنگ آهک‌های میکرایتی ضخیم لایه به رنگ خاکستری که به صورت پیوسته و تدریجی بر روی سنگ آهک‌های بلورین به سن پرمین قرار دارند، سنگ آهک‌های دولومیتی ضخیم لایه با سطح فرسایش قهوه‌ای رنگ به همراه رگه‌های نازک از سیلیس و گاهی چرت که به تقریب ۵۰ متر ضخامت دارند، آهک‌های ورقه-ای به رنگ خاکستری که در میان آن‌ها دولومیت‌های ماسه‌ای زرد رنگ ضخیم لایه دیده می‌شوند، می‌باشد. سنگ‌های اخیر بالاترین قسمت از نهشته‌های تریاس را به خود اختصاص می‌دهند و با ناپیوستگی توسط ماسه سنگ‌های کوارتزیتی قاعده شمشک پوشیده می‌شوند [زمانی پدرام و همکاران، ۱۳۸۴]. از آنجا که این واحدها در زیر سازند شمشک قرار دارند می‌توانند سنگ مخزن سیستم زمین‌گرمایی محلات را تشکیل دهند، پس این سنگ‌ها می‌توانند نقش مهمی در مطالعات اکتشافی این منطقه داشته باشند.

واحد سنگی بعدی مزوزوئیک در منطقه (JS)، سنگ‌های معادل با سازند شمشک در البرز می‌باشد. این سنگ‌ها دارای سن ژوراسیک بوده و در گستره مورد مطالعه از پراکندگی چشمگیری برخوردار است. قاعده این واحد که با ناپیوستگی دگرشیب بر روی سنگ‌های تریاس قرار دارند از چندین متر (کمتر از ۶ متر) ماسه سنگ‌های کوارتزیتی ضخیم لایه به رنگ قهوه‌ای سوخته تشکیل شده است که به طور تدریجی به شیل‌های سیلتی خاکستری تیره، سبز زیتونی، قرمز متمایل به ارغوانی با میان لایه-هایی از ماسه سنگ‌های آهکی تا آهک ماسه ای متوسط تا ضخیم لایه تبدیل می‌شوند. ضخامت این واحد در حدود ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر برآورد می‌گردد و به دلیل چین‌خوردگی ملایمی که دارد از گسترش چشمگیری برخوردار است [زمانی پدرام و همکاران، ۱۳۸۶].

با توجه به موارد ذکر شده و از آنجا که سازند شمشک یک سنگ پوششی عالی برای مخازن زمین گرمایی در ایران است [Bowen, 1989]، می‌توان فهمید که این سنگ‌ها می‌توانند سنگ پوششی

مخزن زمین‌گرمایی در محلات باشند، بنابراین در انجام پروژه اکتشافی در این منطقه باید به این نکته توجه نمود.

واحدهای سنگی کرتاسه از پایین به بالا شامل توفیت‌ها و سنگ‌های آتشفشانی (Kmv) به همراه ماسه سنگ‌ها و کنگلومراها (Kmc)، مارن و سنگ‌های آهکی لایه‌ای (Kmm) به همراه آهک‌های اوربیتولینا^۱ دار (Kml) و در آخر شیل‌های سیلتی خاکستری (Ku) می‌باشند، که روی سازند شمشک قرار گرفته‌اند [Thiele et al., 1968].

۳-۲-۴- سنوزوئیک

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی سنوزوئیک در منطقه کنگلومراها و ماسه سنگ‌های ائوسن (Es) و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (Ev) هستند که سازند الیگومیوسن قم با رخساره‌های آهکی (OMm) بر روی آن قرار می‌گیرد. سپس کنگلومرای پلیوسن (Pl) بر روی سازند قم قرار دارد و در نهایت نهشته‌های کواترنری در نقاط مختلف دیده می‌شوند که واحدهای سنگی کهن تر را با ناپیوستگی می‌پوشانند [Thiele et al., 1968]. از بین نهشته‌های کواترنری موجود در منطقه تراورتن‌های جوان و قدیمی (Qs) از همه مهم‌تر می‌باشند، چون این سنگ‌ها در اثر سنگ شدن کربنات‌ها در دهانه چشمه‌های آب گرم به وجود می‌آیند. این تراورتن‌ها جزء نشانه‌های سطحی منابع زمین‌گرمایی بوده [Wibowo, 2006] و در اکتشاف منابع زمین‌گرمایی اهمیت ویژه‌ای دارد، بویژه زمانی که از روش‌های سطحی مثل سنجش از دور در اکتشاف این منابع استفاده می‌شود [Vaughan et al., 2005].

۳-۲-۳ چشمه‌های آبگرم محلات

شش چشمه آبگرم در منطقه زمین‌گرمایی محلات وجود دارد. این چشمه‌ها در بیست کیلومتری شمال شرق شهر محلات و در نزدیکی روستای آبگرم واقع شده‌اند. بیشتر مردم آبگرم دارای مشاغلی مرتبط با این چشمه‌ها هستند. چشمه‌های آبگرم در محدوده‌ای به وسعت سه کیلومتر مربع

^۱. Orbitolina

قرار گرفته‌اند. جدول (۳-۱) نام و مختصات جغرافیایی چشمه‌های آبگرم موجود در این منطقه را نشان می‌دهد [Porkhial and Nouraliee, 2010].

جدول ۳-۱: نام و مختصات جغرافیایی چشمه‌های آبگرم محلات

شماره	نام چشمه	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)
۱	آب دنبه	۵۰° ۳۳' ۲۱"	۳۴° ۰۰' ۳۷"
۲	آب سلیمانیه	۵۰° ۳۳' ۳۰"	۳۴° ۰۰' ۳۶"
۳	آب سدا	۵۰° ۳۳' ۴۴"	۳۴° ۰۰' ۲۲"
۴	آب حکیم	۵۰° ۳۳' ۴۴"	۳۴° ۰۰' ۰۲"
۵	سرباز	۵۰° ۳۲' ۵۳"	۳۴° ۰۰' ۲۴"
۶	شفا	۵۰° ۳۲' ۵۲"	۳۴° ۰۰' ۲۳"

به دلیل دبی زیاد چشمه آبگرم شفا، حدود سی سال قبل هتلی پانزده اتاقه در این منطقه ساخته شد. این هتل دارای تعداد زیادی حمام و استخر به منظور استفاده برای آب درمانی است.

۳-۴- کارهای اکتشافی انجام شده قبلی

حدود ۱۲ سال قبل، کارشناسان بخش زمین‌گرایی سازمان انرژی‌های نو ایران با انجام پروژه‌ای تحقیقاتی، مناطق مستعد کشور از نظر منابع انرژی زمین‌گرایی را مشخص نمودند. یکی از آن مناطق مستعد، منطقه زمین‌گرایی محلات- اصفهان است که بسیار وسیع بوده و سه استان قم، مرکزی و اصفهان را در بر می‌گیرد.

پروژه " پتانسیل سنجی انرژی زمین‌گرایی در منطقه محلات " به پژوهشگاه نیرو واگذار شد. هدف اصلی این پروژه شناسایی نواحی مستعد زمین‌گرایی در این منطقه بسیار وسیع بود. در مرحله اول پروژه، اطلاعات زمین‌شناسی اعم از چینه‌شناسی، تکتونیک و آتشفشان‌شناسی منطقه محلات مورد بررسی قرار گرفتند [پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۸^۱]. بر اساس نتایج این مطالعات مشخص شد که سیستم زمین‌گرایی محلات یک سیستم قدیمی است [Porkhial and Nouraliee, 2010]. در

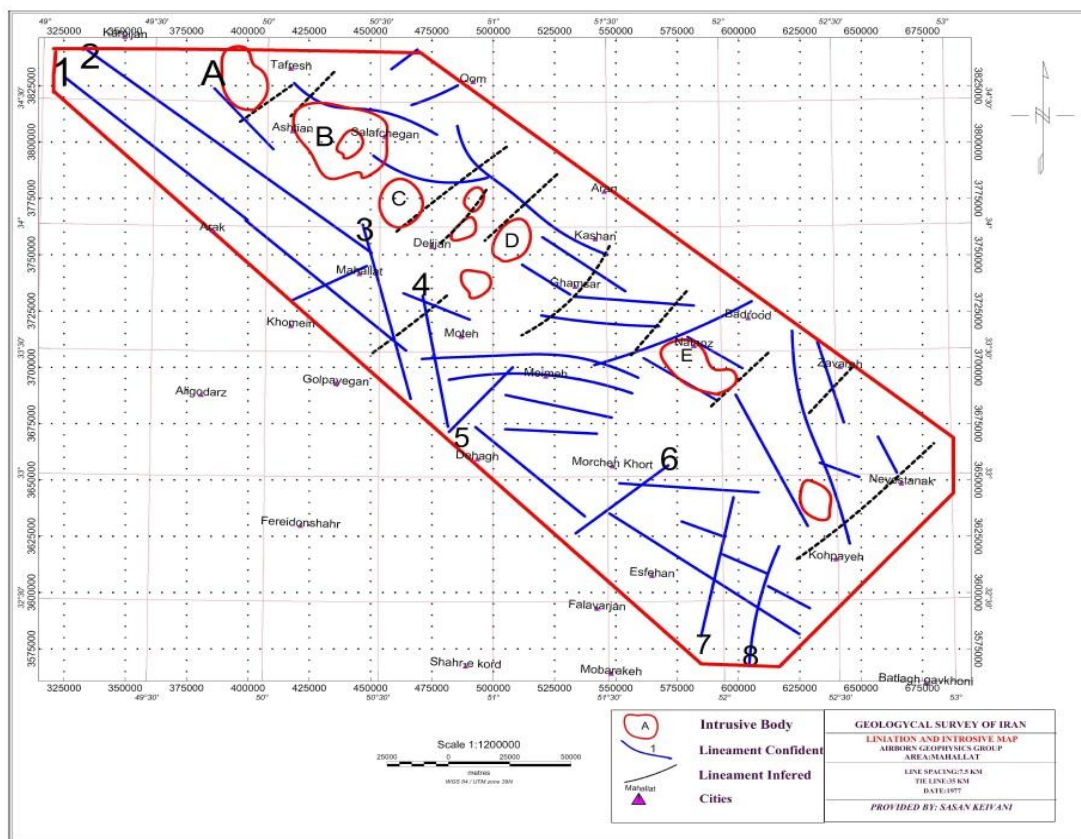
مرحله دوم چشمه‌های آبگرم واقع در منطقه زمین‌گرمایی محلات- اصفهان مورد بررسی قرار گرفتند. در این مرحله موقعیت چشمه‌های آبگرم منطقه زمین‌گرمایی محلات تعیین شده (جدول ۳-۱) و از این چشمه‌ها نمونه‌گیری شد، در نتیجه خواص فیزیکی شیمیایی آب این چشمه‌ها تعیین شد. بر اساس این مطالعات مشخص شد که [Porkhial and Nouraliee, 2010]:

۱- در منطقه زمین‌گرمایی محلات یک منبع زمین‌گرمایی مناسب در قسمت‌های عمیق‌تر این منطقه وجود دارد.

۲- دمای منبع زمین‌گرمایی منطقه محلات براساس اندازه‌گیری دما توسط عناصر سدیم-پتاسیم ۱۶۲ درجه سانتیگراد می‌باشد.

۳- منبع زمین‌گرمایی محلات حجم قابل قبولی داشته و با توجه به دبی بالای چشمه‌های آبگرم (۳۲/۵ لیتر بر ثانیه) از نفوذپذیری خوبی نیز برخوردار است.

در مرحله سوم، مطالعات مغناطیس‌سنجی هوایی در منطقه زمین‌گرمایی محلات- اصفهان انجام گرفت و به کمک آن گسل‌ها و توده‌های نفوذی عمیق منطقه و مناطق مستعد زمین‌گرمایی شناسایی شد، که منطقه زمین‌گرمایی محلات یکی از این مناطق است (شکل ۳-۳) [پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۸^۱]. در مرحله چهارم، داده‌های ماهواره استر از دو منظر متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند، بررسی نحوه پراکندگی ناهنجاری‌های حرارتی (توسط تصاویر روز) و بررسی نواحی دگرسان شده. برای سرعت بخشیدن به فرایند تفسیر داده‌ها، محدوده‌هایی از منطقه زمین‌گرمایی محلات- اصفهان مورد بررسی قرار گرفت که قبلاً توسط مطالعات زمین‌شناسی و مغناطیس‌سنجی هوایی انتخاب شده بودند [پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۸^۲].



شکل ۳-۳: نقشه تفسیر مغناطیس سنجی هوایی منطقه زمین گرمایی محلات- اصفهان شامل خطواره‌های اصلی و توده‌های نفوذی (پژوهشکده نیرو، ۱۳۸۸).

۳-۵- داده‌های استفاده شده در تحقیق

برای ایجاد بانک اطلاعاتی داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، مغناطیس هوایی و ماهواره‌ای، از اطلاعات سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)، سازمان زمین‌شناسی ایران و سازمان زمین‌شناسی آمریکا استفاده شده است.

۳-۵-۱- داده‌های ماهواره‌ای

منطقه مورد مطالعه توسط یک تصویر از ماهواره لندست با سنجنده ETM^+ با شماره گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۶ پوشش داده می‌شود، این تصویر مربوط به سال ۲۰۰۰ می‌باشد. این تصویر از سایت اینترنتی این ماهواره (www Landsat.org) برگرفته شده است. منطقه زمین گرمایی محلات توسط دو

تصویر SRTM DEM^۱ پوشش داده شده است که از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (www.usgs.com) گرفته شده است.

۳-۵-۲- داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی

داده‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد منطقه از رقومی کردن دو نقشه مغناطیس‌سنجی هوابرد قم و گلپایگان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، به دست آمده است. این نقشه‌ها از سایت (www.ngdir.ir) دانلود شده است. نقشه‌های فوق توسط سازمان زمین‌شناسی ایران در سال ۱۹۷۷ میلادی منتشر شده است.

۳-۵-۳- داده‌های هیدروژئوشیمیایی

داده‌های هیدروژئوشیمیایی مربوط به چشمه‌های آبگرم محلات از مقاله‌ای به نام "ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی چشمه‌های آبگرم محلات در غرب ایران مرکزی"^۲ که توسط پرخیال و نورعلینی در سال ۲۰۱۰ میلادی در کنگره جهانی زمین‌گرایی^۳ در شهر بالی اندونزی ارائه شده است، گرفته شده است.

پس از معرفی منطقه زمین‌گرایی محلات و شرح کارهای اکتشافی قبلی انجام شده در این منطقه و داده‌های استفاده شده در این تحقیق، در فصل بعد به شرح روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور پرداخته می‌شود.

^۱ . Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

^۲ . Physicochemical Characteristics of Mahallat Warm Springs in West-Central Iran

^۳ . World Geothermal Congress

فصل چهارم

روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور

سنجش از دور علم و هنر بدست آوردن اطلاعات در باره‌ی یک شیء، منطقه، یا یک پدیده است و از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از وسیله‌ای انجام می‌شود که در تماس فیزیکی با شیء، منطقه یا پدیده‌ی مورد مطالعه، نیست. انسان همواره در زندگی خود در حال استفاده کردن از سنجش از دور می‌باشد. برای مثال پدیده بینایی، خود نوعی سنجش از دور می‌باشد. چشم انسان بدون اینکه تماسی با پدیده دیده شده داشته باشد، اطلاعاتی از آن بدست می‌آورد.

با استفاده از سنجنده‌های^۱ مختلف داده‌ها جمع‌آوری شده و سپس به منظور به دست آوردن اطلاعات در باره شیء، منطقه و یا پدیده‌ی مورد مطالعه، داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. داده‌هایی که از راه دور جمع‌آوری می‌شوند می‌توانند شکل و فرم‌های متفاوتی داشته باشند. برای مثال تغییرات در توزیع امواج صوتی در درون زمین و یا توزیع انرژی الکترومغناطیس منتشر شده از سطح زمین. که در اینجا منظور، استفاده از مورد آخر با کمک سنجنده‌هایی است که روی سکوهایی^۲ هوابرد^۳ و یا فضایی^۴ قرار داده شده‌اند. در دورسنجی انرژی الکترومغناطیس منتشر شده از سطح زمین با استفاده از این سنجنده‌ها اندازه‌گیری می‌شود. از این اندازه‌گیری به منظور ساختن تصویری از منظره‌ای که در زیر سکو قرار دارد استفاده می‌شود. این انرژی می‌تواند نور منعکس شده‌ی خورشید از سطح زمین باشد به طوری که تصویری که ثبت می‌شود از جهات مختلف، شبیه به دیدی است که ما از سطح زمین در یک هواپیما داریم. هرچند که طول موج‌های استفاده شده در دورسنجی اغلب در خارج از محدوده دید انسان است. منبع نوع دیگری از انرژی الکترومغناطیس بالارونده از سطح زمین می‌تواند خود زمین باشد، که این امر به خاطر دمای خود آن است. و سرانجام انرژی ثبت شده توسط گیرنده می‌تواند به دلیل انتشار انرژی از یک منبع مصنوعی و پراکندگی آن توسط سطح زمین باشد. برای

^۱ . Sensors

^۲ . Platforms

^۳ . Airborne

^۴ . Spaceborne

مثال این منبع مصنوعی می‌تواند لیزر و یا راداری باشد که بر روی سکو قرار داده شده است [Lillesand et al. 2004].

هر ماده‌ای منحنی بازتاب طیفی^۱ منحصر به فرد خود را دارد. در حالی که طیف الکترومغناطیس از محدوده وسیعی از طول موج‌های مختلف تشکیل شده است، سیستم‌های سنجش از دور قادرند فقط بخش کوچکی از آن را سنجش نمایند. این بخش کوچک که "محدوده باندی"^۲ نامیده می‌شود یکی از ویژگی‌های مهمی است که حساسیت یک سیستم سنجش از دور را نسبت به امواج الکترومغناطیس نشان می‌دهد. حساسیت سیستم‌های سنجش از دور که در محدوده طیف مرئی و فروسرخ تصویربرداری می‌کنند توسط تفکیک‌پذیری فضایی، طیفی و رادیومتریک آن سنجیده می‌شود.

تفکیک‌پذیری فضایی^۳ در واقع منطقه‌ای است که سنجده در یک دید آنی پوشش می‌دهد. تصاویر رقومی از سلول‌های کوچکی به نام پیکسل^۴ تشکیل شده‌اند، که این پیکسل‌ها واحدهای تشکیل دهنده تصویر می‌باشند. اندازه این پیکسل‌ها میزان تفکیک‌پذیری فضایی را تعیین می‌کند. هر چه این پیکسل‌ها کوچکتر باشند، تفکیک‌پذیری فضایی بیشتر خواهد بود. اندازه پیکسل برای سنجنده آشکارساز موضوعی^۵ ETM+ سی متر در سی متر است [Biradar et al., 2003].

عبارت تفکیک‌پذیری طیفی^۶ به محدوده‌ای باز می‌گردد که باندهای طیفی یک سنجنده می‌تواند آن‌ها را بر روی تصاویر چند طیفی^۷ ثبت نماید. علاوه بر محدوده و عرض این باندها موقعیت آن‌ها در طیف الکترومغناطیس و تعداد این باندها نیز خیلی مهم است. پهنای کمتر محدوده باندی به معنی تفکیک‌پذیری طیفی بیشتر است اما البته تعداد باندهای طیفی هم باید کافی باشد تا بتوان هدف را در تصویر شناسایی نمود.

^۱ . spectral reflectance curve

^۲ . Bandwidth

^۳ . Spatial resolution

^۴ . Pixel

^۵ . Enhanced Thematic Mapper Plus

^۶ . Spectral resolution

^۷ . Multispectral images

تفکیک‌پذیری رادیومتریک^۱ تعداد سطوح رقومی است که برای نشان دادن داده‌های ثبت شده توسط یک سنجنده به کار می‌رود. مقدار جزئیات قابل دید در تصویر با افزایش تعداد ارقام دودویی (بیت‌ها)، افزایش پیدا می‌کند. تصاویر چند طیفی به دست آمده از سنجنده ETM+ تفکیک‌پذیری رادیومتری ۸ بیت و ۲۵۶ سطح درخشش^۲ که صفر برای سیاه و ۲۵۵ برای سفید است را دارد.

همه تفکیک‌پذیری‌های فضایی، طیفی و رادیومتریک در شناسایی توانایی یک سیستم سنجش از دور نقش دارند. با توجه به نوع اطلاعات مورد نیاز ترکیب‌های متفاوتی از عناصر فوق اهمیت پیدا می‌کنند. در بررسی‌های بزرگ مقیاس مثل ریفت‌های قاره‌ای به داده‌هایی با تفکیک‌پذیری فضایی و طیفی کم نیاز است، اما برای تعیین کانی‌های موجود در سطح زمین به داده‌هایی با تفکیک‌پذیری فضایی، طیفی و رادیومتریک زیاد نیاز است [Yetkin, 2003].

امروزه از اطلاعات به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای برای اهداف مختلف استفاده می‌شود که مهمترین آن‌ها به شرح زیر است [کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۷]:

- ❖ اکتشاف مواد معدنی
- ❖ اکتشاف مناطق برای انرژی زمین گرمایی
- ❖ تهیه نقشه‌های زمین شناسی
- ❖ مطالعات زیست شناسی
- ❖ مطالعه منابع آب
- ❖ منابع طبیعی
- ❖ مطالعات دریایی
- ❖ مطالعات هوا شناسی و تغییرات یخچالها
- ❖ بلایای طبیعی

^۱ . Radiometric resolution

^۲ . Brightness

❖ اقلیم شناسی

❖ کشاورزی

❖ سایر موارد

۴-۱-۱- کاربرد فن آوری سنجش از دور در اکتشاف منابع زمین گرمایی

در اکتشاف مناطق زمین گرمایی می توان از دورسنجی بعنوان ابزاری باصرفه استفاده کرد و در نتیجه اهداف کوچکتری را برای مراحل بعدی اکتشاف مشخص کرد [Envea et al. 2006]. کاربردهای مفید سنجش از دور در اکتشاف میدانهای زمین گرمایی، شامل تهیه نقشه کانیها و ناهنجاریهای حرارتی مرتبط با فعالیت های زمین گرمایی می باشد. این تکنیکها مکمل هم بوده و بهتر است هر دو با هم مورد استفاده قرار گیرند، زیرا همه ی منابع زمین گرمایی هر دو خاصیت دمای سطحی بالا و دگرسانی کانیها را با هم نشان نمی دهند [Envea et al. 2007].

سینتر (سنگها و کانیهای به وجود آمده از مواد موجود در چشمه های آبگرم در محل این چشمه ها)، توف، دگرسانی گرمایی (رسها و سولفاتها) و ناهنجاریهای حرارتی جزء شاخصهای سطحی مناطق زمین گرمایی هستند [Calvin et al. 2005]. داده های طیفی به دست آمده از سنجش از دور با موفقیت برای شناسایی کانیهای مورد نظر در اکتشاف منابع زمین گرمایی مثل سینترها، کربناتها، سولفاتها و سولفورهای طبیعی به کار گرفته شده اند [Kruse, 1999; Martini et al. 2003; Hellman and Ramsey, 2004; Nash et al., 2004]. کانیهای رسی و آهن جزء محصولات دگرسانی گرمایی سنگها بوده که با استفاده از خواص طیفی این کانیها می توان مناطق دگرسان شده را شناسایی نمود [Sabins, 1999].

شناسایی گسلها و خطواره ها در اکتشاف مناطق زمین گرمایی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد [Bowen, 1989]. با استفاده از فن آوری سنجش از دور می توان این گسلها و خطواره ها را شناسایی نمود [Fernández et al., 2001]. ناهنجاریهای حرارتی به وجود آمده از فعالیت های زمین گرمایی را می توان توسط تجزیه و تحلیل داده های سنجش از دور شناسایی نمود [Coolbaugh et al. 2003].

[Envea et al. 2007; Pastor, 2010]. کولباو (۲۰۰۳) از تصاویر روز و شب ماهواره استر در شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از فعالیت‌های زمین‌گرمایی استفاده کرد. زمان برداشت تصاویر روز و شب نباید بیش از ۷۲ ساعت اختلاف داشته باشند. از طرف دیگر دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه در بازه برداشت تصاویر باید چند مرتبه اندازه‌گیری شود تا به کمک آن بتوان اصلاحات لازم را بر روی تصاویر انجام داد، که این کار وقت و هزینه زیادی مصرف کرده و در بررسی مناطق وسیع کاربرد چندان زیادی ندارد. باتوجه به هزینه بیشتر داده‌های ماهواره استر و پوشش کمتر این داده‌ها نسبت به داده‌های ماهواره لندست ۷، در اکتشاف مناطق زمین‌گرمایی در مراحل مقدماتی بهتر است که از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ استفاده شود.

هدف از این تحقیق، بررسی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل داده‌های سنجنش از دور برای شناسایی شاخص‌های سطحی، گسل‌ها و خطواره‌ها و ناهنجاری‌های حرارتی موجود در منطقه زمین‌گرمایی محلات می‌باشد. این شاخص‌ها ما را در ارزیابی و اکتشاف ذخیره زمین‌گرمایی محلات کمک قرار می‌گیرد. بدین منظور ابتدا داده‌های سنجنش از دور به دست آمده از سنجنده ETM⁺ مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس به بررسی روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل این داده‌ها پرداخته می‌شود.

۴-۲- ماهواره‌های لندست^۱

ماهواره‌های لندست توسط سازمان فضایی آمریکا (NASA) ساخته شده است. دو نسل از ماهواره‌های لندست اطلاعات با ارزشی را برای اکتشاف منابع زمین و کاربردهای دیگر در اختیار ما قرار داده است. این ماهواره‌ها همزمان با خورشید دور زمین چرخیده و از کل زمین به جز مناطق قطبی زمین (تا عرض‌های جغرافیایی ۸۱ درجه جنوبی و شمالی) به طور تکراری تصویر برداری می‌کند [Biradar et al., 2003].

^۱ . Landsat

اولین نسل، ماهواره‌های لندست ۱، ۲، و ۳ بودند که از سال ۱۹۷۲ تا ۱۹۸۵ میلادی مورد استفاده قرار می‌گرفتند، این ماهواره‌ها به اجبار با ماهواره‌های نسل دوم جایگزین شدند. نسل دوم، لندست‌های ۴، ۵، و ۷ هستند. این نسل از سال ۱۹۸۲ میلادی تا کنون مشغول به کار است.

ماهواره لندست ۶ که عضو نسل دوم از این ماهواره‌ها بود در سال ۱۹۹۳ پرتاب شد اما در مدار قرار نگرفت. نسل دوم ماهواره‌های لندست با ماهواره لندست ۷ که در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد، ادامه یافت. این ماهواره دارای سنجنده ETM+ می‌باشد. یک باند حساس به همه رنگها^۱ (باند ۸) نسبت به سنجنده‌های قدیمی‌تر به این سنجنده اضافه شده است. توان تفکیک باند ۸ پانزده متر است، این باند را می‌توان با باندهای نور مرئی و فروسرخ منعکس شده با تفکیک پذیری ۳۰ متر ترکیب کرد و تصویری رنگی با تفکیک‌پذیری ظاهری ۱۵ متر ایجاد نمود. تفکیک پذیری فضایی باند حرارتی فروسرخ (باند ۶) در این سنجنده از ۱۲۰ متر به ۶۰ متر رسیده است. جدول (۴-۱) محدوده طول موج و مشخصه باندهای سنجنده ETM+ را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱: محدوده طول موج و مشخصه باندهای سنجنده ETM+

باند	طول موج (میکرومتر)	رنگ یا مشخصه
۱	۰/۴۵-۰/۵۲	محدوده طیف مرئی
۲	۰/۵۲-۰/۶۰	
۳	۰/۶۳-۰/۶۹	
۴	۰/۶۹-۰/۷۵	محدوده فروسرخ (IR)
۵	۱/۵۵-۱/۷۵	
۶	۱۰/۴-۱۲/۵	
۷	۲/۰۸-۲/۳۵	
۸	۰/۵۲-۰/۹	پان

^۱ . Panchromatic

به محدوده طیفی بین طول موج‌های ۰/۴ تا ۰/۷ میکرومتر، محدوده طیف مرئی محدوده طیفی بین طول موج‌های ۰/۷ تا ۳ میکرومتر بخش باز تابیده شده محدوده فروسرخ (IR) می‌باشد. در محدوده فروسرخ محدوده بین طول موج‌های ۳ تا ۱۰۰۰ میکرومتر محدوده حرارت ساطع شده از زمین است. هر تصویر به دست آمده از سنجنده ETM+ محدوده‌ای به وسعت ۱۸۵ کیلومتر (شرقی غربی) در ۱۷۰ کیلومتر (شمالی-جنوبی) را پوشش می‌دهد [Sabins, 1999].

۴-۳- روشهای تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور

روش‌های تحلیل تصویر برای تبدیل داده‌های چند طیفی به تصاویر مرئی طراحی شده اند تا این که در آن‌ها تباین^۱ بین هدف مورد نظر و زمینه تصویر افزایش یافته و یا اطلاعاتی از پیکسل‌های موجود در تصویر به دست آید [Kujjo, 2010]. روش‌های مختلفی در تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور به کار می‌رود. با ورود رایانه‌های قوی‌تر به بازار این روش‌ها همچنان در حال گسترش است. در بین این روش‌ها، روش‌های ترکیب‌های رنگی^۲، نسبت گیری بین باندها^۳، تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)^۴، برازش به روش حداقل مربعات^۵ و فیلتر کردن فضایی^۶ از روش‌های رایج و شناخته شده هستند. به کمک داده‌های سنجش از دور ماهواره لندست ۷ می‌توان تخمینی از حرارت سطح زمین به دست آورد.

۴-۳-۱- روش ترکیب‌های رنگی

ایده اصلی این روش، ترکیب اطلاعات چند طیفی در محدوده طول موج مرئی به منظور قابل دید شدن برای چشم انسان است. هر جسم در طبیعت در طول موج‌های مختلف مقدار انعکاس منحصر به فردی از خود نشان می‌دهد. رنگ‌هایی که چشم بشر می‌تواند آن‌ها را ببیند، ترکیبی از انعکاس بخش-

^۱ . Contrast

^۲ . Color composites

^۳ . Band rationing

^۴ . principal components analysis (PCA)

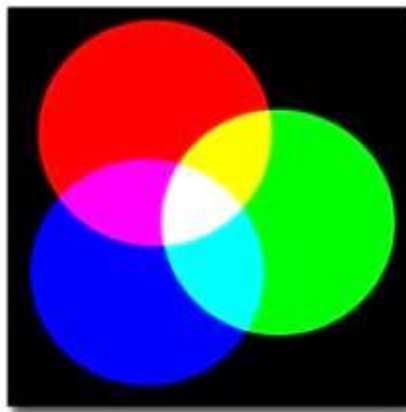
^۵ . Least Squares Fitting Method

^۶ . Spatial filtering

های قرمز، سبز و آبی محدوده طیف مرئی است. ابزارهای نمایش تصویر با نمایش تصاویر در محدوده طول موج نور مرئی در واقع از چشم انسان تقلید می‌کنند.

از نظر فنی بیشتر روش‌های نمایش رنگ در سیستم‌های رایانه‌ای، نمایش افزایشی است، یعنی نور سفید می‌تواند از اضافه شدن و ترکیب سه رنگ افزایشی اولیه؛ قرمز، سبز و آبی به وجود آید (شکل ۴-۱). به همین دلیل به ترکیب رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) باند ۳، باند ۲، و باند ۱ سنجنده ETM+ ترکیب رنگ واقعی^۱ گفته می‌شود. این گونه نمایش تصویر شبیه به طبیعت چشم انسان است. سایر ترکیب‌های باندی که به عنوان قرمز سبز و آبی به نمایش در می‌آیند ترکیب رنگی دوروگی^۲ نامیده می‌شود [Vincent, 1997].

ترکیب رنگ‌ها در واقع پایه و اساس روش‌های دیگر است، چون نتایج این روش‌ها را می‌توان با اختصاص دادن باندهای طیفی دلخواه به کانال‌های قرمز، سبز و آبی دلخواه و ایجاد ترکیب‌های رنگی، تفسیر نمود.



شکل ۴-۱: ترکیب رنگی

مطالعه‌ای تفکیک کننده به منظور مقایسه فعل و انفعالات بین باندها برای بارزسازی اطلاعات مورد نظر بر روی هر هفت باند سنجنده TM انجام گرفته است [Faruqi, 1991]. تمام ماتریس‌های ۳ در ۳ واریانس- کوواریانس ممکن به وسیله یک زیرفضای سه بعدی در فضای n - بعدی داده‌ها، که n در

^۱ . True Color Composition (TCC)

^۲ . False Color Composition (FCC)

اینجا برابر ۷ (در سنجده TM) است، رتبه بندی شدند. بهترین ترکیب باندی، بیشترین رتبه را در بین تمام باندهای ممکن دارند. بر اساس این معیار بهترین ترکیب از اختصاص باند های ۴، ۵، ۳ به رنگ‌های قرمز، سبز، آبی به دست آمد.

روش‌های آماری چون نمی‌توانند تفاوت‌های ناشی از پدیده‌های زمین‌شناسی و غیر زمین‌شناسی (اختلاف ارتفاع، سایه، آلبدو، گیاه و ...) را از هم تشخیص دهند چندان مطلوب نیستند. بنابراین بهتر است هر باند را به شکل جداگانه و به وسیله چشم ارزیابی نمود و بهترین سه باند را که خصوصیات مورد نظر را تشخیص می‌دهد، انتخاب نمود [Rothery, 1987].

بیشتر مطالعات قبلی با این نکته موافق هستند که باندی که کانی‌های رسی بیشترین مقدار جذب آن را دارند، باند ۷ است و باندی که معمولاً انعکاس بالایی را از خود نشان می‌دهد، یعنی باند ۵، بهتر است که در بین باندها در ترکیب رنگی وجود داشته باشند. اگر باندهای ۷، ۵ و ۴ به رنگهای قرمز، سبز و آبی با هم ترکیب شوند تصویری با بیشترین اطلاعات مفید ایجاد می‌شود [Rothery, 1987].

ترکیب رنگی قرمز، سبز و آبی از باندهای (۷، ۴، ۱)، (۵، ۴، ۱) و (۵، ۳، ۱) بر اساس معیار "شاخص باند بهینه"^۱ انتخاب می‌شوند. همچنین برای جداسازی کانی‌های رسی از ترکیب باندهای (۷، ۴، ۲) و (۴، ۷، ۵) استفاده می‌شود. چون طول موج آبی نور مرئی بیشتر تحت تاثیر پدیده پراکندگی جوی قرار می‌گیرد، بهتر است در تصاویر رنگی باند ۲ جانشین باند ۱ شود. از باند ۵ و باند ۷ برای تشخیص کانی‌های رسی استفاده می‌شود. بارزسازی رادیومتری^۲ در تجزیه و تحلیل چشمی تصاویر ترکیب رنگی از اهمیت زیادی برخوردار است، برای این کار می‌توان از روش‌هایی مثل بسط تباین خطی^۳ و برابر سازی هیستوگرام^۴ استفاده کرد [Chica-Olmo et al., 2002]. در روش بارزسازی رادیومتری مقادیر درخشندگی (۰-۲۵۵) یک تصویر طوری بسط داده می‌شوند که مناطق روشن، روشن‌تر و مناطق تیره، تیره‌تر دیده شوند، تا تفسیر چشمی آن تصویر ساده‌تر شود [Kujjo, 2010].

^۱ . Index of optimum band

^۲ . Radiometric enhancement

^۳ . Linear contrast stretching

^۴ . Histogram equalization

با استفاده از ترکیب رنگی قرمز، سبز و آبی با استفاده از باندهای ۷، ۴ و ۲ می‌توان ساختارهای سطحی را شناسایی نموده و واحدهای سطحی مثل سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی را از هم تفکیک نمود. در این ترکیب رنگی گرانیات به رنگ قهوه‌ای قرمز روشن و مونزوگرانیات به رنگ سبز خاکستری دیده می‌شود [Abdelhamid and Rabba, 1994].

۴-۳-۲- روش نسبتی بین باندها

روش نسبتی بین باندها روش کارایی است که در سنجش از دور تغییرات طیفی را نشان می‌دهد [Vincent and Thompson, 1972]. روش نسبتی بین باندها یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل تصاویر چند طیفی است، که عبارت از تقسیم یک باند طیفی بر باند دیگر است. این تقسیم باعث ایجاد نسبتی از انعکاس طیفی اندازه‌گیری شده در یک باند به انعکاس طیفی اندازه‌گیری شده در باند دیگر می‌شود [Yetkin, 2003].

به دلیل شیب توپوگرافی، ویژگی‌های ظاهری، سایه‌ها، تغییرات فصلی زاویه تابش خورشید و تغییرات شدت نور آن، کانی‌های سطحی یکسان می‌توانند مقادیر درخشندگی متفاوتی از خود نشان دهند. این تغییرات در تفسیرهای فرد بیننده تاثیر گذاشته و باعث شود وی به نتایج نادرستی دست یابد. عمل روش نسبتی بین باندها باعث تغییر داده‌ها شده و تاثیر این شرایط محیطی را کاهش می‌دهد. بعلاوه، نسبت‌گیری بین باندها می‌تواند اطلاعات منحصر به فردی در اختیار ما قرار دهد که به کمک آن‌ها بتوان مواد موجود در سطح زمین را از هم تفکیک نمود، که این اطلاعات در هیچ تک باندی وجود ندارد [Jensen, 1996].

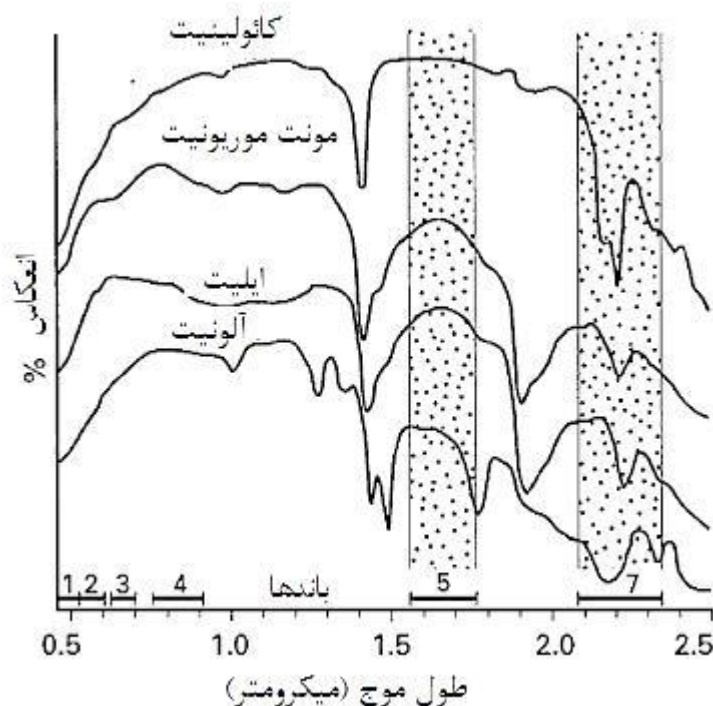
رابطه ریاضی نسبت‌گیری بین باندها به صورت زیر است:

$$BV_{i,j,r} = \frac{BV_{i,j,k}}{BV_{i,j,l}} \quad (\text{رابطه ۴-۱})$$

در این رابطه $BV_{i,j,r}$ حاصل این نسبت برای پیکسل موجود در ردیف i ام و ستون j ام است؛ $BV_{i,j,k}$ مقدار درخشندگی باند k در همان مکان بوده و $BV_{i,j,l}$ میزان درخشندگی باند l است. مقدار $BV_{i,j,r}$

از نظر تئوری می‌تواند از صفر تا بینهایت تغییر کند. اما در حقیقت این بازه از ۱/۲۵۵ تا ۲۵۵ می‌باشد [Yetkin, 2003].

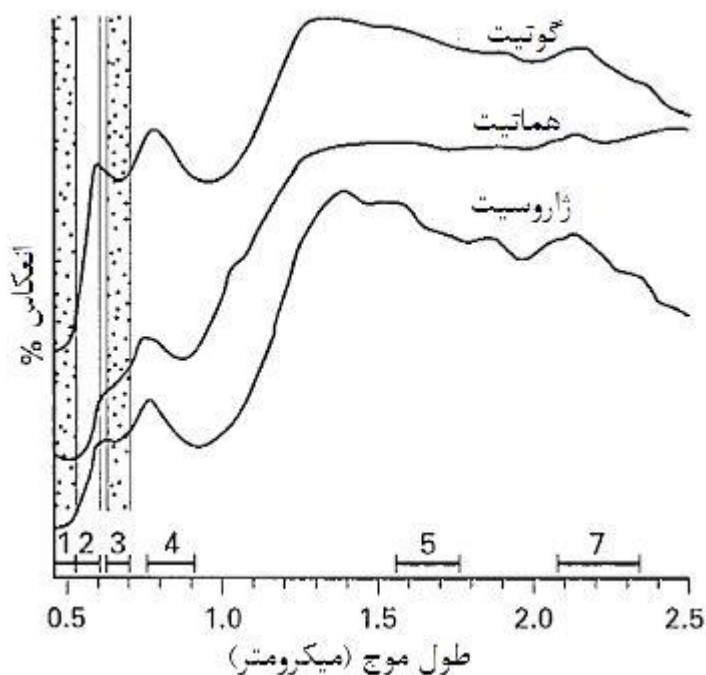
باتوجه به هدف مطالعه (شناسایی دگرسانی یا جداسازی واحدهای سنگی) نسبت‌های باندی متفاوتی وجود دارند. انتخاب باندهای مناسب در روش نسبتی بین باندها به انعکاس طیفی و باندهای جذبی کانی‌های مورد مطالعه بستگی دارد. برای مثال نسبت باند ۵ به باند هفت در تصاویر ماهواره لندست ۷ می‌تواند کانی‌های رسی را آشکار نماید (شکل ۴-۲). استفاده از نسبت‌های باندی زمانی بیشترین بازدهی را دارند که باندهای به کار گرفته شده درون و یا بیرون یک محدوده از طول موج باشند که در آن انعکاس طیفی برای هدف مورد نظر حداقل و یا حداکثر است [Vincent, 1997].



شکل ۴-۲: منحنی بازتاب طیفی برخی از کانی‌های رسی (با اقتباس از Sabins, 1999)

استفاده از نسبت‌های باندی که در آن باندهای استفاده شده اختلاف طول موج زیادی دارند، زمانی می‌تواند مفید باشد که شکل منحنی انعکاس طیف کانی مورد نظر در محدوده طیف مرئی و محدوده فروسرخ، منحصر به فرد باشد [Kujjo, 2010].

کانی‌های رسی مثل کائولینیت، مونت‌موریونیت و آلونیت انعکاس طیفی کمتری در باند ۷ و بازتاب طیفی بیشتری در باند ۵ دارند (شکل ۴-۲)؛ بنابراین نسبت باندی ۵ به ۷ مناطقی را که دارای کانی‌های دگرسانی هستند را با رنگ روشن‌تر نشان می‌دهد. در کانی‌های آهنی (مثل گوسن‌ها)، بازتاب طیفی باند ۱ از باند ۳ کمتر است (شکل ۴-۳)، بنابر این نسبت باند ۳ به باند ۱ برای شناسایی اکسیدهای آهن مناسب است [Sabins, 1999]. برای شناسایی کانیهای سیلیکاته از کانی‌های غنی از آهن، از نسبت باندی ۵ به ۷ بیشتر استفاده می‌شود [Abrams, 1983].



شکل ۴-۳: منحنی بازتاب طیفی برخی از کانی‌های آهنی (با اقتباس از Sabins, 1999)

اگر نسبت‌های ۵ به ۷، ۳ به ۲ و ۴ به ۵ به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی اختصاص داده شوند آنگاه در تصاویر حاصله مناطق غنی از اکسیدهای آهن به رنگ سبز دیده شده و مناطق غنی از رسی به رنگ قرمز دیده می‌شوند. مناطق زرد یا نارنجی نشانه وجود کانی‌های اکسید آهن و کانی‌های رسی در کنار هم است [Abrams, 1983].

گروهی از نسبت‌ها برای نمایش رفتار طیفی اکسیدهای آهن، کانی‌های دارای مولکول‌های H_2O ، OH ، CO_3 و SO_4 و گیاهان به کار می‌روند. نسبت باند ۴ به باند ۳ گیاهان را با تن رنگی روشن‌تر نشان می‌دهد

که این امر به خاطر بازتاب طیفی بالای ساختمان داخلی گیاه در باند فروسرخ نزدیک در مقابل افت شدید بازتاب طیفی نور مرئی (باند ۳) به خاطر جذب نور زیاد کلروفیل موجود در گیاه است [Kaufmann, 1988].

کانی‌های رسی حاوی آب، میکا، کربنات‌ها، سولفات‌ها و هیدرات‌ها هستند که توسط نسبت باندی ۵ به ۷ آشکار می‌شوند. کانی‌های غنی از آهن را می‌توان توسط نسبت باندهای ۷ به ۴، ۷ به ۱ یا ۵ به ۴ آشکار نمود. ترکیب رنگی ایجاد شده توسط نسبت‌های باندی ۷ به ۴، ۴ به ۳ و ۵ به ۷، به ترتیب از راست به چپ با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی، کانی‌های آهن دار را به رنگ قرمز، پوشش گیاهی را به رنگ سبز و کانی‌های رسی را به رنگ آبی نشان می‌دهد [Kaufmann, 1988].

در توده‌های نفوذی گرانیته هر چه قدر به درون توده نفوذی حرکت کنیم میزان کائولینیت، ایلیت و آهن آزاد افزایش یافته در حالی که میزان کلریت و اسمکتیت کاهش می‌یابد. بررسی بازتاب طیفی نمونه‌های خاک در آزمایشگاه نشان داده است که با افزایش میزان کائولینیت، ایلیت و آهن آزاد و کاهش کلریت نسبت باندهای ۲ به ۳، ۲ به ۵، ۲ به ۷، کاهش یافته در حالی که نسبت باندهای ۳ به ۴، ۴ به ۷، ۵ به ۷ افزایش می‌یابد [Goossens and Kroonenberg, 1994].

تصویر ایجاد شده از نسبت‌های باندی ۳ به ۴، ۵ به ۷، ۵ به ۳ به ترتیب از راست به چپ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی مناطق غنی از اکسیدهای آهن را به رنگ زرد نشان داده در حالی که زمینه تصویر آبی است [Jingyuan and Xucman, 1991].

نسبت باندی ۵ به ۷ در مشخص کردن کانی‌های دگرسانی مفید بوده و نسبت‌های باندی ۵ به ۴ و ۳ به ۱، به ترتیب برای بارزسازی کانی‌های آهن‌دار و اکسیدهای آهن به کار می‌روند. ترکیب رنگی نسبت‌های باندی ۵ به ۷، ۵ به ۴ و ۳ به ۱، به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی ویژگی‌های زمین‌شناسی مهم منطقه را آشکار می‌کند [Chica-Olmo et al., 2002].

با استفاده از ترکیب رنگی قرمز، سبز و آبی نسبت‌های باندی ۵ به ۷، ۳ به ۱ و ۵ به ۴ می‌توان گرانیات-ها و سنگ‌های آتشفشانی را با رنگ‌های آبی تیره تا آبی مشاهده نمود که نشان دهنده وجود اکسیدهای آهن و منگنز است [Abdelhamid and Rabba, 1994].

۴-۳-۳- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی از روش تبدیل مولفه‌های اصلی برای کاهش ابعاد داده‌های همبسته چند طیفی، استفاده می‌کند. تبدیل مولفه‌های اصلی یکی از روش‌های بارزسازی تصویر برای نشان دادن بیشترین تباین از بین باندهای مختلف فقط با استفاده از سه رنگ اصلی است [Vincent, 1997].

تصاویر چند طیفی اغلب ویژگی‌های بصری مشابهی در باندهای مختلف هستند که باعث ایجاد داده-های زائد (همبستگی زیاد بین باندهای طیفی) می‌شود. تجزیه و تحلیل مولفه اصلی یک روش آماری چند متغیره است که از آن برای کاهش این داده‌های زائد استفاده می‌شود، به این منظور داده‌های اصلی به مولفه‌های اصلی عمود برهم تبدیل شده که تصویری ناهمبسته^۱ ایجاد می‌کند، که این تصویر تباین بیشتری از باندهای اصلی دارد [Kujjo, 2010].

تبدیل مولفه اصلی فرایندی دو مرحله‌ای است. در مرحله اول از n هیستوگرام تصویر مورد نظر به عنوان ورودی الگوریتم مولفه اصلی استفاده می‌شود. این الگوریتم n مولفه اصلی را محاسبه می‌کند. در واقع این مولفه‌های اصلی بردارهای عمود برهم در فضای n بعدی هستند که در جهت بیشترین واریانس باقی‌مانده قرار گرفته‌اند. ضرایب تصویر^۲ n باند طیفی برای n مولفه اصلی نهایی از نتایج مرحله اول با کمک رابطه زیر است:

$$P_k = \sum_{i=1}^n a_{i,k} DN(i) \quad (\text{رابطه ۴-۲})$$

^۱ . Uncorrelated

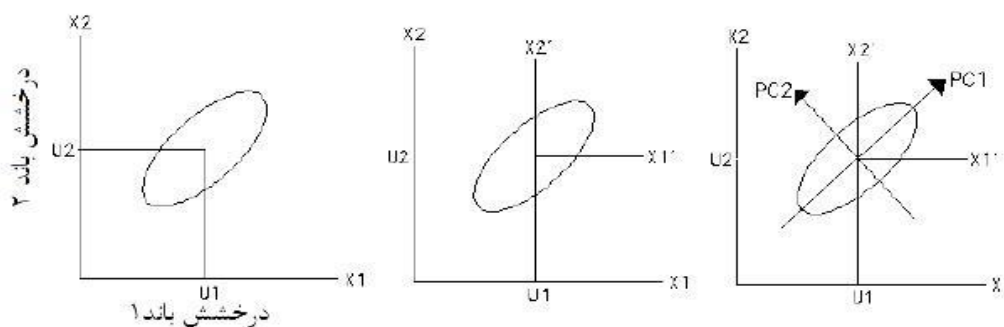
^۲ . Projection coefficients

در این رابطه P_k مقدار k امین مولفه اصلی برای یک پیکسل است، $DN(i)$ عدد رقومی i امین باند طیفی برای پیکسل مورد نظر بوده و $a_{i,k}$ ضرایب تصویر محاسبه شده توسط الگوریتم مولفه اصلی برای نمایش اعداد رقومی n باند طیفی به شکل n بردار مولفه اصلی است.

بیشتر تغییرپذیری اطلاعات ورودی مرتبط با دو یا سه مورد از ورودی‌ها است. ورودی‌های دیگر نقش کمتری در تغییرپذیری (واریانس) اطلاعات دارند. نمودار پراکندگی^۱ مقادیر درخشندگی دو مورد از ورودی‌هایی که بیشترین تغییرپذیری را در اطلاعات دارند، شبیه به یک بیضی است که محورهای اصلی و مبدا مختصات بر آن منطبق نیستند (شکل ۴-۴). با انتقال مبدا مختصات به نقطه‌ای با مختصات مقادیر میانگین این دو دسته داده، محورهای انطباق بهتری با داده‌ها پیدا می‌کنند. سپس داده‌ها را با توجه به محورهای اصلی مبدا جدید انتقال می‌دهیم. اولین محور مولفه اصلی در امتداد محور اصلی بیضی قرار دارد و بیشترین تغییرپذیری اطلاعات را در بر می‌گیرد. محور فرعی، که دومین محور مولفه اصلی است، عمود بر محور اصلی بوده و در امتداد واریانس باقی‌مانده حداکثر قرار دارد. واریانس‌های مولفه‌های اصلی، مقادیر ویژه^۲ نامیده می‌شوند. بنابراین حد اکثر مقدار واریانس باقی‌مانده؛ که با افزایش مولفه اصلی کوچکتر می‌شود، توسط هر مولفه اصلی بعدی که عمود بر مولفه‌های بعدی است، برداشته می‌شود. در نتیجه n امین مولفه دارای تمام واریانس باقی‌مانده است و می‌تواند پیکسل‌هایی را که در تصویر از نظر طیفی منحصر به فرد هستند را از بقیه پیکسل‌های موجود در تصویر جدا کند. واریانس کل همه مولفه‌های اصلی به طور خلاصه تا صد درصد واریانس کل داده‌ها است. زمانی که $n > 3$ است، سه مولفه اصلی معمولاً بیشترین مقدار واریانس (۵۰٪-۹۵٪) را به خود اختصاص می‌دهند.

^۱ . Scatter plot

^۲ . Eigenvalues



شکل ۴-۴: چگونگی به دست آوردن مولفه‌های اصلی از داده‌ها (Yetkin, 2003)

مرحله دوم انتقال تصویر به فضای مولفه اصلی است. با استفاده از رابطه (۴-۲) مقادیر n مولفه اصلی برای هر پیکسل محاسبه می‌شود. مولفه‌های اصلی به دست آمده دارای اطلاعاتی از همه باندهای دیگر است [Yetkin, 2003].

اولین مولفه اصلی ($PC1$) برداری در جهت بیشترین واریانس پیکسل‌ها در تصویر است. این مولفه اصلی بیشترین تغییرپذیری را دارد، که این تغییرپذیری زیاد ناشی از اختلاف درخشندگی پیکسل‌ها به دلیل توپوگرافی سطح زمین و موقعیت خورشید است. به کمک این مولفه می‌توان اطلاعات مهمی در مورد ساختارهای منطقه مورد بررسی به دست آورد. دومین مولفه اصلی ($PC2$) از مولفه قبلی تغییرپذیری کمتری دارد و در یک فضای n جهتی عمود بر آن ($PC1$) است. این مولفه اختلاف بین طیف نور مرئی و فروسرخ را بهتر نشان می‌دهد. سومین مولفه اصلی ($PC3$) تغییرپذیری کمتری از دو مولفه قبلی خود دارد و بر آن‌ها عمود است، و به همین ترتیب برای مولفه‌های اصلی بعدی این روند ادامه دارد. آخرین مولفه اصلی (PCn) حاوی تمام واریانس باقی‌مانده است و منحصر به فرد ترین پیکسل‌های موجود در تصویر را از سایر پیکسل‌های آن جدا می‌کند. این مولفه واریانس کمی داشته و اغلب به شکل نوفه‌دار ظاهر می‌شود [Vincent, 1997].

هر سه مولفه اصلی به دست آمده را می‌توان ترکیب نمود و یک تصویر با ترکیب رنگی ایجاد کرد، این تصویر رنگی به دست آمده دارای اطلاعات همه n باند است. به خاطر مولفه‌های ناهمبسته این تصاویر، تنوع رنگی بیشتری در آن‌ها وجود دارد.

در این تحقیق از روش کروسستا^۱ برای شناسایی دگرسانی‌های موجود در منطقه محلات استفاده می‌شود. در این روش با بررسی بردارهای ویژه^۲ به دست آمده از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، مولفه اصلی که اطلاعات آن مستقیماً مرتبط با علائم طیفی تئوری هدف مورد نظر است مشخص می‌شود. تصویر حاصل از این مولفه اصلی می‌تواند هدف مورد نظر را مشخص نماید. با توجه به بزرگی بردار ویژه و علامت آن (منفی یا مثبت) هدف مورد نظر با پیکسل‌های تیره و یا روشن در تصویر دیده خواهد شد. روش کروسستا را می‌توان برای مشخص کردن مناطق دگرسان شده در سطح زمین به کار برد [Loughlin, 1991; Ranjbar et al. 2003; Poormirzaee et al. 2010].

۴-۳-۴- برازش به روش کمترین مربعات

فرض کنید نمونه‌ای از متغیرهای x_i و y_i در داده‌های مورد مطالعه وجود دارد و مقدار y_i مشخص نیست. با استفاده از روش حداقل مربعات می‌توان متغیر y_i را تخمین زد که در آن مقدار متغیر x_i مشخص است. مقدار تخمین زده شده ($\hat{y}_i$) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 x_i \quad (\text{رابطه ۴-۳})$$

هر مقدار نامشخص متغیر y_i توسط مقدار متناظر و مشخص x_i تخمین زده می‌شود. عبارت‌های a_0 و a_1 ضرایب حداقل مربعات نامیده می‌شوند. این ضرایب را می‌توان توسط نمونه‌هایی از مقادیر X و Y محاسبه نمود. جمع مربع اختلاف‌ها بین مقدار واقعی y_i و مقدار تخمینی $\hat{y}_i$ برای تمامی ضرایب ممکن a_0 و a_1 حداقل است. این حداقل مربع اختلاف‌ها باقی‌مانده^۳ نامیده می‌شوند. بنابراین رابطه (۴-۳) را باید به شکل زیر بازنویسی نمود:

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 x_i + r_i \quad (\text{رابطه ۴-۴})$$

^۱ . Crosta Technique

^۲ . Eigenvectors

^۳ . Residual

این معادله زمانی که بیشتر از یک متغیر پیشگو^۱ وجود داشته باشد پیچیده خواهد شد. هنگامی که ۶ باند به عنوان باند پیشگو در نظر گرفته شود، تعداد ۷ ضریب وجود خواهد داشت. بنابراین معادله با یک تابع چند جمله‌ای درجه ۶ بیان می‌شود [Mather, 1989].

در این روش فرض بر این است که باندهای استفاده شده به عنوان متغیرهای ورودی مثل متغیرهای یک عبارت خطی رفتار می‌کنند، و مقدار y در معادله، اطلاعات باند تخمین زده شده است. به کمک این روش می‌توان مشکل وجود بازتاب نوری گیاهان در باندهای استفاده شده برای شناسایی کانی‌های رسی را برطرف نمود. کانی‌هایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند، فقط با محاسبه اختلاف بین مقادیر تخمینی و مقادیر اصلی شناسایی می‌شوند، که این اختلاف باقی‌مانده نامیده می‌شود [Clark et al. 1993].

با استفاده از باقی‌مانده باند ۳، باقی‌مانده باند ۷، و باند ۱ می‌توان کانی‌های هماتیت، رسی و گوتیت را شناسایی نمود. در اینجا به این نکته باید توجه نمود که بهتر است برای محاسبه باقی‌مانده باندهای موجود در طیف مرئی از باندهای موجود در همین طیف (باندهای ۱، ۲ و ۳) استفاده کرد و برای محاسبه باقی‌مانده باندهای موجود در طیف فروسرخ از باندهای موجود در همین طیف (باندهای ۴، ۵ و ۷) استفاده کرد [Yetkin, 2003]. هر چند که می‌توان از تمام باندهای موجود در طیف مرئی و فروسرخ حرارتی برای به دست آوردن تصاویر باقی‌مانده استفاده کرد، ولی برای به دست آوردن باقی‌مانده باندهای موجود در طیف مرئی، باید حتماً این باندها وجود داشته باشند و برای به دست آوردن باقی‌مانده باندهای موجود در محدوده فرو سرخ، حتماً باید باندهای موجود در این محدوده نیز وجود داشته باشند. [Poormirzaee et al. 2010].

۴-۳-۵- فیلتر کردن تصویر

عمل فیلتر کردن برای دسترسی به تصاویری متباین و با کیفیت بهتر در اثر اعمال نمودن توابع یا عملگرهای فیلتر در حوزه فضای تصویر و یا در حوزه فراوانی مکانی انجام می‌شود. به کمک عمل فیلتر

¹. Predictor

کردن می‌توان گسل‌ها و خطواره‌هایی که در منطقه مورد مطالعه وجود دارد را از طریق تصاویر ماهواره‌ای شناسایی نمود. فیلترهایی که در حوزه فضای تصویر عمل می‌نمایند، برای برجسته نمودن ویا پنهان نمودن پدیده‌های موجود در تصویر بر اساس تکرار پذیری فضایی^۱ این پدیده‌ها، طراحی شده‌اند. برای مثال تغییرات سریع و زیاد درخشندگی پیکسل‌های تصویر نشان دهنده سطوحی با تکرارپذیری فضایی زیاد و به عبارت دیگر ناهمواری^۲ است، در حالی که تکرارپذیری فضایی کم نشان دهنده همواری^۳ سطح است که در آن تغییر پذیری درخشش پیکسل‌ها کمتر است [Kujjo, 2010]. در مورد داده‌های تصویر رقومی، فیلتر کردن تصویر معمولاً با عمل پیچش^۴ توسط یک عملگر ماتریسی $n \times n$ انجام می‌پذیرد:

$$r(i, j) = \sum_{\mu} \sum_{\nu} \phi(\mu, \nu) t'(i - \mu, j - \nu) \quad (\text{رابطه ۴-۵})$$

که در رابطه فوق ϕ تصویر ورودی، t' تابع فیلتر و r تصویر خروجی است [Richards and Jia, 2006].

بارزسازی لبه‌ها ساده‌ترین و موثرترین راه برای شناسایی گسله‌ها و ساختارهای موجود در یک تصویر است. سه روش عمده برای آشکارسازی لبه‌ها در تصاویر وجود دارد:

۱- با استفاده از یک الگو برای شناسایی لبه

۲- با استفاده از محاسبه مشتق‌های فضایی

۳- با کاستن تصویر هموار شده از تصویر اصلی

از میان روش‌های فوق روش سوم کاربرد بیشتری در شناسایی گسل‌ها و ساختارهای زمین دارد. یک تصویر هموار شده، تکرارپذیری فضایی کمی داشته و اجزایی که تکرارپذیری فضایی زیادی دارند (مثل خطواره‌ها) در آن اثر کمتری دارند. بنابراین اگر تصویر هموار شده از تصویر اصلی کم شود، تصویر حاصله، تصویری خواهد بود که در آن لبه‌ها و خطوط به طور مشخص دیده می‌شود. پس از بارزسازی

^۱ . spatial frequency

^۲ . roughness

^۳ . smoothness

^۴ . convolution

لبه‌ها، تصویر باقی‌مانده به تصویر اصلی دوباره اضافه می‌شود تا تصویری با لبه‌های بارز و مشخص پدید آید [Richards and Jia, 2006]. در شکل (۴-۵) استفاده از این روش در بارز کردن لبه‌های موجود در تصویر باند ۷ ماهواره لندست و تاثیر آن بر تصویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای ۴، ۵ و ۷ دیده می‌شود.



شکل ۴-۵: نمایی از فرآیند آشکارسازی لبه‌ها با استفاده از روش کاستن تصویر هموار شده (Richard and Jia, 2006)

۴-۳-۶- به دست آوردن دمای سطح زمین

سنجنده‌های فروسرخ حرارتی ماهواره تابش‌های^۱ موجود در بالای جو را اندازه‌گیری می‌کنند، که به وسیله آن‌ها و با استفاده از تابع پلانک می‌توان دمای روشنی^۲ (دمای جسم سیاه) را اندازه‌گیری نمود

^۱. Radiances

^۲. Brightness Temperatures

[Dash et al. 2002]. این تابش‌های بالای جو از سه قسمت انرژی تشکیل شده‌اند: (۱) تابش منتشر شده از سطح زمین (۲) تابش ناشی از جو (۳) تابش‌های موجود در فضا. تفاوت دمای روشنی اندازه‌گیری شده در بالای جو و دمای روشنی اندازه‌گیری شده در سطح زمین در محدوده طیفی ۱۰ تا ۱۲ میکرومتر حدود ۱ تا ۵ درجه کلوین است، که این اختلاف دما به خاطر شرایط جوی است [Prata et al. 1995]. بنابراین، تاثیرات جوی قبل از محاسبه دمای روشنی سطح زمین باید اصلاح شوند. و همچنین میزان نشرپذیری طیفی^۱ نیز باید قبل از محاسبه دمای روشنی سطح زمین باید با توجه به ناهمواری‌های سطح زمین، مقدار و نوع پوشش گیاهی منطقه و ویژگی‌های حرارتی و رطوبت خاک منطقه، اصلاح شود [Friedl, 2002].

برای به دست آوردن دمای سطح زمین به وسیله باند حرارتی فروسرخ، ابتدا با استفاده از یک معادله انتقالی، تابش اندازه‌گیری شده در سنجنده به تابش سطح زمین تبدیل می‌شود سپس با استفاده از یک مدل نشرپذیری طیفی این تابش به دما تبدیل می‌شود [Schmugge et al. 1998]. در این تحقیق مقادیر رقومی باند حرارتی ماهواره لندست ۷ به تابش تبدیل شده و دما در ماهواره محاسبه می‌شود. سپس دمای محاسبه شده با استفاده از مقادیر نشرپذیری که به دست آمده است، اصلاح می‌شود. در نهایت این دمای اصلاح شده به دمای جنبشی سطحی^۲ تبدیل می‌شود.

۴-۳-۶- تبدیل اعداد رقومی به تابش

اولین مرحله در تبدیل اعداد رقومی به دما، تبدیل اعداد رقومی موجود در باند ۶ به مقادیر تابش سطح زمین است. تصاویر ETM+ در دو حالت فایده^۳ بالا و حالت فایده پایین به دست می‌آیند. هدف علمی جابه جایی حالت‌های فایده تصاویر، بیشینه کردن تفکیک پذیری رادیومتریک ۸ بیتی است. برای تمام باندهای سنجنده ETM+ دامنه پویایی^۴ (نسبت پیکسل دارای بیشترین روشنایی به تاریکترین پیکسل) حالت فایده پایین تقریباً ۱/۵ برابر محدوده پویا حالت فایده بالا است. هنگامی که

^۱. Spectral Emissivity

^۲. Kinetic Surface Temperature

^۳. Gain

^۴. Dynamic Range

روشنایی سطح زیاد است، از حالت فایده پایین برای تصویر برداری استفاده می‌شود، هنگامی که روشنایی سطح کم است، از حالت فایده بالا برای تصویر برداری استفاده می‌شود [Hailu, 2007]. حالت فایده پایین حساسیت کمتری دارد.

با استفاده از رابطه (۴-۶) می‌توان اعداد رقومی تصویر را به تابش تبدیل نمود [Chander et al. 2009]:

$$L_{\lambda} = \left[\left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} \right) \times (Q_{CAL} - Q_{CALMIN}) \right] + L_{MIN} \quad (\text{رابطه ۴-۶})$$

که در رابطه فوق L_{λ} تابش، $L_{\max}$ بیشترین مقدار تابش، $L_{\min}$ کمترین مقدار تابش، Q_{CALMAX} بیشترین عدد رقومی در تصویر کالیبره شده که برابر ۲۵۵ است، Q_{CALMIN} کمترین عدد رقومی در تصویر کالیبره شده که برابر با ۱ است، و Q_{CAL} عدد رقومی است.

رابطه (۴-۶) را می‌توان به فرم زیر باز نویسی کرد:

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{CAL} + B_{rescale} \quad (\text{رابطه ۴-۷})$$

که برای حالت فایده پایین $G_{rescale}$ برابر با ۰/۰۶۷ و $B_{rescale}$ برابر با ۰/۰۶۷- است. و برای حالت فایده بالا $G_{rescale}$ برابر با ۰/۰۳۷۲ و $B_{rescale}$ برابر با ۳/۱۶ است [Chander et al. 2009].

۴-۳-۶-۲- تبدیل تابش به دما در ماهواره

مرحله دوم تبدیل تابش به دما است. دما در ماهواره را می‌توان با فرض نشرپذیری واحد و استفاده از ثابت‌های کالیبراسیون قبل از پرتاب K_1 و K_2 ، اندازه‌گیری کرد، که رابطه تبدیل به شکل زیر است

[Hailu, 2007].

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad (\text{رابطه ۴-۸})$$

که در این رابطه T_B دما در ماهواره به درجه کلون است و K_1 و K_2 ثابت‌های کالیبراسیون بوده و L_{λ} طیف تابش است. جدول (۴-۲) ثابت‌های کالیبراسیون برای تعیین دما در ماهواره لندست ۷ را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲: ثابت‌های کالیبراسیون برای تعیین دما در ماهواره لندست ۷ (USGS)

ثابت‌های کالیبراسیون باند حرارتی سنجنده+ETM		
واحد	مقدار	ثابت
$\frac{watts}{(m^2 \times Ster \times \mu m)}$	۶۶۶/۰۹	K ₁
°K	۱۲۸۲/۷۱	K ₂

۴-۳-۶-۳- محاسبه دمای تابشی سطح زمین

برای محاسبه دمای تابشی سطح زمین ابتدا باید مقدار نشرپذیری سطح زمین را به دست آورد. مقدار نشرپذیری را می‌توان از روش کانال مرجع^۱ به وسیله نرم افزار ENVI نسخه ۴/۳ به دست آورد. در روش کانال مرجع فرض بر این است که تمام پیکسل‌ها در یک کانال باند حرارتی فروسرخ دارای نشرپذیری یکسانی هستند [Trung and Minh, 2006].

دمای تابشی سطح زمین را می‌توان بر اساس مقادیر نشرپذیری محاسبه‌ای و دما محاسبه‌ای ماهواره از رابطه (۴-۸) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود [Hailu, 2007].

$$T_{lst} = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda T_B}{\rho} \right) \times \ln \varepsilon} \quad (\text{رابطه ۴-۹})$$

که در این رابطه T_{lst} دمای تابشی سطح زمین به درجه کلوین، λ طول موج تابش منتشر شده، T_B دمای اندازه‌گیری شده در ماهواره، ρ عددی ثابت با مقدار $(1.438 \times 10^{-2} mK)$ و ε مقدار نشرپذیری است.

^۱ . Reference Channel

۴-۳-۶-۴- دمای جنبشی^۱ سطح زمین

امواج الکترومغناطیسی که از یک جسم خارج می‌شود، جریان تابش^۲ نامیده می‌شود. دمای تابشی سطح زمین به شدت وابسته به دمای جنبشی آن است. سیستم‌های حرارتی فروسرخ دمای تابشی را ثبت می‌کنند. در یک جسم سیاه دمای تابشی و دمای جنبشی با هم برابر هستند ولی در اجسام دیگر رابطه (۴-۱۰) بین دمای جنبشی و دمای تابشی برقرار است. با کمک این رابطه می‌توان دمای جنبشی یک جسم را با توجه به دمای تابشی آن به دست آورد [Hailu, 2007].

$$T_{lst} = (\varepsilon)^{\frac{1}{4}} \times T_k \quad (\text{رابطه ۴-۱۰})$$

که در رابطه فوق ε نشرپذیری، T_{lst} و T_k به ترتیب دمای تابشی و دمای جنبشی هستند. حال که روش‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور هدف مورد مطالعه به اختصار توضیح داده شد، در ادامه و در فصل بعدی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل این داده‌ها شرح داده می‌شوند.

^۱ . Kinetic Temperature

^۲ . Radiant Flux

فصل پنجم

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور

۵-۱- مقدمه

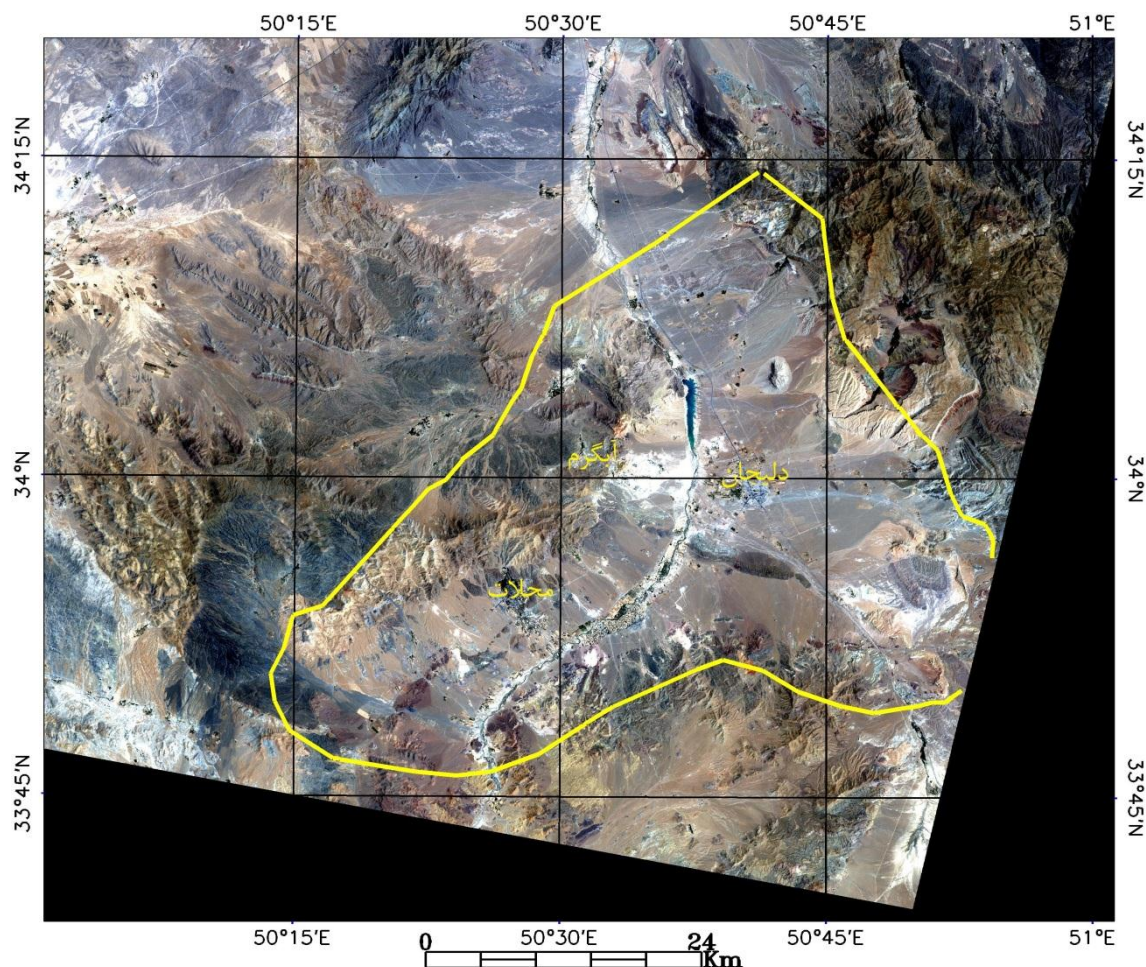
نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور به منظور به دست آوردن اطلاعات درباره واحدهای سنگی، علائم سطحی، دگرسانی‌های گرمایی، ساختارها و ناهنجاری‌های حرارتی موجود در منطقه زمین‌گرمایی محلات در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرد. به کمک نتایج این فصل می‌توان به اطلاعات مفیدی درباره فعالیت‌های زمین‌گرمایی در این منطقه دست یافت.

در ابتدا واحدهای سنگی و علائم سطحی فعالیت‌های زمین‌گرمایی موجود در منطقه زمین‌گرمایی محلات را با استفاده از روش‌هایی که در فصل قبل شرح داده شد، شناسایی می‌شود، سپس مناطق دگرسان شده گرمایی موجود در منطقه را با استفاده از روش‌های ذکر شده پردازش و بارزسازی می‌شود. در مرحله بعد، گسل‌ها، خطواره‌ها و ساختارهای موجود در منطقه شناسایی می‌شود و در نهایت نقشه ناهنجاری‌های حرارتی احتمالی موجود در منطقه زمین‌گرمایی محلات تهیه می‌شود.

۵-۲- شناسایی واحدهای سنگی و علائم سطحی فعالیت‌های زمین‌گرمایی

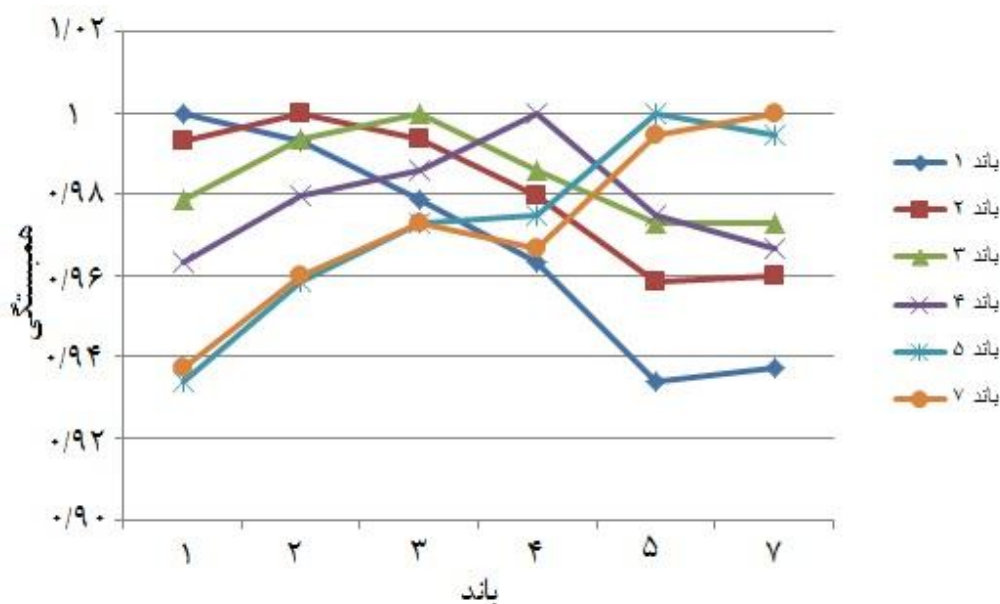
سینترها (سنگ‌ها و کانی‌های بوجود آمده از مواد موجود در چشمه‌های آبگرم در محل این چشمه‌ها)، توف، رس‌ها و سولفات‌ها جزء شاخص‌های سطحی مناطق زمین‌گرمایی هستند [Calvin et al., 2005]، که در این قسمت با استفاده از روش ترکیب‌های رنگی در تصاویر موجود آشکارسازی می‌شود. در این قسمت از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گلپایگان [Thiele et al., 1968] و قم به عنوان مرجعی در شناسایی واحدهای سنگی استفاده شده است. شکل (۵-۱) تصویر ترکیب رنگی واقعی منطقه زمین‌گرمایی محلات را نشان می‌دهد. در این شکل محدوده زمین‌گرمایی محلات با خطوط زرد رنگی محدود شده است.

بهترین ترکیب باندی برای جداسازی واحدهای سنگی، ترکیب باندی است که باندهای آن‌ها کمترین همبستگی را باهم دارند [Kujjo, 2010].



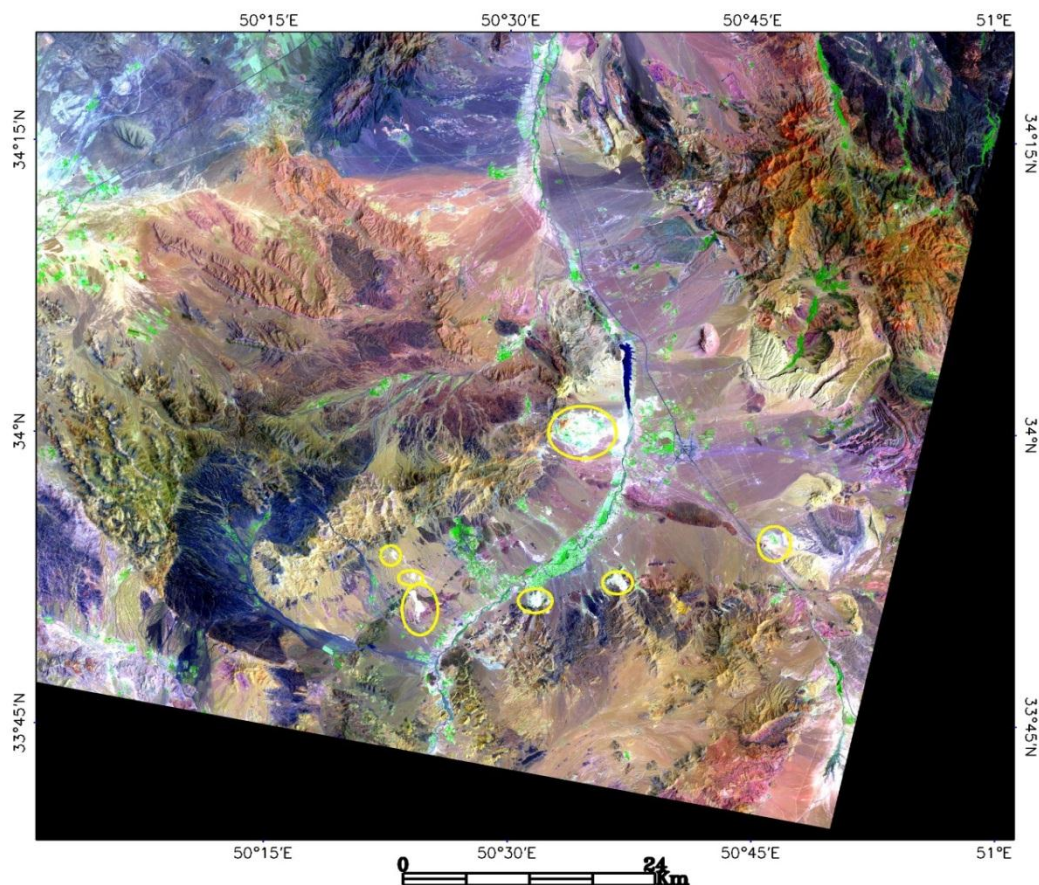
شکل ۵-۱: تصویر ترکیب رنگی واقعی منطقه زمین گرمایی محلات

مطابق شکل (۵-۲) دیده می‌شود باندهای ۷، ۴، ۱ کمترین میزان همبستگی را دارند بنابراین با استفاده از ترکیب این باندها به ترتیب به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی، بیشترین تفاوت‌های رنگی در تصویر به دست می‌آید (شکل ۵-۳). در شکل (۵-۳) مناطق دارای پوشش گیاهی به رنگ سبز دیده می‌شود. سینترهای با ترکیب تراورتن به سن کواترنری که در اثر فعالیت‌های زمین گرمایی و چشمه‌های آبگرم در این منطقه به وجود آمده‌اند در تصویر به رنگ سفید مشخص شده است. در این تصویر سازند شمشک در مرکز تصویر (شمال شهر محلات) با رنگ تیره قابل شناسایی است که گستردگی زیادی در منطقه دارد. سازند شمشک می‌تواند سنگ پوششی مناسبی برای مخزن زمین گرمایی محلات باشد [پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۸].

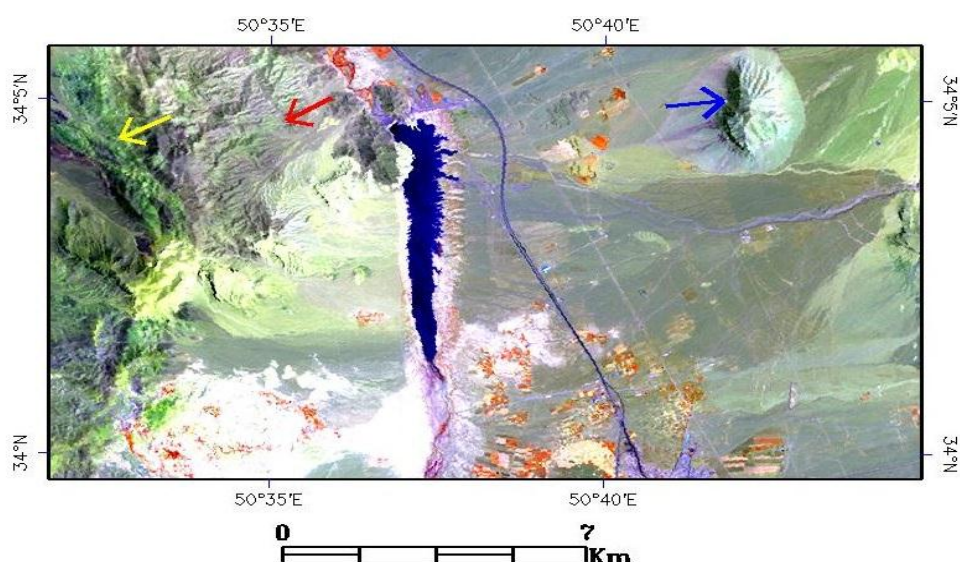


شکل ۵-۲: نمودار همبستگی بین باندهای مختلف

با تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۴، ۵ و ۱ در فیلترهای سه گانه قرمز، سبز و آبی می‌توان این گونه واحدهای سنگی را از سایر موارد تفکیک نمود [Kujjo, 2010]. شکل (۴-۵) تصویر حاصل از ترکیب این باندها را نشان می‌دهد. در این تصویر سینترها به رنگ سفید، سنگ‌های مارن به رنگ کرم، توف‌های آئوسن به رنگ سبز روشن (فلش زرد)، گرانیت با سن میوسن به رنگ سبز (فلش قرمز) و گنبد‌های آتشفشانی ریوداسیتی نئوژن به رنگ قهوه‌ای پر رنگ (فلش آبی) دیده می‌شود. با توجه به اینکه سینترها و توف‌ها کانی‌ها و سنگ‌های مرتبط با فعالیت‌های زمین گرمایی است، بنابراین وجود و نحوه توزیع آن‌ها راهنمایی برای مراحل بعدی اکتشاف است [Taranik et al. 2010]. آبهای معدنی غنی از دی اکسید کربن در عمق زمین کربنات‌ها را در خود حل کرده، سپس با رسیدن این آب‌ها به سطح زمین با کاهش فشار و دی اکسید کربن محلول، کربنات کلسیم به شکل سینترهای تراورتنی راسب می‌شود [Breckenridge et al. 1987].



شکل ۳-۵: تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۷، ۴ و ۱ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی از منطقه مورد مطالعه. به دور تراورتن‌ها دایره‌ای زرد رنگ رسم شده است. مناطق با پوشش گیاهی به رنگ سبز دیده می‌شود.



شکل ۴-۵: تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۴، ۵ و ۱ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی که در آن فلش زرد به توف، فلش قرمز به گرانیت و فلش آبی به گنبد آتشفشانی ریوداسیتی اشاره دارد.

۵-۳- شناسایی مناطق دگرسان شده

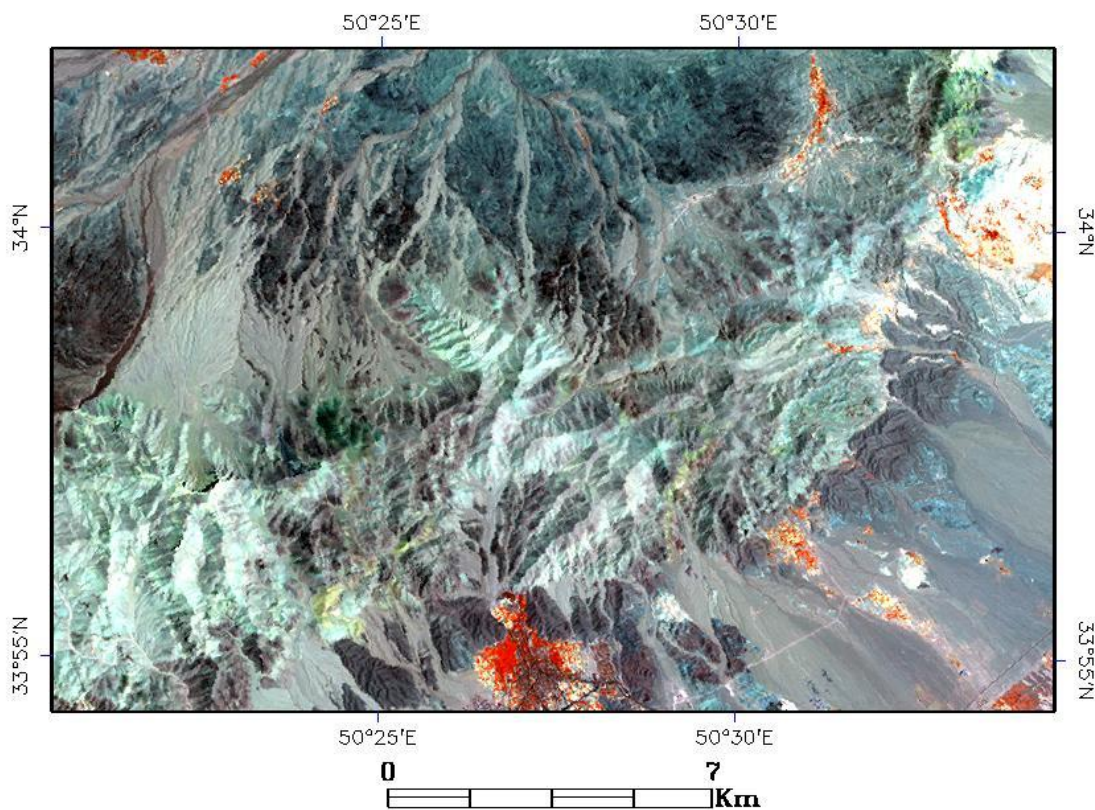
دگرسانی گرمایی در واقع بازتاب پاسخ کانی‌های سنگ ساز موجود به شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوت از شرایط تشکیل آن‌ها است که این شرایط جدید بویژه توسط سیالات گرمایی به وجود می‌آید [Beane, 1982]. طبیعت محصولات دگرسانی به عواملی چون؛ ویژگی سنگ دیواره، ویژگی‌های سیال گرمایی، که وابسته به Eh و pH، فشار بخار انواع گازهای موجود، ترکیب آنیون‌ها و کاتیون‌ها و درجه هیدرولیز است، و دما و فشار انجام واکنش‌ها بستگی دارد [Guilbert and Park, 1986].

ذخایر اپی ترمال فلزات گرانبها در واقع معادل‌های قدیمی سیستم‌های زمین گرمایی دما بالا هستند [White, 1955; White, 1981]. شناسایی مناطق دگرسان شده در اکتشاف این مناطق گرمایی از اهمیت زیادی برخوردار است. بررسی‌ها نشان داده که به کمک کانی‌های دگرسانی، به ویژه کانی‌های رسی می‌توان دمای دگرسانی در سیستم‌های زمین گرمایی را مشخص نمود [Taranik et al. 2010]. همچنین با آشکارسازی مناطق دگرسان شده ممکن است بتوان گسل‌هایی که عامل دگرسانی ثانویه در منطقه شده‌اند، را شناسایی نمود [Fernández et al. 2001]. علاوه بر موارد مذکور، در اطراف چشمه‌های آبگرم اسید سولفات مقدار زیادی کانی‌های سولفات‌ه مثل آلونیت و کانی‌های رسی مثل کائولینیت یافت می‌شود [Breckenridge et al. 1987].

در اینجا برای شناسایی مناطق دگرسان شده منطقه زمین گرمایی محلات با بهره گرفتن از اطلاعات ذکر شده بالا و روش‌های مختلفی که در فصل قبل بیان گردید، استفاده می‌شود.

۵-۳-۱- روش ترکیب‌های رنگی

با استفاده از اختصاص باندهای ۴ و ۵ به رنگ‌های قرمز و سبز و باند ۷ به رنگ آبی می‌توان تصویری ایجاد نمود که در آن مناطق دگرسان شده به رنگ سبز کم رنگ، مناطق دگرسانی که غالباً از رس تشکیل شده اند به رنگ سبز مغز پسته‌ای و مناطق پوشیده شده از اکسیدهای آهن به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شوند و گیاهان به رنگ قرمز تا نارنجی دیده می‌شوند (شکل ۵-۵).

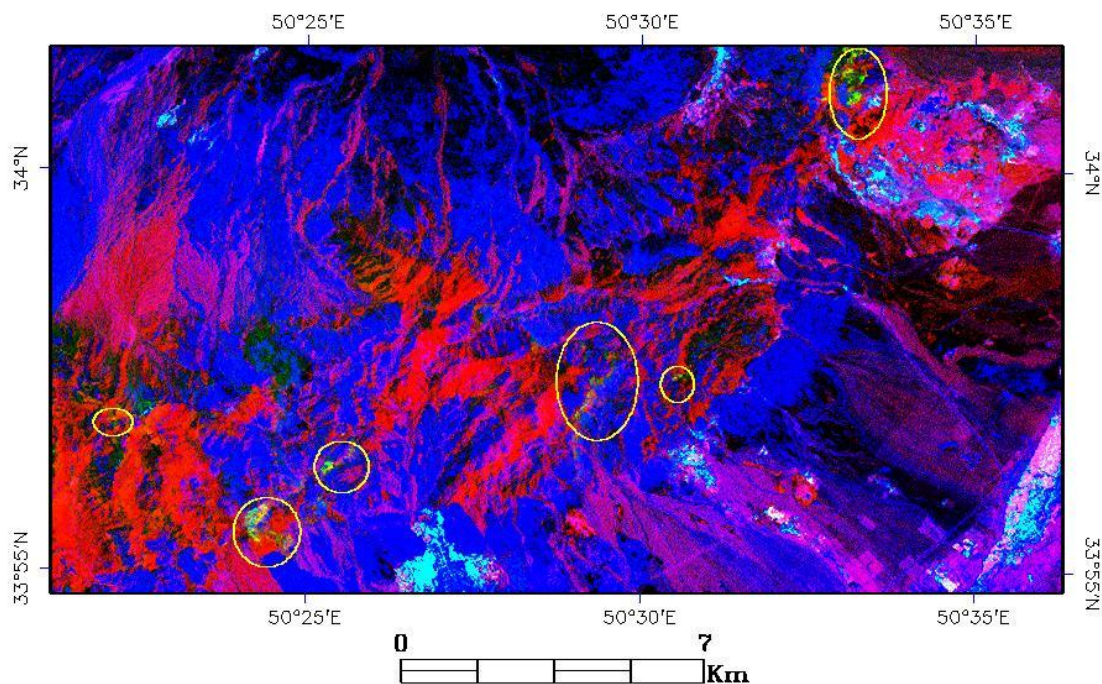


شکل ۵-۵: شناسایی مناطق دگرسانی با استفاده از تصویر حاصل از اختصاص باندهای ۴، ۵ و ۷ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی

۵-۳-۲- نسبت گیری بین باندها

در عملیات نسبت‌گیری بین باندها باید باندهایی را انتخاب نمود که نسبت حاصله توانایی نمایش اطلاعات مورد نظر را در سطح قابل قبولی داشته باشد. همان گونه که در فصل چهارم تشریح شد، انتخاب باندها برای نسبت‌گیری با توجه به ویژگی‌های طیفی کانی‌ها انجام می‌گیرد.

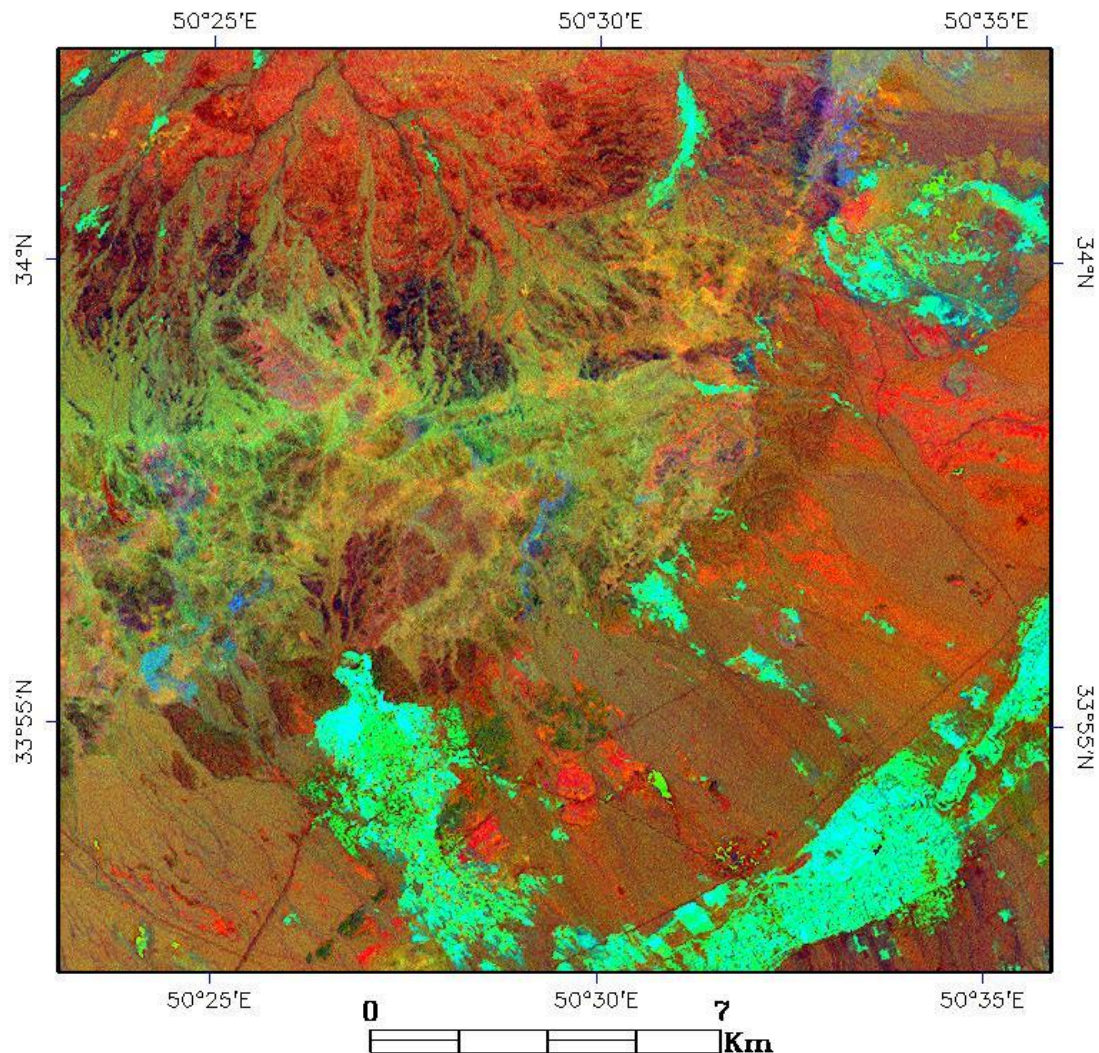
انتظار می‌رود که مقدار نسبت باند ۵ به باند ۷ در کانی‌های رسی بالا باشد چون این کانی‌ها انعکاس بالایی در باند ۵ داشته و انعکاس کمی در باند ۷ دارند. نسبت باند ۳ به باند ۱ برای اکسیدهای آهن بالا است و نسبت باند ۴ به باند ۵ برای اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی تقریباً به طور یکسانی کم است. تصویری با ترکیب نسبت‌های باندی ۳ به ۱، ۵ به ۷ و ۴ در محیط فیلتری قرمز، سبز و آبی تهیه گردید. سپس به منظور بارزسازی رادیومتریک تصویر فوق از روش معادل سازی هیستوگرام بر روی تصویر استفاده شد (شکل ۵-۶). در این تصویر مناطق زرد رنگ نشان دهنده مناطق دگرسان است و مناطق سفید پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶: تصویری با ترکیب نسبت‌های باندی ۳ به ۱، ۵ به ۷ و ۴ به ۵، به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی. دور مناطق دگرسان خط کشیده شده است

نسبت باند ۷ به باند ۴ برای اکسیدهای آهن مقدار بالایی دارد، نسبت باند ۴ به باند ۳ برای کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن مقدار یکسانی دارد و نسبت باند ۵ به باند ۷ برای کانی‌های رسی مقدار زیادی دارد. اگر به ترتیب نسبت‌های باندی فوق در محیط فیلتری قرمز، سبز و آبی اقرار داده می‌شود، در تصویر حاصله پس از کشش خطی، مناطق دگرسان شده به رنگ آبی دیده می‌شود. چون نسبت‌های

باندی ۴ به ۳ و ۵ به ۷، دارای اطلاعاتی درباره پوشش گیاهی هستند، مزارع و پوشش گیاهی به رنگ زرد در تصویر دیده می‌شوند (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷: تصویر حاصل از ترکیب نسبت‌های باندهای ۷ به ۴، ۴ به ۳ و ۵ به ۷، در محیط قرمز، سبز و آبی. مناطق دگرسان به رنگ آبی دیده می‌شوند.

۵-۳-۳- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی از روش کروستا [crosta and Rabelo, 1993] استفاده گردید. مهمترین جنبه این روش پی بردن به این نکته است که هدف سطحی مورد مطالعه در تصویر مولفه اصلی مرتبط با پدیده مورد نظر به رنگ تیره یا روشن دیده می‌شود. بعد از به دست آوردن مولفه‌های اصلی منطقه مورد مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای، برای شناسایی مولفه اصلی که

بیشترین اطلاعات را از هدف مورد نظر دارد، ماتریس بردارهای ویژه که مولفه‌های اصلی به وسیله آن محاسبه می‌شوند مورد بررسی قرار می‌گیرد.

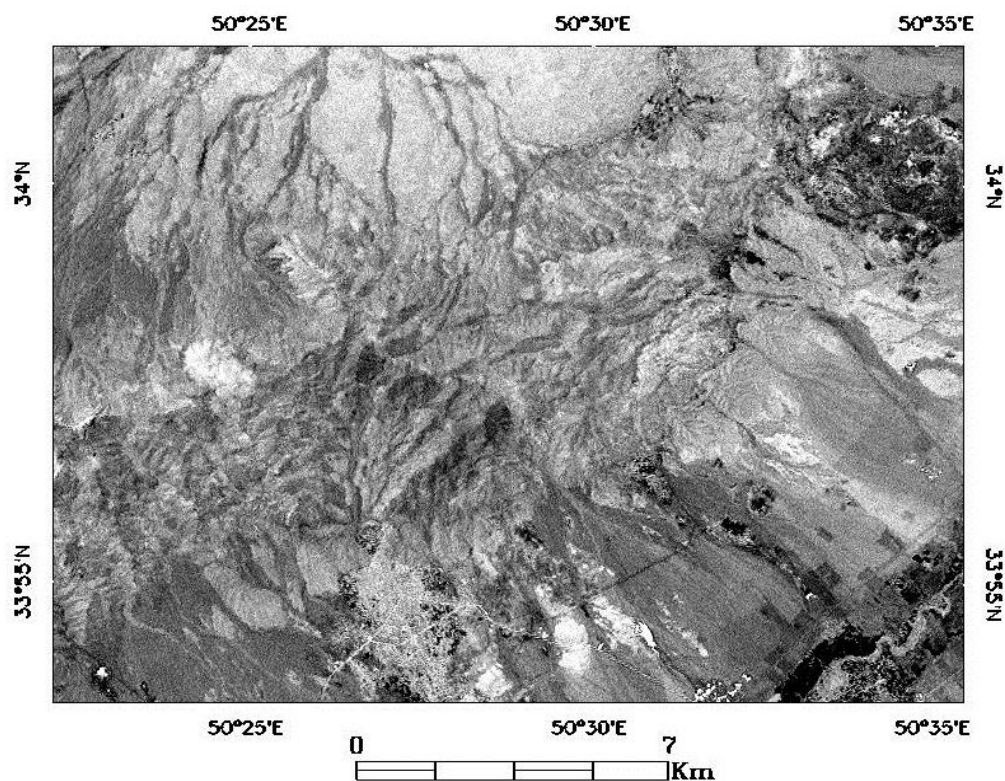
در روش کروستا برای شناسایی مناطق دارای اکسیدهای آهن تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ انجام می‌گیرد. از آن مولفه اصلی برای شناسایی مناطق دارای اکسیدهای آهن استفاده می‌شود که در آن اختلاف بین مقدار ویژه باند ۱ و باند ۳، بیشترین باشد [Loughlin, 1991].

جدول (۵-۱) مقادیر ویژه حاصل انجام تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱، ۳، ۴ و ۵ را برای شناسایی مناطق دارای اکسید آهن در منطقه مورد نظر نشان می‌دهد. با توجه به این جدول در PC3 بیشترین اختلاف بین مقادیر ویژه باند ۱ و باند ۳ وجود دارد.

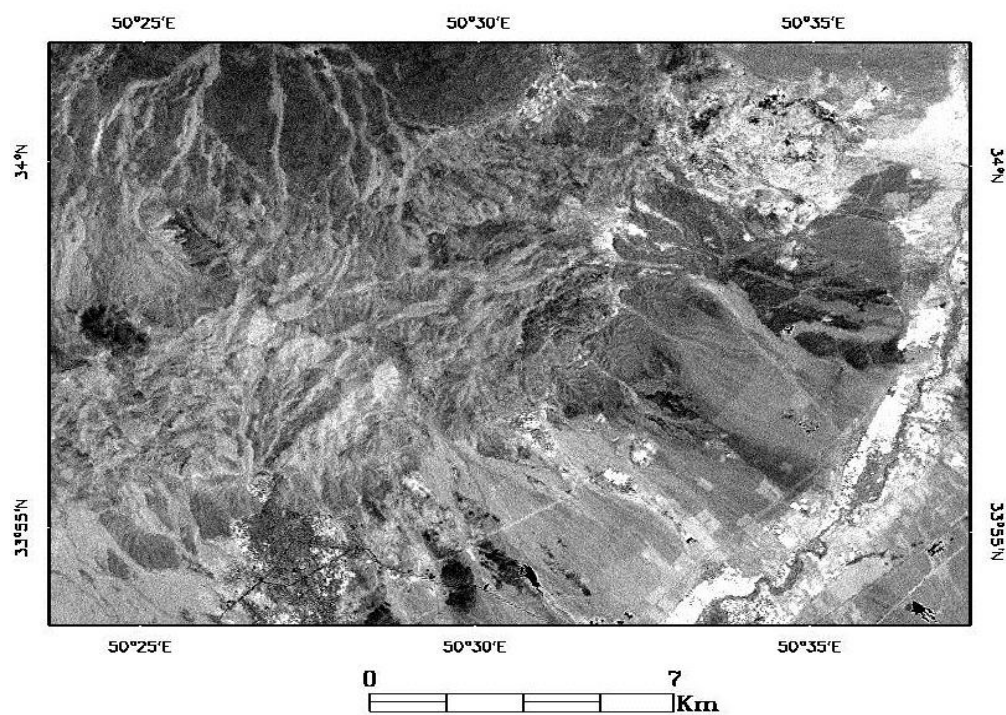
جدول ۵-۱: مقدار ویژه‌های محاسبه شده برای مولفه‌های اصلی به منظور شناسایی مناطق دارای اکسیدهای آهن

باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۱	بردار ویژه
۰/۶	۰/۳۱	۰/۶	۰/۴۲	PC1
-۰/۷۱	۰/۰۰۴	۰/۲۵	۰/۶۵	PC2
۰/۳۴	-۰/۳۲	-۰/۶۲	۰/۶۳	PC3
-۰/۰۸	۰/۹	-۰/۴۴	۰/۰۷	PC4

همان طور که در جدول فوق دیده می‌شود مقدار ویژه باند ۳ در مولفه اصلی سوم منفی بوده در حالی که مقدار ویژه باند ۱ مقداری مثبت دارد، در نتیجه در تصویر حاصل از مولفه اصلی سوم مناطق دارای اکسید آهن به رنگ تیره دیده می‌شوند (شکل ۵-۸). برای روشن نشان دادن مناطق دارای اکسید آهن در تصویر حاصل از مولفه اصلی سوم باید آن را در عدد منفی یک ضرب نمود یعنی مولفه اصلی سوم را معکوس نمود (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۸: تصویر حاصل از مولفه اصلی سوم که مناطق دارای اکسید آهن در آن به رنگ تیره دیده می‌شوند



شکل ۵-۹: تصویر حاصل از منفی کردن مولفه اصلی سوم که مناطق دارای اکسید آهن در آن به رنگ روشن دیده می‌شوند

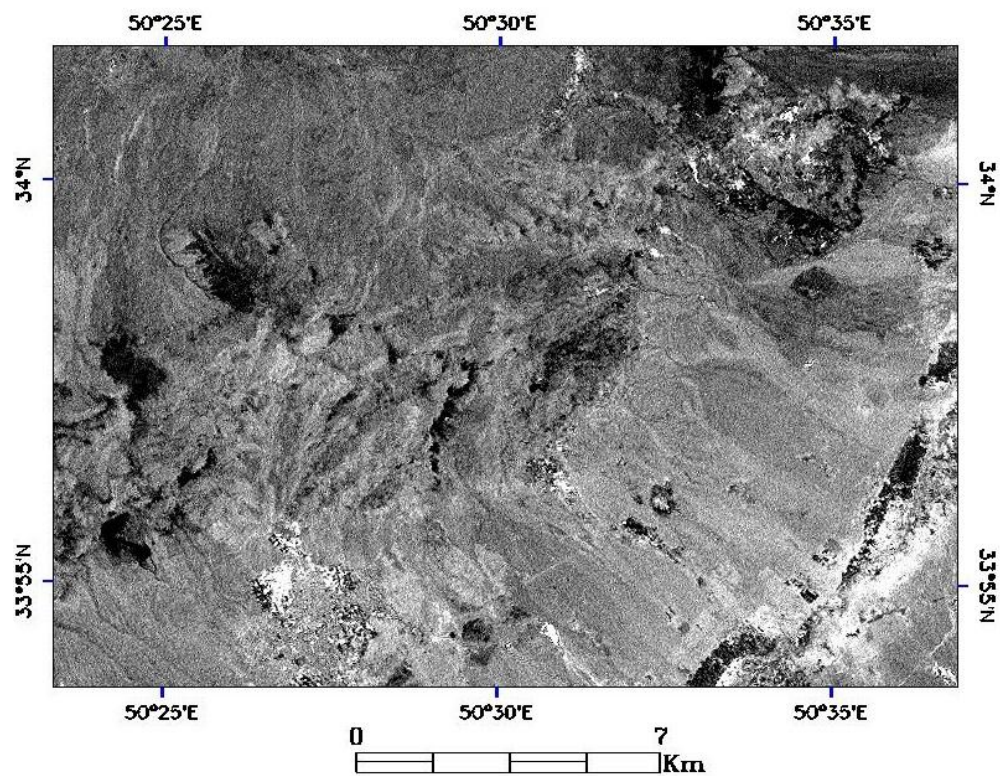
برای شناسایی کانی‌های رسی تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ داده-های حاصل از سنجنده ETM+ انجام می‌شود. سپس مولفه اصلی که در آن اختلاف مقادیر ویژه باندهای ۷ و ۵ بیشینه است برای آشکارسازی گسترش کانی‌های رسی در سطح زمین انتخاب می‌شود [Loughlin, 1991].

جدول (۵-۲) مقادیر ویژه حاصل انجام تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱، ۴، ۵ و ۷ را برای شناسایی مناطق دارای کانی‌های رسی در منطقه مورد نظر نشان می‌دهد. با توجه به این جدول در PC4 بیشترین اختلاف بین مقادیر ویژه باندهای ۵ و ۷ وجود دارد.

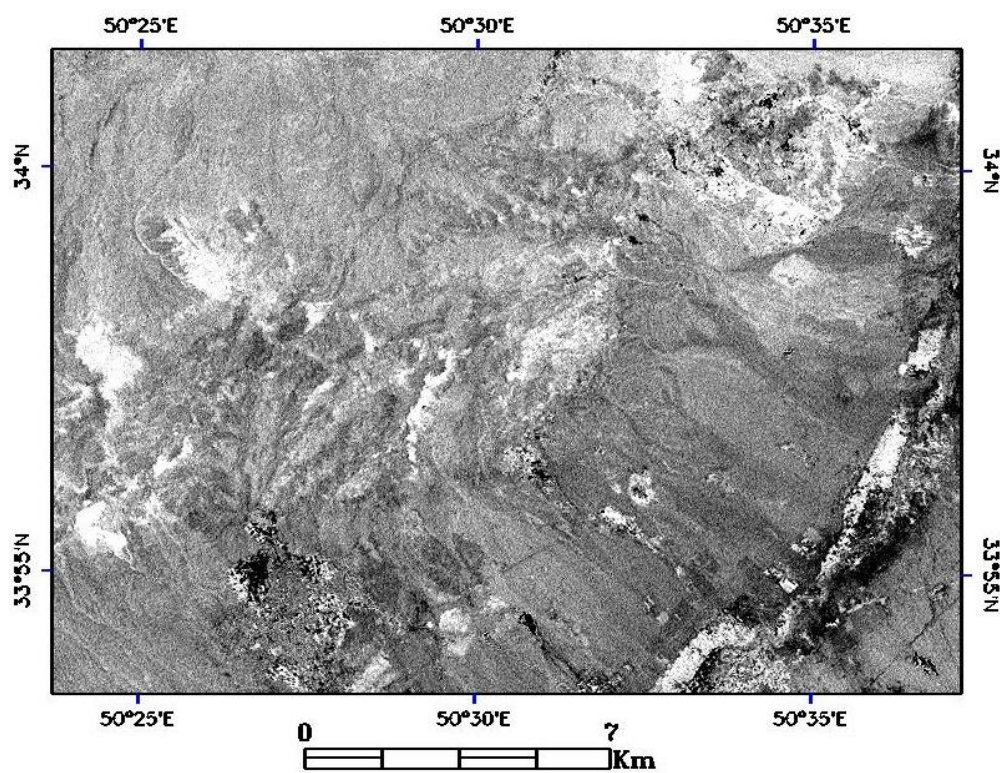
جدول ۵-۲: مقدار ویژه‌های محاسبه شده برای مولفه‌های اصلی به منظور شناسایی مناطق دارای کانی‌های رسی

باند ۷	باند ۵	باند ۴	باند ۱	بردار ویژه
۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۳۲	۰/۴۳	PC1
-۰/۳۱	-۰/۴	۰/۱۸	۰/۸۴	PC2
۰/۵۱	-۰/۲۱	-۰/۷۹	۰/۲۶	PC3
۰/۵۸	-۰/۶۳	۰/۴۸	-۰/۱۸	PC4

در PC4 مقدار ویژه مربوط به باند ۵ منفی بوده و مقدار ویژه مربوط به باند ۷ مثبت است. بنابراین در تصویر به وجود آمده از PC4 مناطقی از سطح زمین که کانی‌های رسی در آن‌ها پراکنده هستند با تن رنگی تیره دیده می‌شوند (شکل ۵-۱۰). برای اینکه این مناطق از سطح زمین به رنگ روشن در تصویر دیده شوند، می‌توان PC4 را در عدد منفی یک ضرب نمود. در تصویر حاصل مناطقی از سطح زمین که کانی‌های رسی در آن‌ها پراکنده می‌باشند، به رنگ روشن دیده خواهد شد (شکل ۵-۱۱).

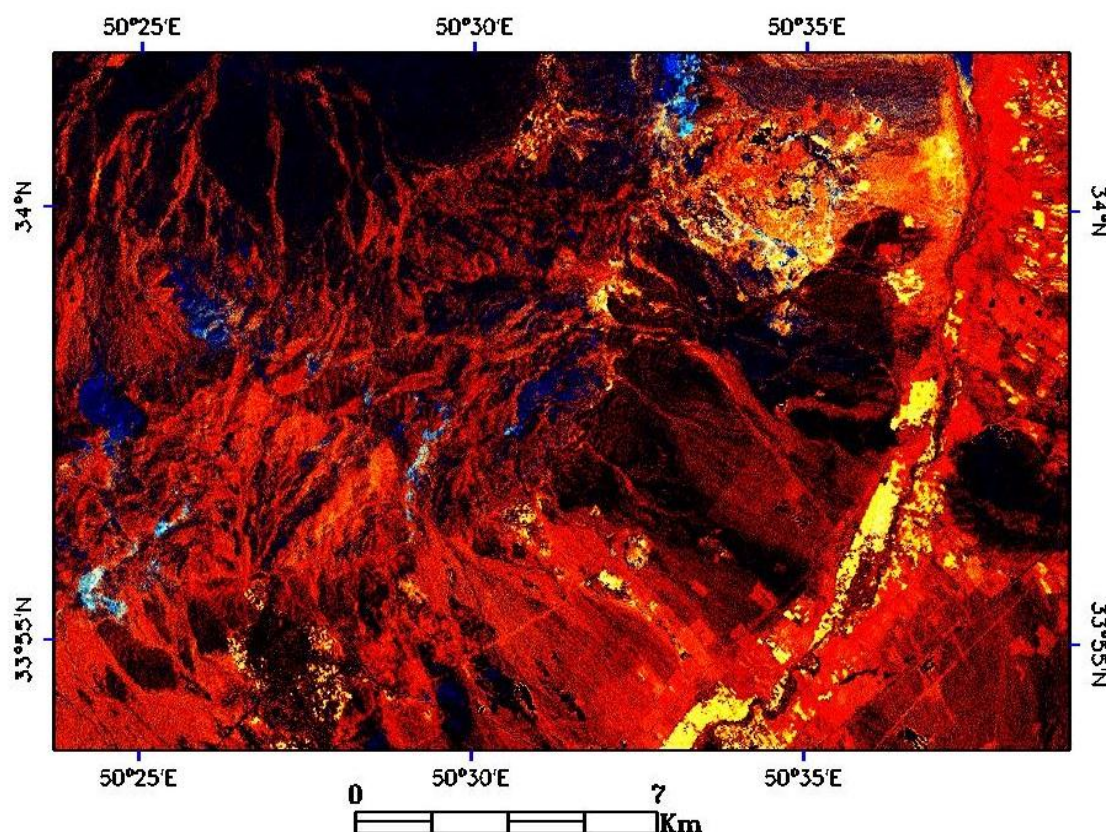


شکل ۵-۱۰: تصویر حاصل از (PC4) برای شناسایی مناطق دارای کانی‌های رسی



شکل ۵-۱۱: تصویر حاصل از (PC4-) برای شناسایی مناطق دارای کانی‌های رسی

برای شناسایی مناطق دگرسانی که در آن‌ها هم کانی‌های رسی و هم اکسیدهای آهن وجود دارد می‌توان از تصاویری که توسط آن‌ها مناطق دارای اکسیدهای آهن (شکل ۵-۹) و مناطق دارای کانی‌های رسی (شکل ۵-۱۱) شناسایی شد، میانگین گرفت [Ranjbar et al. 2003]. به این ترتیب اگر بخواهیم هر دو گروه از کانی‌ها شناسایی شود، از تصاویر تهیه شده قبلی (شکل‌های ۵-۹ و ۵-۱۱ و همچنین میانگین آن‌ها) در محیط قرمز، سبز و آبی تصویر جدیدی تهیه و بارسازی شده است، به این معنی که این تصویر با قرار دادن تصویر اکسیدهای آهن در محیط قرمز، تصویر کانی‌های رسی در محیط آبی و تصویر میانگین در محیط سبز ایجاد شده که در آن مناطق دگرسان به رنگ سفید و آبی بسیار کم رنگ قابل مشاهده است (شکل ۵-۱۲).



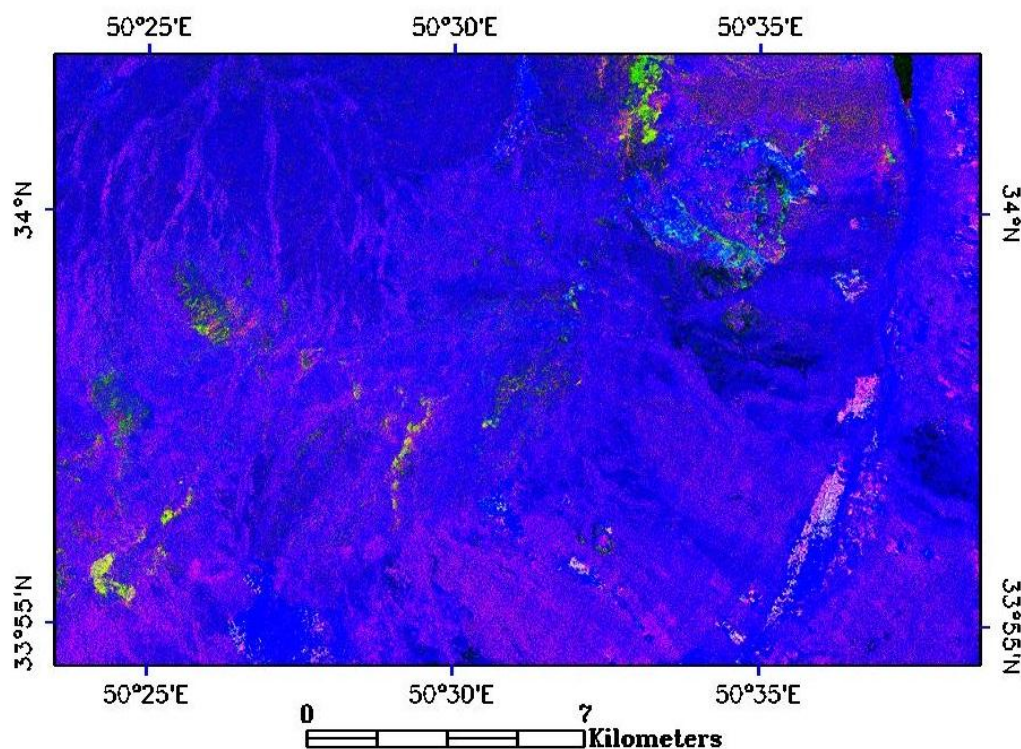
شکل ۵-۱۲: تصویر رنگی حاصل از نمایش تصویر نمایان کننده اکسیدهای آهن به رنگ قرمز، تصویر نمایان کننده کانی‌های رسی به رنگ آبی و میانگین این دو تصویر به رنگ سبز. مناطق به شدت دگرسان شده به رنگ روشن دیده می‌شوند.

۵-۳-۴- آشکارسازی تصویر به روش کمترین مربعات

در این روش فرض بر این است که باندهای استفاده شده به عنوان مقادیر ورودی مثل متغیرهای یک عبارت خطی رفتار می‌کنند و مقدار حاصله از این عبارت خطی، باند تخمین زده شده است. همان طور که می‌دانیم، تفاوت بین باند تخمینی و باند واقعی، باند باقی‌مانده را تشکیل می‌دهد. مشکل وجود گیاهانی که در باندهای استفاده شده برای تشخیص کانی‌های رسی، دارای انعکاس هستند، به کار می‌رود. گیاهان در باند تخمینی به وسیله اطلاعات انعکاسی سایر باندها مشخص می‌شوند. کانی‌هایی که بیشترین انعکاس را در یک باند خاص دارند در باند تخمینی انعکاس بالایی از خود نشان نمی‌دهند، در نتیجه با به دست آوردن باند (تصویر) باقی‌مانده این باند می‌توان مناطقی در سطح زمین را که این کانی در آن وجود دارد را در تصویر مشخص نمود. چون کانی‌های رسی در باند ۵ انعکاس بالایی دارند بنابر این از باقی‌مانده باند ۵ می‌توان برای آشکارسازی کانی‌های رسی در تصویر استفاده نمود. به همین ترتیب می‌توان از باقی‌مانده باند ۳ برای آشکارسازی مناطق دارای اکسیدهای آهن، استفاده کرد و باقی‌مانده باند ۴ را برای آشکارسازی پوشش گیاهی به کار گرفت.

به منظور تهیه تصویر از این روش، از ترکیب تصاویر باقی‌مانده باند ۳، باقی‌مانده باند ۵ و باقی‌مانده باند ۴ به ترتیب در محیط قرمز، سبز و آبی استفاده گردید که در این تصویر مناطق دگرسان به رنگ زرد دیده می‌شود (شکل ۵-۱۳).

همان طور که در بخش (۵-۳) دیده شد در منطقه زمین گرمایی محلات و در حدفاصل بین محلات و چشمه‌های آبگرم (حدود ۲۰ کیلومتر) مناطق به شدت دگرسانی وجود دارد که دارای روندی شمال شرقی- جنوب غربی است. این دگرسانی‌ها به موازات سینترهای موجود در منطقه و به موازات کوه‌های شمال محلات قرار گرفته اند. وجود این مناطق دگرسان، نشان دهنده فعالیت‌های زیاد زمین گرمایی در منطقه است. در شمال چشمه‌های آبگرم منطقه وسیعی وجود دارد که به شدت دگرسان شده است، که احتمالاً نشان دهنده اسید سولفات‌ها بودن ترکیب چشمه‌های آبگرم محلات است.



شکل ۵-۱۳: تصویر رنگی تهیه شده با اختصاص باقی مانده باند ۳، باقی مانده باند ۵ و باقی مانده باند ۴ به ترتیب در محیط‌های قرمز، سبز و آبی

۵-۴- شناسایی ساختارهای زمین شناسی منطقه

می‌دانیم که در مطالعه سیستم‌های گرمابی شناسایی ساختارها به ویژه خطواره‌هایی^۱ مثل گسل‌ها و شکستگی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است [Gupta, 1991]. در سیستم‌های زمین گرمایی نحوه قرارگیری و هندسه این خطواره‌ها در انتقال جرم و انرژی تاثیر قابل توجهی دارد.

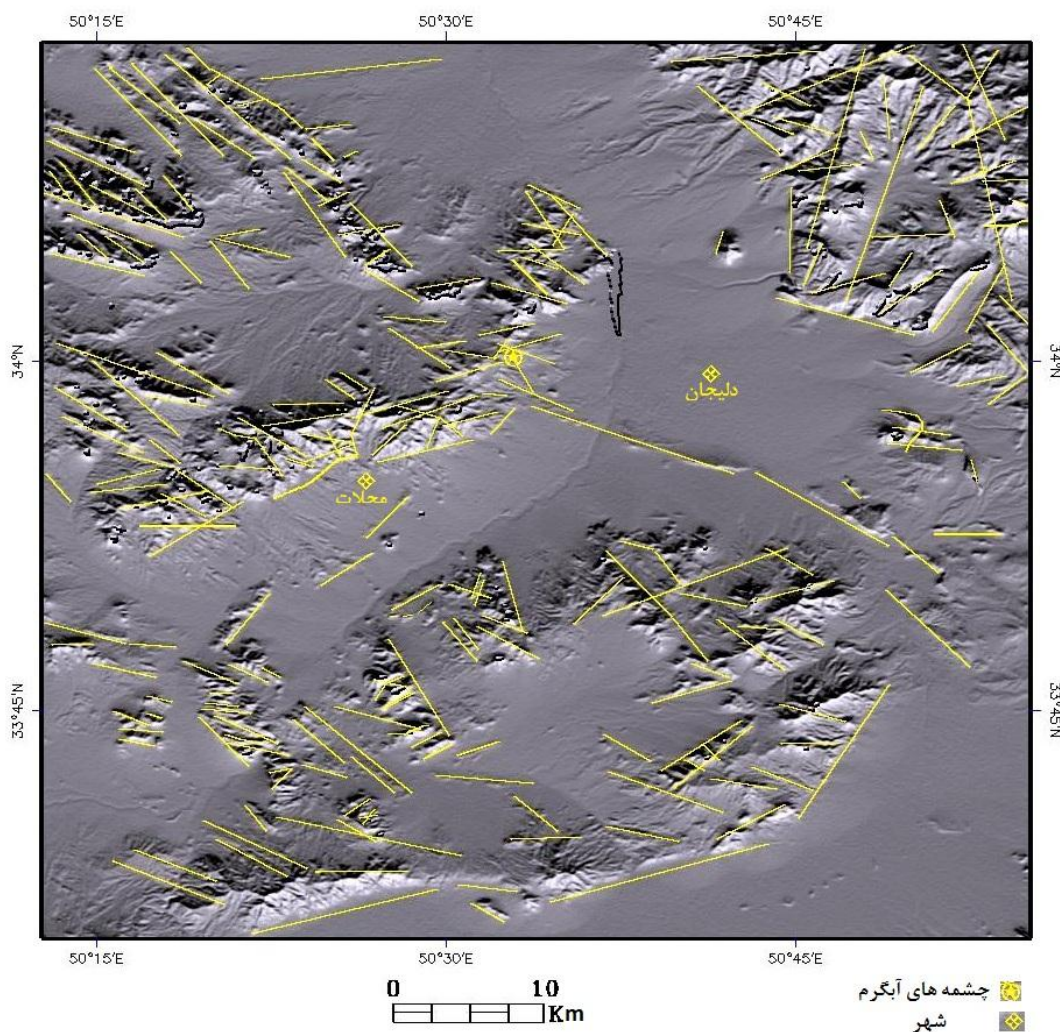
در اینجا برای تعیین پدیده‌های خطی زمین‌شناسی و مورفولوژیکی از مدل ارتفاعی رقومی^۲ SRTM منطقه که از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا تهیه گردید، استفاده شده است. برای شناسایی خطواره‌های مختلف از الگوریتم سایه زنی تصویر در نرم افزار ENVI نسخه ۴/۳ استفاده شد، برای این کار زاویه بین منبع نور و سطح زمین در حالت ۴۰ درجه تنظیم و آزمون قرارگیری

^۱ . Lineaments

^۲ . Digital Elevation Model (DEM)

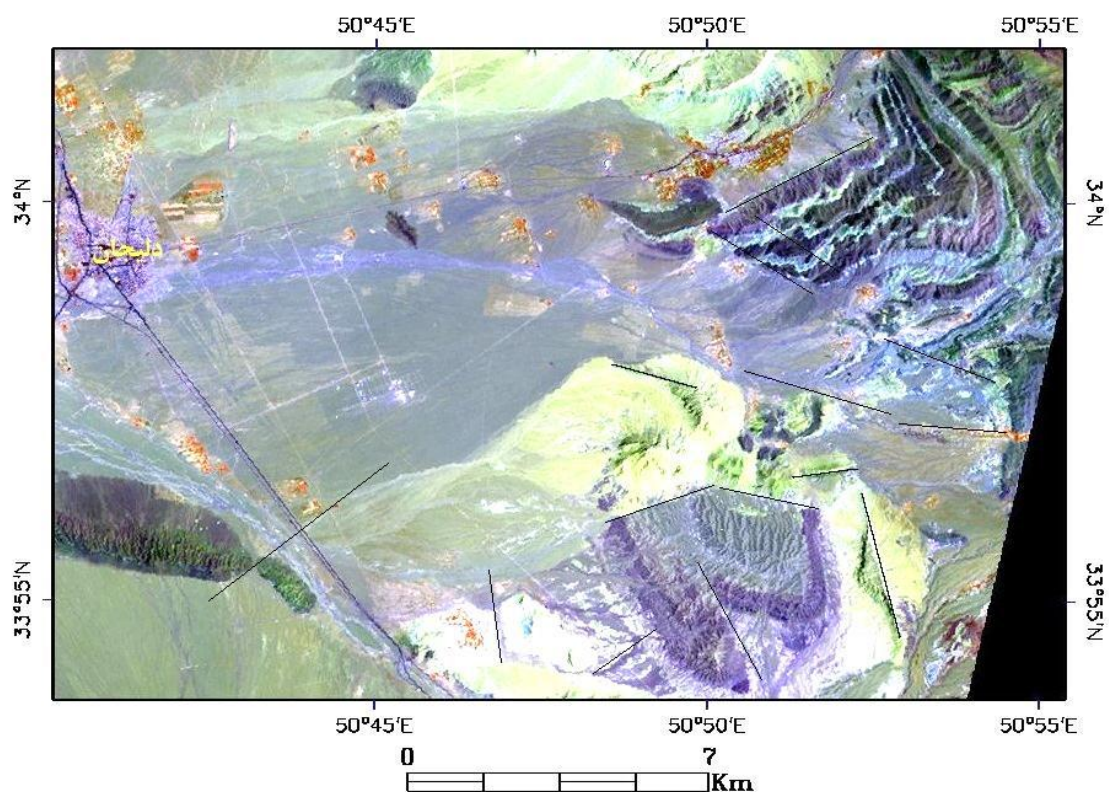
منبع نور نسبت به زمین از ۰ تا ۱۸۰ درجه با گام‌های ۲۰ درجه‌ای تغییر داده شد. ساختارهایی که عمود بر پرتو تابیده شده از منبع نور قرار دارند به شکل خط‌هایی با تن رنگی تیره قابل شناسایی هستند. شکل (۵-۱۴) ترکیبی از تمامی خطواره‌های مختلف یافت شده در آزمایشات مختلف را نشان می‌دهد.

به طور کلی خطواره‌های موجود در منطقه را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. دسته‌ای از خطواره‌ها که روندی شمال غربی-جنوب شرقی دارند و موازی با راندگی زاگرس هستند. دسته دوم از خطواره‌های موجود در منطقه روند شمال شرقی- جنوب غربی دارند که این خطواره‌ها به موازات سینترها و مناطق دگرسان شده در منطقه زمین گرمایی محلات قرار گرفته‌اند.



شکل ۵-۱۴: خطواره‌های اصلی در منطقه زمین گرمایی محلات

با استفاده از تصاویر ترکیبی رنگی کاذب از منطقه و اعمال فیلتر بارزسازی لبه‌ها بر روی این تصاویر نیز می‌توان بعضی از ساختارهای زمین‌شناسی موجود در منطقه را معین نمود. شکل (۵-۱۵) تصویر ترکیب رنگی کاذب حاصل از اختصاص باندهای ۴، ۵ و ۱ در محیط‌های قرمز، سبز و آبی را پس از اعمال فیلتر بارزسازی لبه‌ها نشان می‌دهد. در این تصویر چین خوردگی‌ها و گسل‌های (خطوط سیاه) مناطق شرقی منطقه زمین گرمایی محلات دیده می‌شود.



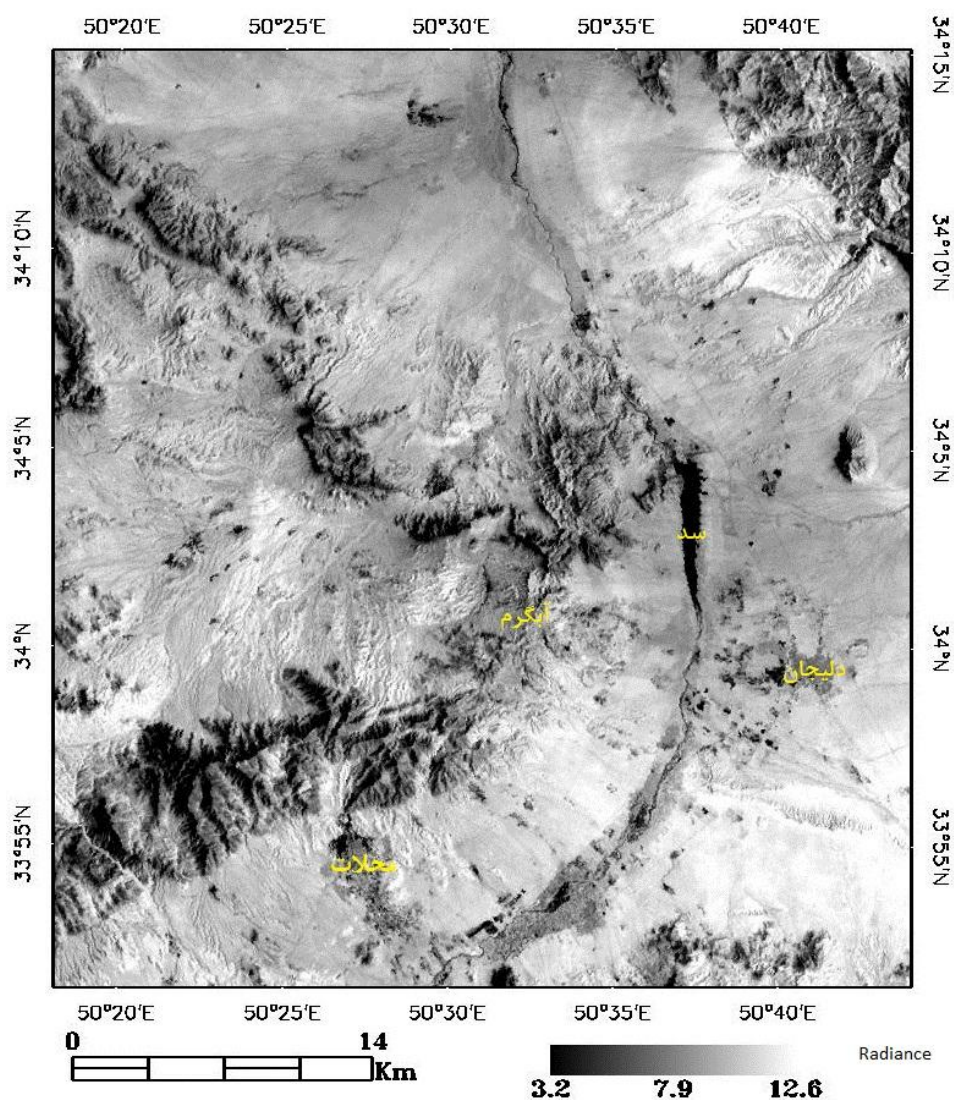
شکل ۵-۱۵: تصویر ترکیب رنگی کاذب حاصل از نمایش باندهای ۴، ۵ و ۱ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی پس از اعمال فیلتر بارزسازی لبه‌ها که ساختارهای چین خورده و گسل‌ها در آن دیده می‌شوند

۵-۵- شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی موجود در منطقه زمین گرمایی محلات

چون تصویر حاصل از باند حرارتی حالت فایده بالا ماهواره لندست ۷ از حساسیت بالایی نسبت به دمای سطح زمین برخوردار است، از این باند برای اندازه‌گیری حرارت جنبشی سطح زمین در منطقه زمین گرمایی محلات استفاده شد. بنابراین ابتدا اعداد رقومی موجود در تصویر به مقادیر تابش تبدیل

شدند (شکل ۵-۱۶). به این ترتیب مقدار حداقل تابش در منطقه مورد مطالعه ۷/۲۳ و مقدار حداکثر تابش ۱۲/۶۵ و میانگین آن ۱۱/۶۳ به دست آمد.

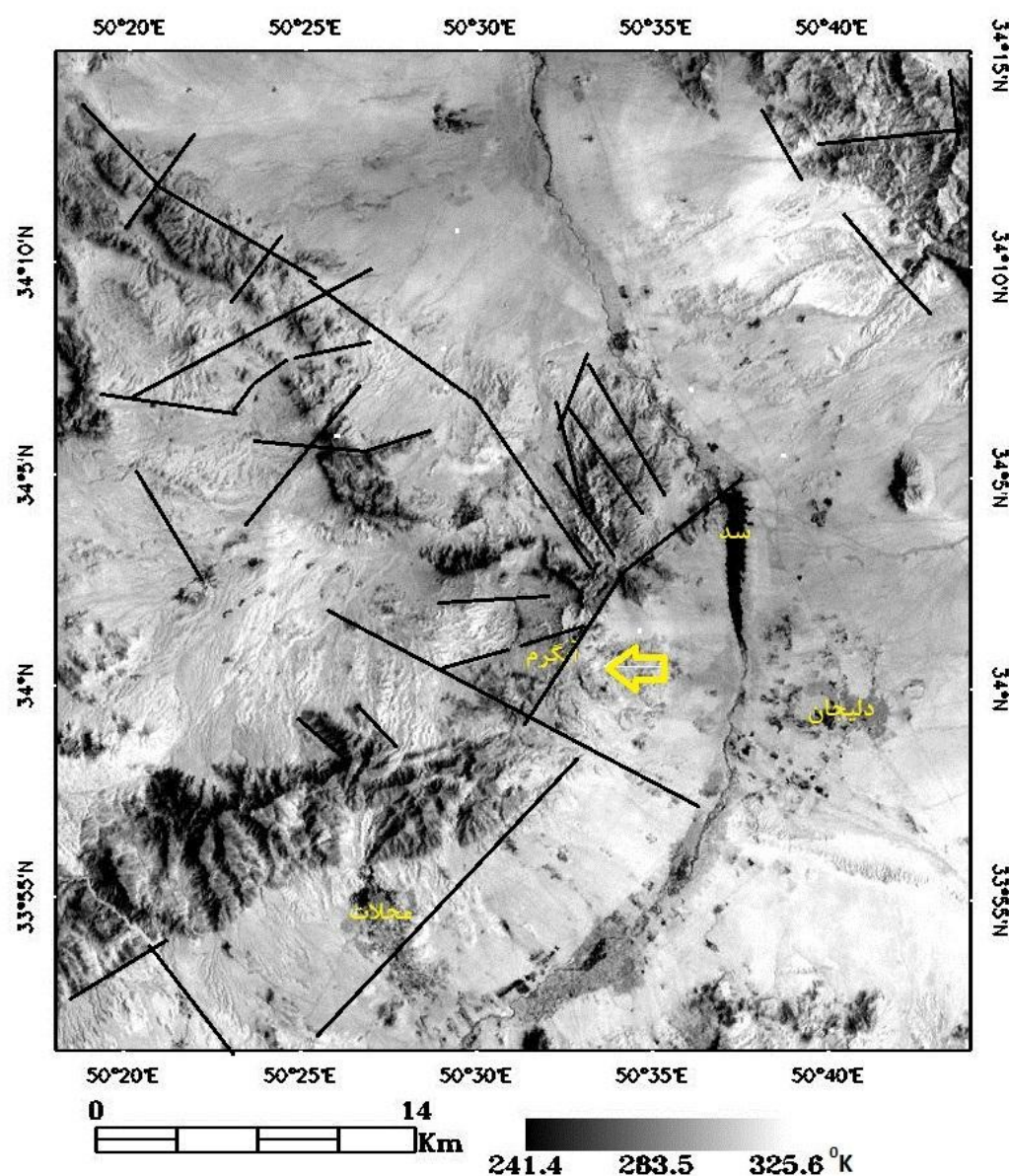
سپس دما در ماهواره محاسبه شده و بعد از آن میزان نشر پذیری منطقه با استفاده از نرم افزار ENVI نسخه ۴/۳ به روش کانال مرجع^۱ محاسبه شد که مقدار آن ۰/۹۶ به دست آمد. سپس در مرحله بعد دمای تابشی سطح زمین محاسبه و در نهایت دمای جنبشی سطح زمین محاسبه گردید (شکل ۵-۱۷).



شکل ۵-۱۶: تصویر حاصل از مقدار تابش از سطح زمین در منطقه زمین گرمایی محللات

^۱ . Reference channel

مطابق شکل (۵-۱۷)، یک ناهنجاری حرارتی در نزدیکی چشمه‌های آبگرم وجود دارد که دمای آن حدود ۳۲۳ درجه کلوین (۵۰ درجه سانتیگراد) است. در اطراف سد به دلیل رطوبت بیشتر خاک دمای سطح زمین کمتر است. دمای سطحی سازند شمشک که در غرب دهکده آبگرم قرار گرفته است و احتمالاً سنگ پوششی سیستم زمین گرمایی محلات است، نسبتاً زیاد است که می‌تواند به دلیل وجود سیالات زمین گرمایی در زیر آن باشد.



شکل ۵-۱۷: دمای جنبشی سطحی محاسبه شده در منطقه زمین گرمایی محلات به درجه کلوین. ناهنجاری حرارتی با فلش زرد رنگ و گسل‌ها با خطوط مشکی نشان داده شده است.

۵-۶- نتیجه گیری

در منطقه زمین گرمایی محلات تعداد زیادی سینتر تراورتنی وجود دارد که در محدوده‌ای با روند شمال شرقی- جنوب غربی و به موازات سازند شمشک قرار گرفته‌اند. اگر فرض نماییم که این تراورتن‌ها در اثر فعالیت‌های چشمه‌های آبگرم راسب شده‌اند می‌توان نتیجه گرفت که سیستم زمین گرمایی محلات یک سیستم قدیمی است که در آن گاز دی اکسید کربن وارد آبگرم شده و باعث اسیدی شدن این آبها شده است، این آبهای اسیدی سنگ‌های کربناته را در مسیر خود حل کرده و به سطح زمین آورده و در آنجا این کربنات‌ها به صورت کربنات کلسیم راسب شده‌اند. سنگ‌های آذرین نفوذی و توف در شمال غربی چشمه‌های آبگرم در سطح زمین رخنمون دارند که نشان دهنده وجود فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه است، که خود بستری مناسب برای فعالیت‌های زمین گرمایی است. سازند شمشک که در شمال غربی شهرستان محلات و دهکده آبگرم قرار دارد به احتمال زیاد سنگ پوششی منطقه زمین گرمایی محلات را تشکیل می‌دهد و مخزن زمین گرمایی در زیر آن قرار دارد. در منطقه زمین گرمایی محلات و به ویژه در حد فاصل بین شهرستان محلات تا دهکده آبگرم دگرسانی‌های رسی فراوانی وجود دارد که نحوه قرارگیری این دگرسانی‌ها نیز روندی شمال شرقی- جنوب غربی دارد. در شمال دهکده آبگرم که چشمه‌ها در آن قرار دارند منطقه دگرسان شده وسیعی قرار دارد. وجود دگرسانی‌های فراوان رسی در منطقه نشان دهنده ترکیب اسید- سولفات چشمه‌های آبگرم در منطقه است.

دو دسته خطواره یکی با روند شمال غربی- جنوب شرقی که به موازات زون سنندج سیرجان است و دیگری با روند شمال شرقی- جنوب غربی در منطقه وجود دارد. با توجه به قرارگیری مناطق دگرسان شده، سینترهای تراورتنی و خطواره‌ها با روندی شمال شرقی- جنوب غربی می‌توان نتیجه گرفت که گسلی عمیق با این روند در این منطقه وجود داشته که به وسیله آن سیالات گرمایی به سطح زمین راه می‌یابند. این گسل به موازات سازند شمشک قرار گرفته است. وجود چین خوردگی‌ها

و گسل‌های فراوان در منطقه نشان دهنده فعال بودن این منطقه از نظر تکتونیکی می‌باشد. ناهنجاری حرارتی واضحی در منطقه و در محل چشمه‌های آبگرم یافت می‌شود. پس از ارائه نتایج حاصل از بررسی‌های سنجش از دور منطقه زمین‌گرمایی محلات در این فصل، در فصل بعد نتایج حاصل از این بررسی‌ها با استفاده از داده‌های مغناطیس‌هوایی و هیدروژئوشیمیایی منطقه، اعتبارسنجی می‌شود.

فصل ششم

اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی

و داده‌های هیدروژنوشیمیایی منطقه

۶-۱- مقدمه

در این بخش نتایج حاصل از کاربرد روش‌های مختلف سنجش از دور را با استفاده از نتایج حاصل از روش‌های اکتشافی دیگر نظیر مغناطیس سنجی هوایی و هیدروژنوشیمیایی اعتبارسنجی می‌شود. در این فصل ابتدا روش مغناطیس سنجی هوایی و کاربرد آن در اکتشاف منابع زمین گرمایی به طور مختصر تشریح می‌شود. سپس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مغناطیس هوایی منطقه ارائه شده و با نتایج حاصل از سنجش از دور مقایسه می‌شوند. در آخر روش هیدروژنوشیمیایی و کاربرد آن در اکتشاف منابع زمین گرمایی نیز به اختصار بررسی شده، سپس نتایج حاصل از این روش با نتایج به دست آمده از سنجش از دور مقایسه می‌شوند.

۶-۲- اعتبارسنجی نتایج حاصل از سنجش از دور با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی

از بررسی تغییرات فضایی میدان مغناطیسی بر روی سطح زمین به عنوان یک روش ژئوفیزیکی در اکتشاف منابع زمین گرمایی استفاده شده است [Manzella, 2000]. هدف روش مغناطیس سنجی، بررسی زمین شناسی زیر سطحی بر اساس ناهنجاری‌های موجود در میدان مغناطیسی زمین می باشد که این ناهنجاری‌ها به خاطر خواص مغناطیسی سنگ‌های زمین به وجود می‌آیند. عوامل اصلی آنومالی‌های مغناطیسی شامل دایک‌ها، گسل‌ها، توده‌های نفوذی و جریان‌های گدازه^۱ می‌باشند [Mariita, 2009].

بیشتر برداشت‌های مغناطیس سنجی در هوا توسط سنجنده‌هایی که به هواپیما و یا بالگرد (پرنده) متصل است، انجام می‌شود. برداشت‌های مغناطیس سنجی هوایی سریع و از نظر اقتصادی با صرفه هستند، عمدتاً هزینه این برداشت‌ها در هر کیلومتر ۴۰ درصد کمتر از هزینه برداشت‌های زمینی است. با این روش می‌توان مناطق وسیعی را به سرعت برداشت نمود بدون اینکه هزینه‌ای برای اعزام نیرو به منطقه مورد مطالعه پرداخت شود. به کمک این روش می‌توان مناطقی که برای برداشت‌های زمینی غیر قابل دسترس هستند را برداشت نمود. بزرگترین مسئله در برداشت‌های هوابرد تعیین

^۱ . Lava flows

موقعیت هواپیما در حین برداشت است که امروزه این مشکل با وجود سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) تا حدود زیادی حل شده است [Kearey et al. 2002].

دراکتشاف مناطق زمین گرمایی، برداشت‌های مغناطیس‌سنجی بیشتر برای مشخص کردن توده‌های نفوذی پنهان و تخمین عمق احتمالی آن‌ها، و یا برای مشخص کردن دایک‌ها و گسل‌های پنهان انجام می‌شوند [Mwangi, 2007; Mariita, 2009; Georgsson, 2009]. همچنین پیمایش مغناطیس‌سنجی برای یافتن مناطقی که در آن‌ها خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها به دلیل فعالیت‌های گرمایی کم است، استفاده می‌شود. اندازه‌گیری‌ها برای ساختارهای محلی مثل گسل‌ها و دایک‌های مشخص روی زمین و بر روی پرفیل‌های موازی و یا یک شبکه انجام می‌شود. در اندازه‌گیری‌های مغناطیس‌سنجی که هدف آن آشکارسازی و تهیه نقشه ناهنجاری‌های بزرگ مثل توده‌های نفوذی عمیق و حوزه‌های رسوبی می‌باشد، از روش مغناطیس‌سنجی هوابرد استفاده می‌شود که در آن ارتفاع پرواز و فاصله‌ی بین خطوط پروازی به چگالی مورد نیاز داده‌ها و توپوگرافی سطح زمین بستگی دارد. در انتها نتایج معمولاً به شکل نقشه‌های کنتوری و یا نیم رخ‌هایی نشان داده می‌شوند، و از روش‌های فیلتر کردن پیشرفته می‌توان برای نمایش و جداسازی ناهنجاری‌ها استفاده کرد [Georgsson, 2009].

در این قسمت با استفاده از داده‌های مغناطیس‌هوایی منطقه زمین گرمایی محلات محل توده-های نفوذی موجود در منطقه، مناطقی که به دلایل فعالیت‌های زمین گرمایی و دگرسانی خاصیت مغناطیسی سنگ‌های آن‌ها کم شده است و گسل‌های اصلی منطقه شناسایی شده و با نتایج حاصل از تفسیر داده‌های سنجش از دور مقایسه می‌شود.

۶-۲-۱- داده‌ها و نرم افزار

بین سال‌های ۱۹۷۴ و ۱۹۷۷ میلادی دو برداشت مغناطیس‌هوابرد با حساسیت بالا توسط شرکت ایرو سرویس تگزاس^۱ برای سازمان زمین شناسی انجام گرفته است که در مجموع بیشتر قسمت‌های ایران را پوشش می‌دهد. هدف از انجام این کار به دست آوردن اطلاعات بیشتری از تکتونیک و زمین

^۱. Aero Service Houston, Texas

شناسی ناحیه‌ای ایران و تعیین مناطق مستعد جهت اکتشاف تفصیلی مواد معدنی و هیدروکربنها بود. فاصله بین خطوط پرواز در این برداشت‌ها ۷/۵ کیلومتر و فاصله خطوط کنترلی^۱ ۴۰ کیلومتر است. هواپیمای به کار گرفته شده یک هدایت‌گر هوایی دو موتوره است که یک مغناطیس سنج بخار سزیم با حساسیت ثبت ۰/۰۲ گاما را حمل می‌کرده است [پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۸].

برای به دست آوردن داده‌های مغناطیس هوایی منطقه زمین‌گرمایی محلات ابتدا دو نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مغناطیس هوایی قم و گلپایگان از سازمان زمین شناسی تهیه شد، پس از زمین مرجع کردن و موزائیک کردن این دو نقشه، به وسیله نرم افزار Surfer نسخه ۹ رقومی شده و داده‌ها استخراج شدند.

علاوه بر این، برای تفسیر کیفی و تهیه نقشه‌های مربوطه، داده‌های مغناطیس هوایی منطقه به وسیله نرم افزار Oasis Montaj نسخه ۶/۴/۱ شرکت Geosoft انجام گردیده. برای نمایش نقشه‌ها در این نرم افزار از قابلیت سایه رنگی برجسته^۲ استفاده شده است.

۶-۲-۲- نقشه‌های ناهنجاری میدان مغناطیسی منطقه زمین گرمایی محلات

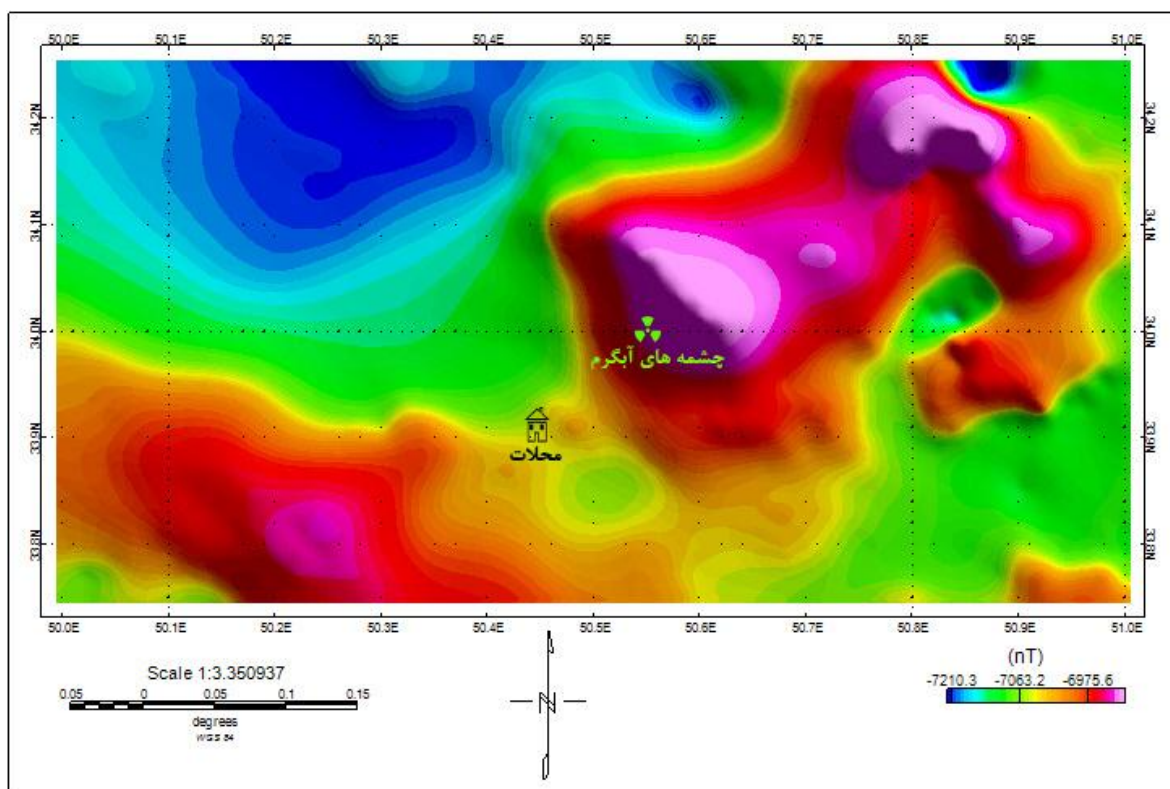
برای تهیه نقشه‌های ناهنجاری میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه ابتدا اثرات میدان مغناطیسی مربوط به هسته زمین توسط نرم افزار IGRF^۳ محاسبه شده و از داده‌ها کسر گردید. در نتیجه مقادیر باقیمانده مربوط به ناهنجاری‌های موجود در منطقه است. سپس برای تهیه نقشه ناهنجاری میدان کل مغناطیسی منطقه داده‌ها با استفاده از روش کریجینگ^۴ شبکه‌بندی می‌شوند (شکل ۶-۱).

^۱ . Tie Line

^۲ . Color Shaded Relief

^۳ . International Geomagnetic Reference Field

^۴ . Kriging



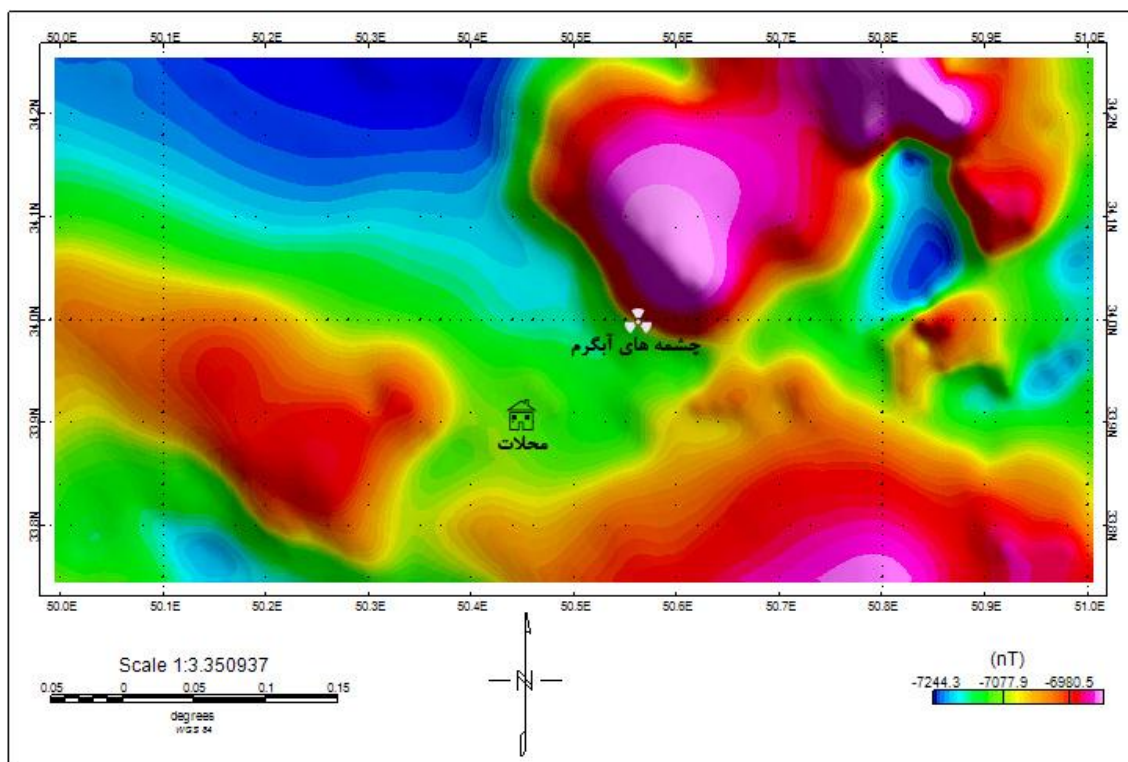
شکل ۶-۱: نقشه ناهنجاری میدان کل مغناطیس منطقه زمین گرمایی محلات

به دلیل وجود زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین، ناهنجاری‌های مشاهده شده در نقشه ناهنجاری کل مغناطیسی درست در بالای محل چشمه‌های به وجود آورنده ناهنجاری‌ها قرار نمی‌گیرند. در نتیجه زوایای انحراف مغناطیسی^۱ ($۵^{\circ}۳'$) و میل^۲ ($۵۲^{\circ}۴۷'$) به وسیله نرم افزار IGRF برای منطقه مورد نظر مشخص شده و با استفاده از این زوایا و فیلتر برگردان به قطب^۳ نرم افزار استفاده شده در تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی، داده‌های مغناطیس به شرایط میدان مغناطیسی زمین در قطب شمال برگردانده می‌شوند. در نهایت نقشه برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه زمین گرمایی محلات به دست می‌آید (شکل ۶-۲).

^۱ . Declination

^۲ . Inclination

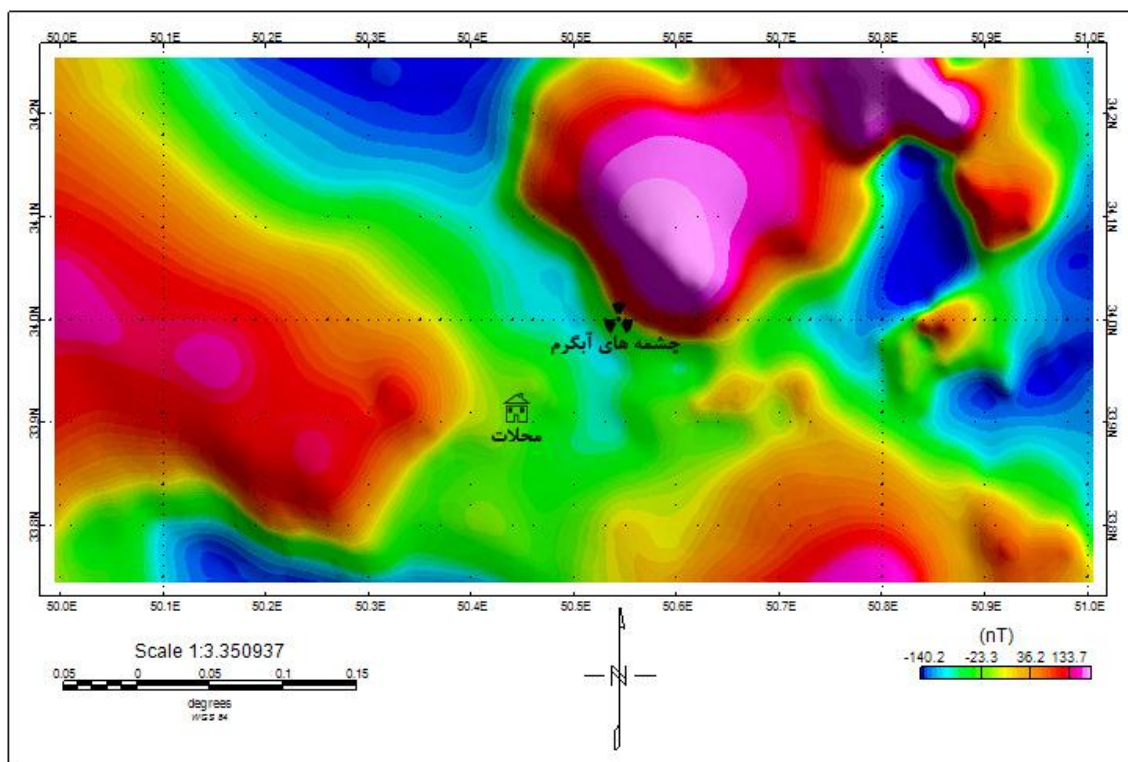
^۳ . Reduction to Pole



شکل ۶-۲: نقشه برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه زمین گرمایی محلات

با حذف روند ناحیه‌ای از نقشه میدان مغناطیسی کل می‌توان ناهنجاری‌های محلی را بهتر آشکار نمود، که به آن نقشه باقی‌مانده گویند. شکل (۶-۳) نقشه باقیمانده داده‌های برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه زمین گرمایی محلات را نشان می‌دهد، در این تصویر روند ناحیه‌ای با استفاده از روش سطح روند درجه دوم تعیین شده است. بالا بودن مغناطیس در شمال چشمه‌های آبگرم نشان دهنده وجود سنگ‌های آذرین در این منطقه است. همان طور که در شکل (۵-۴) نیز دیده شد، سنگ‌های آذرین مثل گرانیت با سن میوسن و توف به سن ائوسن در شمال چشمه‌های آبگرم در سطح زمین برونزدگی دارند.

در قسمت‌های شمال غربی منطقه زمین گرمایی محلات منطقه‌ای با مغناطیس کم قابل تشخیص است که به احتمال زیاد به دلیل وجود منبع حرارتی با دمای بالا (توده نفوذی داغ) و فعالیت‌های زمین گرمایی در این منطقه سنگ‌ها تا حدودی خاصیت مغناطیسی خود را از دست داده‌اند.



شکل ۳-۶: نقشه باقیمانده داده‌های برگردان به قطب میدان مغناطیسی منطقه زمین گرمایی محلات

مطابق شکل (۳-۶)، منطقه‌ای با مغناطیس نسبتاً کم و با روند شمال غرب-جنوب شرق در مجاورت چشمه‌های آبگرم قرار دارد که به احتمال زیاد به دلیل وجود آب داغ در این ناحیه سنگ‌ها تا حدودی دگرسان شده و خاصیت مغناطیسی خود را از دست داده‌اند. این نکته می‌تواند اعتبار نتایج به دست آمده از قسمت (۳-۵) یعنی وجود مناطق دگرسان شده در حد فاصل بین چشمه‌های آبگرم و محلات را تایید کرده و علت آن را توجیه نماید.

۳-۲-۶- شناسایی گسل‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های مغناطیسی هوایی

قدم بعدی در بررسی داده‌های مغناطیسی هوایی محلات شناسایی گسل‌ها توسط این داده‌ها می‌باشد. در اینجا برای شناسایی گسل‌ها از فیلتر فاز محلی^۱ زاویه تمایل^۲ استفاده شده است. با اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی داده‌های مغناطیسی می‌توان گسل‌ها را شناسایی نمود، بدین صورت که

^۱ . Local Phase

^۲ . Tilt Angle (TA)

مقدار زاویه تمایل در حالی که زاویه میل^۱ میدان مغناطیسی ۹۰° است، بر روی گسل صفر است. به کمک زاویه تمایل می‌توان تا حدودی به جهت شیب گسل نیز پی برد چون از محل گسل در جهت شیب مقدار زاویه تمایل منفی است [Verduzco et al. 2004]. میلر و سینگ (۱۹۹۴) زاویه تمایل را به شکل زیر معرفی نمودند [Cooper and Cowan, 2008]:

$$TA = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \right) \quad (\text{رابطه ۶-۱})$$

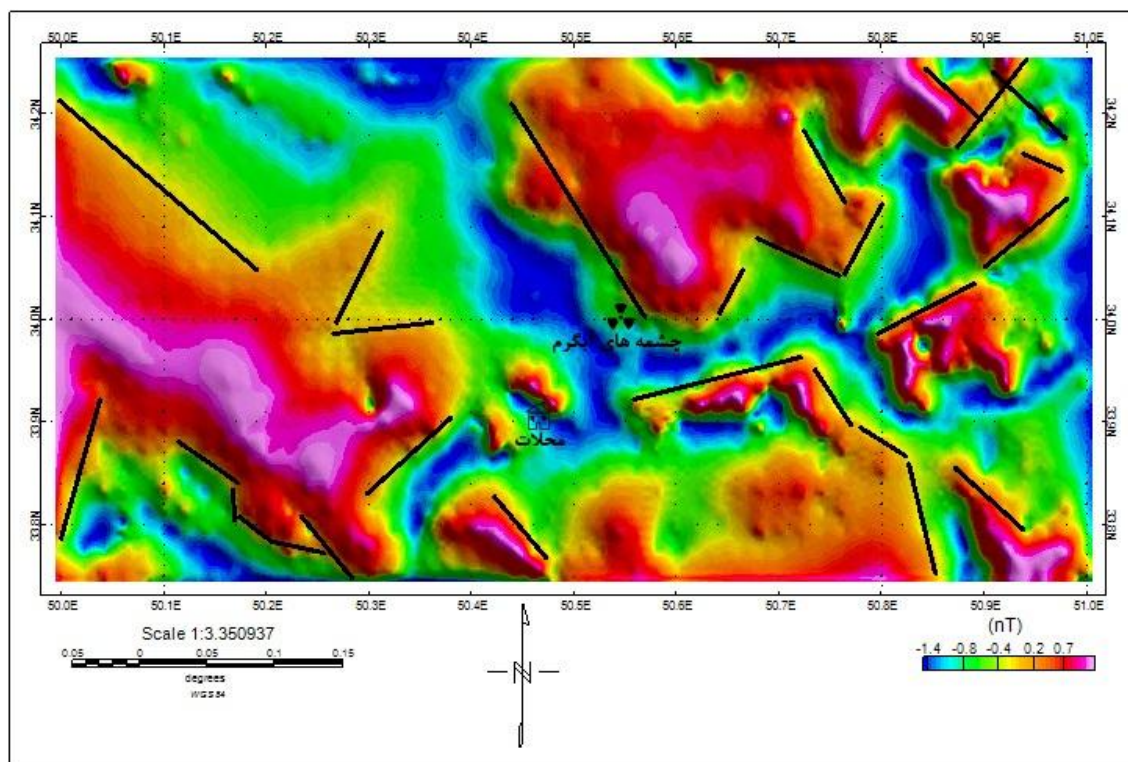
که در رابطه فوق TA زاویه تمایل، $\frac{\partial f}{\partial x}$ ، $\frac{\partial f}{\partial y}$ و $\frac{\partial f}{\partial z}$ مشتق‌های میدان مغناطیسی در جهت x،

y و z هستند. مقادیر زاویه تمایل با صرف نظر از مقدار مشتقات افقی و عمودی در بازه $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$

قرار می‌گیرند.

شکل (۴-۶) نقشه زاویه تمایل داده‌های برگردان به قطب شده منطقه زمین گرمایی محلات را نشان می‌دهد. گسل‌های اصلی موجود در این منطقه با خطوط مشکی پر رنگ نشان داده شده‌اند. در این شکل دو نوع گسل وجود دارد یکی گسل‌هایی که روند آن شمال شرقی- جنوب غربی است که از جنوب شهر محلات و چشمه‌های آبگرم عبور می‌کند و نوع دوم گسل‌هایی که روند آن‌ها شمال غربی- جنوب شرقی است. در بین گسل‌های نوع دوم گسلی وجود دارد که از مجاورت چشمه‌های آبگرم عبور می‌کند که با توجه به موقعیت قرارگیری مقادیر زاویه تمایل منفی می‌توان نتیجه گرفت که شیب گسل در جهت جنوب غربی است. با توجه به شکل (۳-۶) به احتمال زیاد این گسل آب‌های گرم شده توسط منبع گرمایی موجود در منطقه را به محل چشمه‌های آبگرم منتقل می‌کند. همان طور که دیده می‌شود انطباق خوبی بین نتایج این قسمت و نتایج حاصل از شناسایی ساختارهای زمین شناسی منطقه زمین گرمایی محلات با استفاده از روش‌های سنجش از دور وجود دارد.

^۱ . Inclination



شکل ۶-۴: نقشه زاویه تمایل داده‌های برگردان به قطب شده منطقه زمین گرمایی محلات. گسل‌های اصلی موجود در این منطقه با خطوط مشکی پر رنگ نشان داده شده‌اند

با استفاده از نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مغناطیس‌هوایی منطقه زمین گرمایی محلات، می‌توان گفت که منبع حرارتی اصلی این سیستم زمین گرمایی در شمال غربی چشمه‌های آبگرم قرار گرفته است. این منبع حرارتی دمای آب‌های زیرزمینی اطراف خود را افزایش می‌دهد. این آب‌های گرم از طریق گسلی که تا مجاورت چشمه‌های آبگرم امتداد دارد به این چشمه‌ها می‌رسد. به نظر می‌رسد این آب‌های گرم تا حدودی خاصیت مغناطیس سنگ‌های اطراف گسل را کاهش داده‌اند.

۶-۳- اعتبارسنجی نتایج حاصل از سنجش از دور با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی

هدف اصلی اکتشافات ژئوشیمیایی در مناطق زمین گرمایی به دست آوردن ترکیب سیالات در سیستم زمین گرمایی به منظور کسب اطلاعات دما، منبع و جهت جریان این سیالات است. به کمک این اطلاعات می‌توان مکان مخزن زمین گرمایی را مشخص نمود. با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مطالعات ژئوشیمیایی می‌توان تأثیرات زیست محیطی سیالات زمین گرمایی را بررسی کرد و همچنین می‌توان از این اطلاعات در تشخیص مدل سیستم زمین گرمایی استفاده کرد

[Ármannsson and Fridriksson, 2009]. سیالات زمین گرمایی اولیه سیستم‌های زمین گرمایی دما بالا را نمی‌توان از چشمه‌های آبگرم سطحی به دست آورد. سیالاتی که برای بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی در دسترس هستند که فرآیندهای متعددی مثل جوشش و جدا شدن فازها، سرد شدن، اکسیداسیون و مخلوط شدن روی آن‌ها تاثیر گذاشته است. این سیالات ثانویه موادی هستند که در مطالعات ژئوشیمیایی سطحی مناطق زمین گرمایی مورد بررسی قرار می‌گیرند. سیالات ثانویه زمین گرمایی به چهار دسته اصلی تقسیم بندی می‌شود [Fridriksson and Ármannsson, 2007]:

۱- بخار زمین گرمایی^۱: محل خروج بخار زمین گرمایی یکی از رایج ترین علائم سطحی سیستم‌های زمین گرمایی با آنتالپی بالا هستند. سولفید هیدروژن فراوان ترین گاز موجود در بخار زمین گرمایی است که به وسیله آن می‌توان محل خروج این بخارها را شناسایی نمود. بخارهای زمین گرمایی در محل‌هایی از زمین خارج می‌شوند که آب‌های زمین گرمایی به سطح زمین نمی‌رسند.

۲- محلول‌های زمین گرمایی جوشیده و یا سرد شده^۲: این محلول‌های زمین گرمایی در مناطقی یافت می‌شوند که آب‌های زمین گرمایی به سطح زمین می‌رسند و چشمه‌های آبگرم را به وجود می‌آورند. چشمه‌های آبگرم با محلول‌های زمین گرمایی جوشیده معمولاً pH قلیایی تا خنثی دارند. چشمه‌های آبگرم موجود در سیستم‌های زمین گرمایی با حرارت بالا معمولاً با سینترهای سیلیکاته و کربناته قابل مشاهده شدن شناخته می‌شوند.

۳- محلول‌های ترکیبی^۳: زیرگروه‌های مختلفی از محلول‌های ترکیبی را می‌توان در درون و اطراف مناطق زمین گرمایی یافت. آب‌های غنی از دی اکسید کربن در مناطقی که در آن بخارهای غنی از گاز در سفره‌های آب نزدیک سطح زمین متراکم می‌شوند، به وجود می‌آیند. به طور مشابه آب‌های غنی از دی اکسید کربن می‌توانند از ترکیب محلول‌های زمین گرمایی نجوشیده

¹ . Geothermal Steam

² . Boiled or Cooled Geothermal Solutions

³ . Mixed Solutions

و آب‌های زیرزمینی سرد نیز به وجود آیند. از ترکیب محلول‌های زمین گرمایی جوشیده با آب‌های زیرزمینی، محلولی به وجود می‌آید که گاز موجود در آن کم است اما دما و غلظت عناصر غیر گازی درون آن میانگینی از دما و غلظت این عناصر در محلول زمین گرمایی و آب زیرزمینی است. انواع دیگری از محلول‌های ترکیبی بیشتر در پیرامون سیستم‌های زمین گرمایی یافت می‌شوند که در آن‌ها اختلاف دما و ترکیب شیمیایی بین سیستم زمین گرمایی و سیستم آب‌های زیرزمینی مجاور آن زیاد است.

۴- آب‌های سطحی بخار داغ شده^۱: این آب‌ها معمولاً با pH کم و سولفات زیاد شناخته می‌شوند. که علت آن اکسایش سولفید هیدروژن (H_2S) هنگام واکنش بخار با آب‌های سطحی است. در اثر این اکسایش اسید سولفوریک تولید می‌شود. این آب‌ها معمولاً در اطراف مجاری خروج بخار از زمین یافت می‌شوند. آب‌های سطحی بخار داغ شده می‌توانند مقدار زیادی جامدات محلول داشته باشند اما این جامدات محلول از انحلال سنگ‌های سطحی ایجاد شده‌اند و هیچ اطلاعاتی درباره شرایط سیستم زمین گرمایی ندارند. فرآیند تولید اسید سولفوریک به وسیله اکسایش سولفید هیدروژن در محیط‌های سطحی باعث ایجاد دگرسانی‌های وسیع به ویژه دگرسانی آرژیلیتی در سطح زمین می‌شود.

سطح کاربرد سیالات زمین گرمایی که در اطراف مناطق زمین گرمایی یافت می‌شوند، در ارزیابی منابع زمین گرمایی متفاوت است. بخارها و محلول‌های زمین گرمایی نقش مهمی در تخمین دمای مخازن زمین گرمایی دارند، در حالی که محلول‌های ترکیبی نیز در شرایطی برای تخمین درجه حرارت مخزن زمین گرمایی به کار می‌روند. آب‌های سطحی بخار داغ شده هیچ اطلاعاتی درباره دمای مخزن ندارند ولی دگرسانی‌های وسیعی در سطح زمین ایجاد می‌کنند که از علائم سطحی فعالیت‌های زمین گرمایی است و از آن‌ها می‌توان برای مشخص نمودن ساختارهای سیستم زمین گرمایی استفاده کرد. وجود چشمه‌ها با آب‌های غنی از دی اکسید کربن نشان

¹ . Steam Heated Surface Waters

دهنده حاشیه‌های یک سیستم زمین گرمایی است و بنابراین می‌توان محدوده یک سیستم زمین گرمایی را تعیین نمود. چنین اطلاعاتی در فازهای اولیه عملیات اکتشافی از اهمیت زیادی برخوردار است [Fridriksson and armannsson, 2007].

۶-۳-۱- داده‌های ژئوشیمیایی و نرم افزار

داده‌های مورد استفاده در اینجا نتایج حاصل از نمونه برداری و آنالیز شیمیایی چشمه‌های آبگرم محلات برای عناصر و ترکیب‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سیلیس، سولفات، کلر، بی‌کربنات، بور و لیتیم است که در آن مقدار درجه حرارت، مقدار کل جامدات محلول در آب، pH نمونه‌ها و مقدار هدایت الکتریکی آن‌ها نیز اندازه‌گیری شده است. نمونه‌برداری از این چشمه‌ها در فروردین سال ۱۳۸۸ و توسط کارشناسان مرکز پژوهشگاه نیرو انجام شده است. نتایج حاصل از تجزیه تحلیل شیمیایی شش چشمه آبگرم محلات در جدول (۶-۱) آورده شده است [Porkhial and Nouraliee, 2010].

برای تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی آب چشمه‌های آبگرم این منطقه و رسم نمودارهای مورد نیاز از نرم افزار AqQA شرکت Rockware استفاده گردید.

جدول ۱-۶: نتایج حاصل از تجربه تحلیل شیمیایی چسبدهای آبگرم محلات. (غلظت‌ها به میلی گرم به لیتر است)

نام چشمه	دما (°C)	PH	هدایت الکتریکی (میلی زیمنس بر ثانیه)	SiO ₂	Na	K	Ca	K	S ₀₄	Cl	HCO ₃	B	Li	TDS
آب دنبه	۴۶/۴	۶/۷۱	۲/۴۹	۳۳/۵۴	۹۲	۵/۷	۳۵۵/۲	۶۳/۴	۱۰۶۰/۸	۵۱	۲۰۵	۰/۱۱۹	۰/۳	۱۸۹۸
آب سلیمانیه	۴۶/۴	۶/۷۴	۲/۵۹	۳۲/۶۴	۹۲	۵/۶	۳۶۳/۲	۵۵/۲	۱۰۷/۲	۴۹	۲۱۳/۳	۰/۰۵۳	۰/۳	۱۸۵۷
آب سدا	۴۵/۹	۶/۶۴	۲/۵۷	۳۲/۱۲	۹۲	۵/۷	۳۶۸	۵۵/۲	۱۰۷۰/۳	۵۰	۲۲۴/۵	۰/۱۵۵	۰/۳	۱۸۵۱
آب حکیم	۳۳/۲	۷/۰۴	۲/۰۳	۳۵/۳۷	۹۸	۵/۷	۳۸۴	۵۴/۲	۱۱۴۳/۶	۴۹	۲۰۲/۵	۰/۵۵۵	۰/۴	۱۹۴۲
سرباز	۴۷/۳	۶/۶۹	۲/۵۲	۳۴/۳۵	۹۲	۱۴/۶	۳۶۶/۴	۵۲/۷	۱۰۶۸/۲	۴۹	۲۱۲/۳	۰/۲	۰/۳	۱۸۵۵
شفا	۴۸	۶/۶۳	۲/۵۷	۳۴/۸۴	۹۲	۵/۷	۳۶۸	۵۴/۲	۱۰۷/۴	۵۰	۲۲۲	۰/۰۱۵	۰/۳	۱۸۶۸

۶-۳-۲- رده بندی آب چشمه‌های آبگرم محلات

۶-۳-۲-۱- نمودار مثلثی کلر- سولفات- بی کربنات

یکی از رده بندی‌های اولیه آب‌های زمین گرمایی رده بندی آن‌ها به وسیله آنیون‌های Cl^- و SO_4^{2-} و HCO_3^- است [Giggenbach, 1991]. از این نمودار برای رده‌بندی آب‌های طبیعی نیز استفاده می‌شود. به کمک این نمودار می‌توان آب‌های ناپایدار نابالغ^۱، آب‌های بالغ، آب‌های پیرامونی، آب‌های بخار داغ شده و آب‌های آتشفشانی را از هم جدا کرد.

چون کلر پس از انحلال در سیالات زمین گرمایی باقی‌مانده و در واکنش با سنگ‌ها شرکت نمی‌کند به عنوان ردیاب در اکتشاف منابع زمین گرمایی شناخته می‌شود. هنگامی که کلر در سیالات زمین گرمایی حل شد راسب نشده و به درون سنگ‌ها باز نمی‌گردد و غلظت آن مستقل از غلظت کانی‌های سنگ‌ساز در سیالات زمین گرمایی است. برای تعیین موقعیت یون‌های کلر، سولفات و بی-کربنات در نمودار ابتدا غلظت‌های آن‌ها (C_i) با واحد میلی گرم به لیتر برای هر نمونه باهم جمع می‌شوند [Alkohlani, 2008]:

$$S = C_{cl} + C_{So_4} + C_{HCO_3} \quad (\text{رابطه ۶-۲})$$

در قدم بعدی مقدار هر جزء بر حسب درصد (%) با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$\%Cl = \left(\frac{C_{Cl}}{S} \right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۶-۳})$$

$$\%So_4 = \left(\frac{C_{So_4}}{S} \right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۶-۴})$$

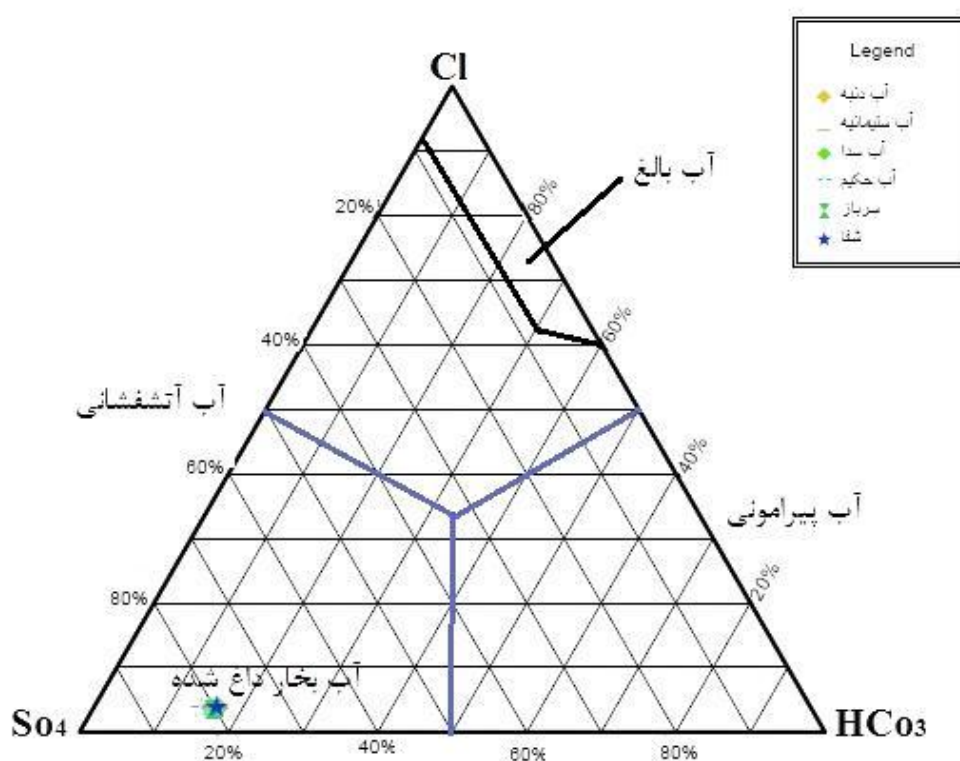
$$\%HCO_3 = \left(\frac{C_{HCO_3}}{S} \right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۶-۵})$$

شکل (۶-۵) موقعیت چشمه‌های آبگرم محلات را در نمودار مثلثی کلر- سولفات- بی کربنات نشان می‌دهد. تقریباً تمام نمونه‌ها در منطقه سولفات بالا و کلر کم قرار گرفته‌اند. بنابراین می‌توان آن‌ها را

^۱ . Immature

جزء آب‌های بخار داغ شده طبقه‌بندی کرد، در حالی که با توجه به جدول (۶-۱) میزان اسیدی بودن این سیالات کم است که دلیل آن می‌تواند عبور این سیالات از روی سنگ‌های کربناته زیر سازند شمشک باشد. وجود این آب‌های بخار داغ شده علت وجود دگرسانی‌های گرمایی یافت شده در منطقه زمین گرمایی محلات توسط روش‌های سنجش از دور را توجیه می‌نماید.

غلظت بی کربنات موجود در داده‌ها مقدار نسبتاً زیادی دارد که این امر نشان می‌دهد که چشمه-های آبگرم محلات در پیرامون سیستم زمین گرمایی قرار گرفته‌اند.



شکل ۶-۵: نمودار مثلثی کلر- سولفات- بی کربنات چشمه‌های آبگرم محلات

۶-۳-۲- نمودار مثلثی برم- کلر- لیتیم

مقدار برم موجود در سیالات زمین گرمایی تا حدودی بیانگر بلوغ یک سیستم زمین گرمایی است؛ چون به خاطر نقطه جوش پایین، این عنصر در مراحل اولیه فعالیت‌های زمین گرمایی آزاد می‌شود. بنابراین سیالات مرتبط با سیستم‌های گرمایی قدیمی‌تر میزان برم کمتری نسبت به سیستم‌های گرمایی جوان‌تر دارد. در اکتشاف سیستم‌های زمین گرمایی از لیتیم به عنوان یک عنصر ردیاب

استفاده می‌شود و به عنوان یک مرجع در ارزیابی منبع احتمالی دو جزء باقیمانده در آب‌های زمین گرمایی، یعنی برم و کلر به کار گرفته می‌شود، چون این فلز قلیایی کمتر تحت تاثیر فرایند انحلال اولیه سنگ‌های عمیق قرار می‌گیرد [Giggenbach, 1991].

برای رسم داده‌ها روی نمودار مثلثی برم-کلر-لیتیم، ابتدا باید جمع غلظت‌های سه جزء برحسب میلی گرم به لیتر را حساب شود:

$$S = \frac{C_{Cl}}{100} + C_{Li} + \frac{C_B}{4} \quad (\text{رابطه ۶-۶})$$

در قدم دوم می‌توان درصد مقادیر $\frac{Cl}{100}$ ، Li و $\frac{B}{4}$ را در نمودارهای مثلثی با توجه به روابط زیر به

دست آورد [Alkohlani, 2008]:

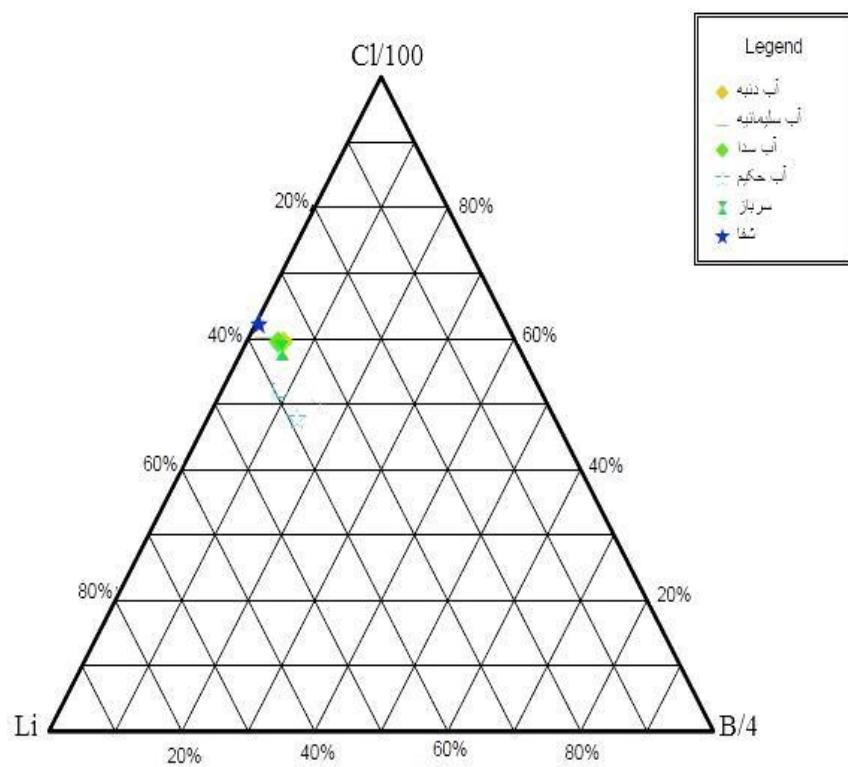
$$\% \frac{Cl}{100} = \frac{C_{Cl}}{S} \quad (\text{رابطه ۶-۷})$$

$$\% Li = \left(\frac{C_{Li}}{S} \right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۶-۸})$$

$$\% \frac{B}{4} = \left(\frac{\frac{C_B}{4}}{S} \right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۶-۹})$$

که در رابطه‌های فوق C_{Li} غلظت لیتیم به میلی گرم بر لیتر، C_{Cl} غلظت کلر به میلی گرم بر لیتر و C_B غلظت برم به میلی گرم بر لیتر است.

شکل (۶-۶) نمودار مثلثی برم، کلر و لیتیم را برای داده‌های چشمه‌های آبگرم محلات نشان می‌دهد. با توجه به این شکل بیشتر داده‌ها نزدیک خط کلر-لیتیم قرار دارند که نشان دهنده قدیمی بودن سیستم زمین گرمایی محلات است، که این نتیجه با نتایج بیان شده در فصل قبل مبنی بر قدیمی بودن سیستم زمین گرمایی محلات منطبق است.



شکل ۶-۶: نمودار مثلثی برم، کلر و لیتیم برای داده‌های چشمه‌های آبگرم محلات

فصل هفتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه گیری

با توجه به هزینه نسبتاً پایین و پوشش وسیع داده‌های سنجش از دور، می‌توان از این داده‌ها در اکتشاف منابع زمین گرمایی استفاده نمود. داده‌های ماهواره‌ای به ویژه در مراحل اولیه اکتشاف منابع زمین گرمایی کاربرد زیادی دارند. با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌توان علائم سطحی فعالیت‌های زمین گرمایی مثل سینترها، مناطق دگرسان شده، ناهنجاری‌های حرارتی سطحی را که در مناطق زمین گرمایی وجود دارند شناسایی و بررسی نمود. یکی دیگر از مهمترین بررسی‌های اکتشافی در مناطق زمین گرمایی شناسایی گسل‌ها و خطواره‌های ساختاری است که با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌توان آنها را شناسایی کرد. با توجه به هزینه کمتر و پوشش وسیع‌تر داده‌های سنجه ETM+ در مقایسه با داده‌های ماهواره استر، بهتر است در مراحل اولیه اکتشاف منابع زمین گرمایی از داده‌های سنجنده ETM+ استفاده شود.

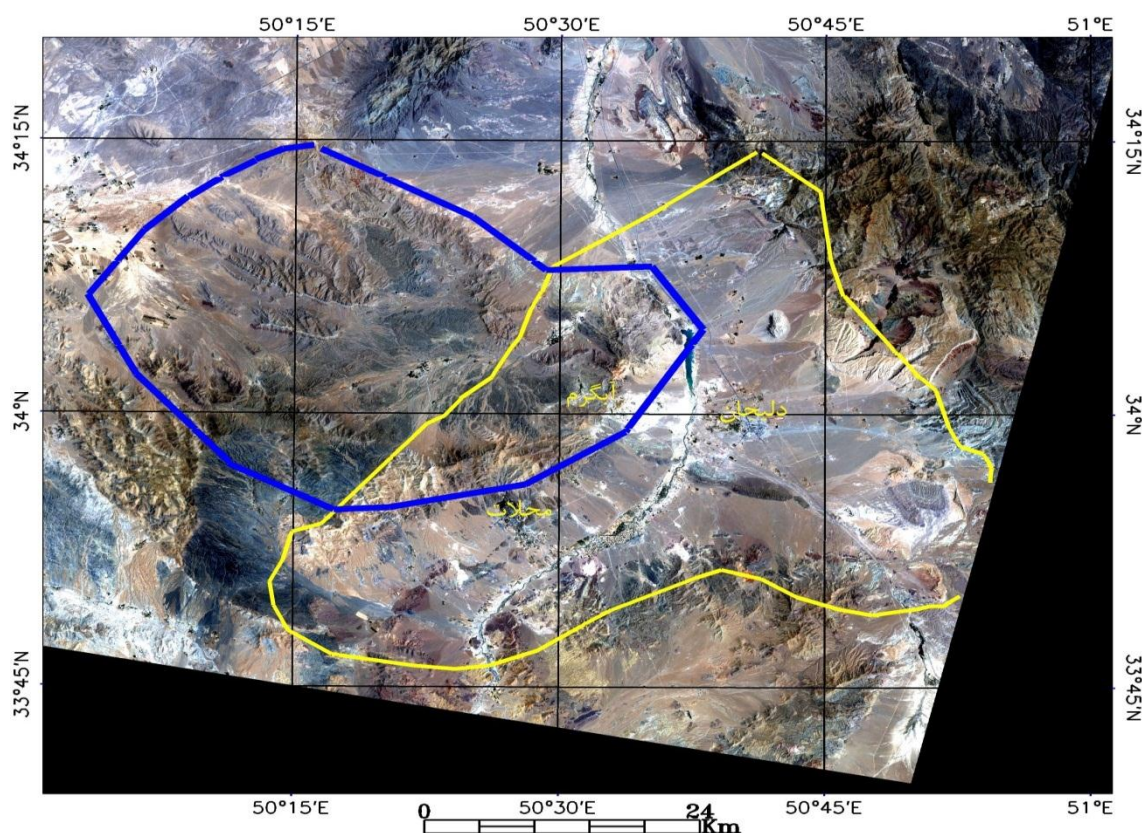
از معایب اصلی داده‌های سنجش از دور، سطحی بودن این داده‌ها است. به منظور رفع این مشکل می‌توان از داده‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در کنار داده‌های سنجش از دور استفاده نمود. همچنین با استفاده از نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی می‌توان نتایج حاصل از بررسی‌های سنجش از دور را اعتبارسنجی کرد.

با توجه به نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در این تحقیق، منطقه محلات منطقه‌ای است که از نظر زمین گرمایی فعال است. علائم سطحی فعالیت‌های زمین گرمایی مثل توف‌ها، چشمه‌های آبگرم، سینترهای تراورتنی و مناطق دگرسان شده در این منطقه یافت می‌شوند. با توجه به تعداد نسبتاً زیاد سینترهای تراورتنی موجود در این منطقه و مقدار غلظت کم عنصر برم در چشمه‌های آبگرم این منطقه، به احتمال زیاد سیستم زمین گرمایی محلات یک سیستم زمین گرمایی قدیمی است که چشمه‌های آبگرم محلات در پیرامون این سیستم قرار گرفته‌اند. منبع حرارتی و مخزن این سیستم زمین گرمایی در شمال شهرستان محلات واقع شده و سنگ پوششی مخزن، سازند شمشک است. یک سیستم گسلش با روند شمال غربی- جنوب شرقی از مخزن تا محل چشمه‌های آبگرم امتداد دارد که

باعث انتقال سیالات زمین گرمایی از مخزن به چشمه‌های آبگرم و دشت محلات شده و این سیالات مناطق دگرسان شده‌ای را در سطح زمین و حد فاصل بین شهرستان محلات و دهکده آبگرم به وجود آورده‌اند. سیستم گسلش دیگری در جنوب محلات با روند شمال شرقی- جنوب غربی وجود دارد که سیالات زمین گرمایی وارد شده به منطقه را در این راستا در منطقه توزیع می‌کنند.

۲-۷- پیشنهادات

با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می‌رسد که در محدوده تعیین شده برای سیستم زمین گرمایی محلات باید تجدید نظر نمود. شکل (۱-۷) محدوده پیشنهادی قدیمی و جدید برای سیستم زمین گرمایی محلات را نشان می‌دهد. محدوده منطقه زمین گرمایی محلات به پیشنهاد پژوهشگاه نیرو (۱۳۸۸) با خط زرد رنگ نشان داده شده است، و محدوده پیشنهادی جدید با خط آبی رنگ مشخص شده است.



شکل ۱-۷: محدوده پیشنهادی قدیمی (محدوده درون خط زرد) و جدید (محدوده درون خط آبی) برای سیستم زمین گرمایی محلات

پیشنهاد می‌شود برای تهیه مدل سیستم زمین گرمایی محلات مطالعات ژئوفیزیکی زمینی به ویژه مطالعات گرانی سنجی و مطالعات ژئوشیمیایی دقیق‌تری در محدوده پیشنهادی انجام گیرد. و برای مطالعه دگرسانی‌های زیرسطحی و تخلخل سنگ مخزن و گرفتن نمونه از سیالات درون مخزن چاه-های اکتشافی در این محدوده حفر گردد.

منابع فارسی

- خویی ن، قربانی م و تاجبخش پ، (۱۳۷۸)، "کانسارهای مس در ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۲۱ صفحه.
- زمانی پدرام، ح. شیخ الاسلامی، م.ر. هفتلنگ، ر. داوری، م.ر.، (۱۳۸۶)، "توضیحات پشت نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰: زمین شناسی محلات"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- پژوهشگاه نیرو^۱، (۱۳۸۸)، "مطالعات مغناطیس سنجی هوایی در منطقه زمین گرمایی محلات"، گزارش داخلی با کد: JNENE09/T3.
- پژوهشگاه نیرو^۲، (۱۳۸۸)، "مطالعات دورسنجی در منطقه زمین گرمایی محلات"، گزارش داخلی با کد: JNENE09/T4.
- کریم پور، م.ح، ملک زاده الف و حیدریان م.ر.، (۱۳۸۷)، "اکتشافات ذخایر معدنی مدلهای زمین شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۵۳ صفحه.

منابع لاتین:

- Abdelhamid G. and Rabba I., (1994), "An investigation of mineralized zones revealed during geological mapping, Jabal Hamra Faddan-Wadi Araba, Jordan, using Landsat TM data". *Int. J. Remote Sensing*, 15(7), pp 1495 – 1506.
- Abrams J. M., (1983), "Remote Sensing for Porphyry Copper Deposits in Southern Arizona". *Economic Geology*, 78, pp. 591-604.
- Alkohlani, T.A.M., (2008), "Geochemistry Of Thermal Waters From Al-Lisi – Isbil Geothermal Field, Dhamar Governorate, Yemen", UNU-GTP, Report Number 10, pp. 24.
- Anderson, D. L and Lund J. W., (1979), "Direct Utilization Of Geothermal Energy: A Technical Handbook", geothermal Resource Council, Davis, CA.
- Ármansson, H., and Fridriksson, T., (2009), "Application Of Geochemical Methods In Geothermal Exploration", Geothermal Training Programme in Ahuachapan and Santa Tecla, El Salvador.
- Arnórsson S., Stefánsson A., and Bjarnason J.Ö., (2007), "Fluid-Fluid Interactions in Geothermal Systems", *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 65, pp. 259-312.

- Beane, R.E., (1982)," Hydrothermal alteration in silicate rocks, southwestern North America" in: Titley, S. R., ed., *Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern North America: Tucson*, Univ. Ariz. Press, Chapter 6.
- Bebout, D. G., Gavenda, V. J. and Gregory, A. R, (1978), "Geothermal Resources, Wilcox Group, Texas Gulf Coast", Dept. Of Energy, Division Of Geothermal, Washington.
- Berberian, M., (1981). Active faulting and tectonics of Iran, pp. 33–69. In: "Gupta, H.K., Delaney, F.M. (Eds.), *Zagros, Hindu Kush, Himalaya Geodynamic Evolution, Geodyn. Ser.*", vol. 3. American Geophysical Union, Washington, DC.
- Biradar, C.M., Saran, S., Raju P. L. N and Roy P. S., (2005), "Forest canopy density stratification: How relevant is biophysical spectral response modelling approach?". *Geocarto International*, 20 (1), pp. 1-7.
- Biradar, C.M., Singh, S., Roy, P.S., (2003), "Geospatial modelling techniques for rapid assessment of biodiversity at landscape level in western Himalayas, Himachal Pradesh", *Current Science*, 84 (5), pp. 101-108.
- Bogie, I. and Lawless, J., (2000), " Application of mineral deposit concepts to geothermal exploration", geothermal Congress. International Geothermal Association, Kyushu, Japan.
- Bowen R., (1989), "*Geothermal Resources*", 2nd Edition: Elsevier Science Inc., New York, NY, pp. 485.
- Breckenridge, R. M., and Hinckley, B. S. (1978), "Thermal springs of Wyoming", *Geological Survey of Wyoming Bulletin*, 60, pp. 104.
- Bruhn D., Manzella A.,Vuataz F.,Faulds J. , Moeck I., and Erbas K.,(2009), Exploration methods,pp. 37-112, "*Geothermal Energy Systems Exploration, Development, and Utilization*", Huenges E., John Wiley, Germany.
- Calvin, W.M., Coolbaugh, M.F., Kratt, C., and Vaughan, R.G, (2005), "Application of Remote Sensing Technology to Geothermal Exploration", www.unr.edu/geothermal.
- Carranza, E.J.M., (2001), "geologically constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio district, Philippines", *Natural Resources Research*, 10(2), pp. 125-136.
- Chander, G., Markham, B.L., and Helder, D.L, (2009), "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors", *Remote Sensing of Environment*, 113, pp. 893-903.
- Chica-Olmo M., Abarca F., (2002), "Development of a Decision Support System based on remote sensing and GIS techniques for gold-rich area identification in SE Spain". *International Journal of Remote Sensing*, 23(22), pp. 4801-4814.

- Clark, R. N., Gallagher, A. J., and Swayze, G. A., (1990), "Material absorption band depth mapping of imaging spectrometer data using a complete band shape least-squares fit with library reference spectra". In R. O. Green (Ed.), *Proceedings of the second airborne visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS) workshop*. JPL Publication, 90-54, pp. 176-186.
- Combs, J., Muffler, L.J.P., (1973), "Exploration for geothermal resources. In: *Geothermal Energy*", pp. 95–128. Kruger, P., Otte, C. (Eds.), Stanford University Press, Stanford, CA.
- Coolbaugh, M.F, (2003). Ph.D. Thesis, "The Prediction And Detection Of Geothermal Systems At Regional And Local Scales In Nevada Using A Geographic Information System, Spatial Statistics And Thermal Infrared Imagery", University of Nevada Reno, USA.
- Cooper, G.R.J, and Cowan, D.R, (2008), "Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics", *Geophysics*, 73(3), pp. H1-H4.
- Crosta, A. P., and Rabelo, A., (1993), "Assessing of Landsat TM for hydrothermal alteration mapping in central western Brazil", p. 1053-61, Proceedings of Ninth Thematic conference geologic remote sensing Pasadinea, California, USA.
- Dash, P., Gottsche, F.-M., Olesen, F.-S., & Fischer, H., (2002), "Land Surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends". *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), pp. 2563-2594.
- ENEL, (1983), "Geothermal power development studies in Iran", General report on Sabalan geothermal areas, Ministry of Energy, Tehran, Iran, 220 pp.
- Envea, M., Coolbaugh, M.F., And Combs, J., (2006). "Application of Satellite Thermal Infrared Imagery to Geothermal Exploration in East Central California", *GRC Transactions*, 30, pp 407-411.
- Envea, M., Coolbaugh, M.F., Bjornstad, S.C. , Combs, J., (2007). "In Search For Anomalies In The Coso Geothermal Field(California) Using Remote Sensing And Field Data", *Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*. Stanford.
- Faruqi, S. A., (1991). "Remote sensing studies for identification of exploration targets around Malanjkhand copper deposit of central India". Proceedings of 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Denver, Colorado, USA.
- Fernández D.M., Ledesma T.R.M., and Orozco, G., (2001). "Hydrothermal alteration and main structures mapping using TM images in La Primavera geothermal field (Mexico)", *Geofísica Internacional*, 40(3), pp. 147-162.

- Fridriksson, T., and Ármannsson, H., (2007), "Application Of Geochemistry In Geothermal Resource Assessments", *Presented at Short Course on Geothermal Development in Central America in San Salvador*, El Salvador organized by UNU-GTP and LaGeo.
- Friedl, M.A., (2002), "Forward and inverse modeling of land surface energy balance using surface temperature measurements", *Remotesensing of Environment*, 79, pp. 344-354.
- Georgsson, L.S., (2009), *Geophysical Methods Used In Geothermal Exploration, Presented at Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources*, pp16, Lake Naivasha, Kenya.
- Giggenbach, W.F., (1991), Chemical techniques in geothermal exploration. In: "D'Amore, F. (coordinator), *Applications of geochemistry in geothermal reservoir development*", UNITAR/UNDP publication, Rome, 119-142.
- Gladwell, D.R., Lett, R.E. and Lawrence, P. (1983), "Application of reflectance spectroscopy to mineral exploration", *Economic Geology*, 78, pp 699-710.
- Goossens, M.A., and Kroonenberg, S.B., (1994), "Spectral discrimination of contact metamorphic zones and its potential for mineral exploration, province of Salamanca, Spain". *Remote Sensing of the Environment*, 47, pp. 331-344.
- Guilbert, M. John, Park, F. Charles, (1986). "*The Geology of Ore Deposits*", W.H. Freeman, New York.
- Gupta H. and Roy S., (2007), "*Geothermal Energy: An Alternative Resource for the 21st century*", first edition, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp271.
- Gupta, R.P., (1991), "*Remote Sensing Geology*", Springer, Berlin, pp. 370.
- Hailu, B.T., (2007), MSc Thesis, "Thermal Mapping And Lineament Analysis Of Abiyata And Langano Lakes Region In Central Ethiopian Rift System", School Of Graduate Studies, Addis Ababa University.
- Hellman, M. J. and Ramsey M.S., (2004). "Analysis of hot springs and associated deposits in Yellowstone National Park using ASTER and AVIRIS remote sensing", *J. Volcan. Geotherm. Res*, 135, pp. 195-219.
- Jensen, R. John, (1996), "*Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective*", 2nd edition, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey.
- Jingyuan Y., Xucman W., (1991), "The Application of Remote Sensing Techniques for Gold Prospecting in the North Fujian Province". Proceedings of 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Denver, Colorado, USA.
- Kaufmann, H., (1988), "Mineral Exploration Along the Auaba-Levant Structure by Use of TM-data. Concepts, Processing and Results", *Int. J. Remote Sensing*, 9, No. 10 and 11, pp. 1639-1658.

- Keary, P., and Brooks, M., (1992), *"An introduction to geophysical exploration"*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 254.
- KML, (1998). "Sabalan geothermal project, Stage 1, Surface exploration, final exploration report", Kingston Morrison Limited Co, Report 2505-RPT-GE-003 for the Renewable Energy Organization of Iran (SUNA), Tehran, Iran, 83 pp.
- Kruse, F., (1999). "Mapping hot spring deposits with AVIRIS at Steamboat Springs, Nevada", AVIRIS Airborne Geoscience Workshop Proceedings 1999. JPL Publications, Pasadena, pp. 1-7.
- Kujjo, C.P., (2010). MSc Thesis, "Application Of Remote Sensing For Gold Exploration In The Nuba Mountains, Sudan", Graduate College of Bowling Green State University, USA.
- Lillsland, T.M., Kiefer, R.W., and Chipman, J.W., (2004), *"Remote Sensing And Image Interpretation"*, John Wiley, New York.
- Loughlin, W. P., (1991), "Principal Component Analysis for Alteration Mapping". Proceedings of 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Denver, Colorado, USA.
- Lund J.W., (2007), "Characteristics, Development And Utilization Of Geothermal Resources", *GHC BULLETIN, JUNE 2007*, pp1-9.
- Manzella A., (2000), *"Geophysical Methods in Geothermal Exploration"* (lecture notes), Italian National Research Council, International Institute for Geothermal Research, Pisa, Italy.
- Mariita, N.O., (2009), Application Of Geophysics To Geothermal Energy Exploration And Monitoring Of Its Exploitation, Presented at Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources, pp9, Lake Naivasha, Kenya.
- Martini, B.A., Silver, E. A., Pickles, W. L., and Cocks P. A., (2003). "Hyperspectral mineral mapping in support of geothermal exploration: examples from Long Valley Caldera, CA and Dixie Valley, NV". *Geothermal Resources Council Trans*, 27, pp. 657-662.
- Mather, M. Paul, (1989). *"Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction"*. John Wiley and Sons, Great Britain.
- Meju M.A., (2002), Geoelectromagnetic Exploration For Natural Resources:Models, Case Studies And Challenges, *Surveys in Geophysics*, 23, pp133–205.
- Mwangi M.N., (2007), "Geophysical Methods For Geothermal Resource Characterization", Geothermal Training Programme, El Salvador. Pp. 13 .
- Nash, G.D., Johnson, G.W. and Johnson v., (2004). "Hyperspectral detection of geothermal system-related soil mineralogy anomalies in Dixie Valley, Nevada: a tool for exploration", *Geothermics*, 33, pp. 695-711.

- Pastor, M.S., (2010), "Application Of Thermal Remote Sensing For Geothermal Mapping, Lake Naivasha, Kenya", World geothermal Congress, International Geothermal Association, Bali, Indonesia.
- Poormirzaee, R., Mohamadzade, M.J., Naseri, A., and Zekri, H., (2010), " Interpretation and Processing of ETM+ Data for Alteration Mapping A Case Study: Behabad , Iran", Proceedings of the 4th IASME / WSEAS International Conference on Geology and Seismology (GES '10), P190, University of Cambridge, UK.
- Porkhial, S., and Nouraliee, J., (2010), " Physicochemical Characteristics of Mahallat Warm Springs in West-Central Iran", World geothermal Congress, International Geothermal Association, Bali, Indonesia.
- Prata, A. J., Caselles, V., Coll, C., Sobrino, J. A., and Ottle, C. (1995), "Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: Current status and future prospects", *Remote Sensing Reviews*, 12, pp. 175–224.
- Ranjbar, H., Honarmand, M., and Moezifar, Z., (2003), "Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt", *Journal of Asian Earth Sciences*, pp. 1-7.
- Richards, J.A., and Jia, X., (2006), "*Remote Sensing Digital Image Analysis*", Fourth Edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 455.
- Rothery, D. A., (1987). "Improved discrimination of rock units using Landsat Thematic Mapper imagery of the Oman ophiolite". *Journal of the Geological Society*, London, 144, pp 587-597.
- Rybach, L. (1981). "Geothermal Systems, Conductive Heat Flow, Geothermal Anomalies". In: *Geothermal Systems: Principles and Case Histories*, Rybach, L. and Muffler, L.J.P., John Wiley & Sons, New York.
- Rybach, L. and Muffler, L.J.P., (1981), "*Geothermal Systems: Principles and Case Histories*", John Wiley & Sons, New York, 359pp.
- Sabins, F.F, (1999). "Remote sensing for mineral exploration", *Ore Geology Reviews*, 14, pp 157-183.
- Schmugge, T., Hook, S. J., and Coll, C., (1998), "Recovering surface temperature and emissivity from thermal infrared multispectral data", *Remote Sensing of Environment*, 65, pp. 121– 131.
- Taranik, J.V., Calvin, W.M., and Kruse, F.A., (2010), "Reflectance Spectroscopy Applied To Exploration For Mineral Deposits And Geothermal Systems, And To The Remediation Of Mined Lands In The Great Basin Of The United States", Art, Science and Applications of Reflectance Spectroscopy Symposium, pp. 38, Boulder, Colorado, USA.

- Tezuka, S., Todaka, N., and Shimizu, I., (2000), "The Fault System And Geological Structure Of The Oguni Geothermal Field , Central Kyushu In Japan", World geothermal Congress, International Geothermal Association, Kyushu, Japan.
- Thiele, O., Alavi, A., Assefi, R., Hushmand-zadeh, A., Seyed-Emami, K., Zahedi, M., (1968), "Explanatory text of the Golpaygan Quadrangle map, 1: 250,000", Geological Survey of Iran Publications.
- Trung, L.V., and Minh, N.T., (2006), "Mapping Land Surface Temperature (Lst) From Satellite Imageries. Case Study In Hochiminh City", International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, Ho Chi Minh city, Viet Nam.
- Vaughan, R.G., Simon, J.H., Calvin, W.M., and Taranik, J.V., (2005), "Surface Mineral Mapping At Steamboat Springs, Nevada, USA,With Multi-Wavelength Thermal Infrared Images", *Remote Sensing of Environment*, 99, pp. 140-158.
- Verduzco, B., J. D. Fairhead, C. M. Green, and C. MacKenzie, (2004), "The meter reader—New insights into magnetic derivatives for structural mapping", *The Leading Edge*, 23, pp. 116–119.
- Vincent, R. K. (1997). "*Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*". Prentice Hall, 370p.
- Vincent, R. K., and F. J. Thomson, (1972), "Rock-Type Discrimination from Ratioed Infrared Scanner Images of Pissgah Crater, California", *Science*, 175, pp. 986-988.
- White, D. E. (1981), "Active Geothermal Systems and Hydrothermal Ore Deposits", *Economic Geology* 75th Anniversary Volume: p. 392-423.
- White, D. E., (1955), "Thermal springs and epithermal ore deposits", *Economic Geology* Fiftieth Anniversary Volume: pp. 99-154.
- Wibowo H., (2006), MSc Thesis, "*Spatial Data Analysis And Integration for Regional-Scale Geothermal Prospectivity Mapping, West Java, Indonesia*", International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede, The Netherlands.
- Yetkin, E., (2003). M.SC thesis, "Alteration Mapping By Remote Sensing: Application To Hasandağ – Melendiz Volcanic Complex", The Department Of Geological Engineering, The Middle East Technical University, Turkey.
- Yousefi H., Noorollahi Y., Ehara S., Itoi R., Yousefi A., Fujimitsu Y., Nishijima J., and Sasaki K., (2010), "Developing the geothermal resources map of Iran", *geothermics* 39, pp.140-151.

Abstract

Geothermal energy is one of the renewable energy resources which has been applied for electricity generation and local heating systems in different countries in recent years. Remote sensing is a new technology that can be used in geothermal field exploration for mapping minerals and thermal anomalies related to geothermal activities, delineating structural lineaments that are conduits of geothermal fluids and detection of hydrothermal alterations. Satellite data obtained from ASTER and ETM+ detector of Landsat 7 can be used for remote sensing studies. Because of goodness of Landsat 7 ETM+ data rather than ASTER data, in this research Mahallat Geothermal area in center of Iran in Markazi province is studied by Landsat 7 ETM+ data. The results of this study compared with the results of aeromagnetic and geochemical data analysis and the results obtained from remote sensing study are cross validated. According to the results of this research, it was found that Mahallat area is a part of an active and old geothermal system which its reservoir is located in north of Mahallat city. There is a NW-SE fault in this area that transport water from reservoir to hot springs. According to the results of this research, a new area is suggested for complementary works in Mahallat geothermal area.

Key words: Mahallat, Geothermal field, Remote sensing, ETM+, Aeromagnetic, Geochemistry.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Application Of Satellite Data Technology In Geothermal
Exploration In Central Iran (Mahallat) And Validation Of
Results By Aeromagnetic And Geochemical Data**

A thesis submitted in fulfillment of the requirement for the degree of
Master of Science in Mining Exploration Engineering

By:

Mohammad Rezaie

Supervisors:

Dr. Mansoor ziaii

Dr. Ali Moradzadeh

Advisors:

Dr. Hamid Aghajani

Mohammad Reza Rahmani

August 2011