

بررسی آتشفشان سبالان با توجه خاص بر روند تشکیل منابع

زمین گرمایی مشکین شهر - استان اردبیل

نویسنده: دکتر فریدون سبحانی*

Sabalan Volcanic Complex with special reference to the hydrothermal resources in Meshkinshahr area, NW. Iran

By : Dr. F. Sahabi*

چکیده:

فعالیت مجموعه آتشفشانی سبالان در استان اردبیل در ائوسن شروع گردید و متعاقب آن مرحله دیگری از فوران گدازه‌های تراکی-آندزیتی و تراکی-داسیتی، از داخل دهانه فرو ریخته آتشفشان، بوقوع پیوست. با توجه به تنوع سنگ‌شناسی، چهار واحد سنگ چینه‌ای در منطقه مورد مطالعه می‌توان تفکیک نمود که به ترتیب برحسب افزایش سن عبارتند از:

سازندهای نيزو(کواتردری)، کسرا(پلیستوسن پایانی)، طاووس(پلیستوسن آغازی) و ولهزیر(پلیوسن). مجموعه آتشفشان سبالان از واحدهای ساختاری زیر تشکیل گردیده است:

دهانه آتشفشان به ابعاد ۱۲×۱۴ کیلومتر در امتداد تقریباً شمال غربی- جنوب شرقی است. سه گنبد آتشفشانی درون دهانه قرار گرفته که در واقع قله سبالان را تشکیل می‌دهند و ارتفاع بلندترین آنها به ۴۸۱۶ متر می‌رسد. گسلهای خطی در امتدادهای NW-SE, NE-SW, E-W و WNW-ESE قرار دارند. گسلهای کماتی شامل دوکمان، یکی کوچکتر (داخلی) و دیگری، بزرگتر (خارجی) می‌باشند که رخنمون بارزتر آنها روی دانه شمال باختری سبالان است.

بررسیهای مقاومت‌سنجی (MT و TEM, DC) که تا عمق ۳۰۰۰ متری انجام گرفته است، حداقل ۵ ناهنجاری مقاومتی (۵ تا ۱۰ اهم‌متر) را در اعماق ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری در مناطق: قینرجه، بولار، توس، هوشنگ میدان، قطور سویی و سرعین، مشخص می‌سازد.

دگرسانی‌های گرمایی مهم، بطور عمده منحصر به سنگهای آتشفشانی نسبتاً قدیمی‌تر، یعنی واحد سنگ چینه‌ای ولهزیر(پلیوسن) است. این دگرسانی‌ها از دو نوع: حرارت پائین و حرارت بالاست، که اولی در سطح، در اطراف چشمه‌های آبگرم (مثل قینرجه) و بومی در اعماق پائین‌تر، گسترش دارد. کانی‌سازیهایی انجام گرفته براین دگرسانی‌ها، وجود حرارت حداقل ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد را در سیستم زمین‌گرمایی سبالان، تأیید می‌نماید.

Abstract

Volcanic activity in Sabalan started in Eocene and resumed in Pliocene by eruption of trachy - andesitic andesitic lava flow through the main caldera. Four major lithostratigraphic units were defined in the studied area in the following order:

Dizu Formation(Quaternary alluvium and terraces), Kasra Formation(post-caldera, Late Pliostocene), Taos Formation(syn-caldera, Early pliocene) Valhazir Formation (pre- caldera, Pliocene).

The Sabalan Volcanic Complex, structurally consists of:

- A central caldera of 14 x 12 km, partially filled by post - caldera trachyandesite-trachydacite lava flows.

- Linear faulting trending NE - SW, N-S and WNW-ESE.
- Arcuate structures forming an inner and outer fractures to the caldera.

Resistivity measurements(DC, TEM and MT) was carried out to identify subsurface resistivity anomalies. Five significant anomalies (5-10 ohm. m)were defined as follows:

- Gheyнарjeh(NW. Sabalan)
- Dollar(SE.Sablan)
- Toas-Hooshang Meidan(WNW.Sabalan)
- Ghotur Suii(N.Sabalan)
- Sar- e ein (SE Sabalan)

The main hydrothermal alteration exposed at the surface is confined to the valhazir (pre -caldera) formation and is of two types.

- Low temperature alteration developed in the vicinity of the surface thermal springs,e. g., Gheyнарjeh.
- Alteration, indicative of pre - existing hydrothermal system, in which temperature was at least 180 ° C.

مقدمه

نیرزمانی است که کارشناسان و دست‌اندرکاران مسائل انرژی بر ایران درصدد اکتشاف و بهره‌برداری از منابع انرژی‌ای غیر از نفت و گاز هستند تا بتوان با جایگزین کردن آن برای مصارف سوختی، موجبات و زمینه‌های بهینه‌سازی مصرف منابع هیدروکربوری را فراهم آورده و به ارزش‌های اقتصادی افزون‌تری از ذخایر نفت و گاز طبیعی، دست بیازند. در این راستا تلاش‌هایی در زمینه اکتشافات زمین‌گرایی در مناطق مختلف کشور از آن جمله منطقه سیلان در استان آذربایجان در شمال باختری کشور توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در امور انرژی وزارت نیرو انجام گرفته است. در سال ۱۹۷۸ بوسفی و Freidberg در قالب اکتشافات ژئوفیزیکی از طرف سازمان زمین‌شناسی کشور به تهیه نقشه مغناطیس‌سنجی هوایی (Aeromagnetic) در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ از نقاط مختلف از جمله سیلان اقدام کردند. عملیات ثقل‌سنجی (Gravimetry) توسط مشاورین تهران برکلی (۱۹۷۸) در ارتباط با اکتشافات زمین‌گرایی در شمال و جنوب سیلان در منطقه‌ای به وسعت ۸۲۰۰ کیلومتر مربع، انجام شد.

همین مشاورین (۱۹۷۹) و مشاورین ایتالیایی (ENEL(1983), در قالب پروژه اکتشافات ناحیه‌ای زمین‌گرایی، با تهیه نقشه زمین‌شناسی پایه در منطقه سیلان در مقیاس‌های ۱:۱۰۰,۰۰۰ و ۱:۲۵۰,۰۰۰، مسائل زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی آتشفشان سیلان را بررسی نمودند. در ۱۹۹۴ امامی و همکاران بر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین‌شناسی شمال و جنوب سیلان را در مقیاس

۱:۱۰۰,۰۰۰ (ورقه مشکین شهر) منتشر کرده و مسائل زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی مربوط به آتشفشان سیلان را تجزیه و تحلیل نموده‌اند. مشاورین نیوزیلندی (KML(1998) در منطقه مشکین‌شهر و سرعین به ترتیب در شمال باختری و جنوب خاوری آتشفشان سیلان، عملیات مقاومت‌سنجی تک‌میلی را به سه روش Direct Current (DC) و Time-Domain Electromagnetic (TEM) و Magneto-Telluric (MT) انجام دادند.

با بهره‌گیری از روش‌های ژئوفیزیکی مقاومت‌سنجی، افق‌های مختلف زیرزمینی تا عمق ۲۰۰۰ متر مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت و ناهنجاری‌های مقاومت الکتریکی (Resistivity anomalies) در منطقه مشخص شد. پس از تطبیق محل این ناهنجاری‌ها در سطح یا دگرسانی‌های ژئوشیمیایی و تلفیق این دو با یکدیگر، منطقه شمال باختری سیلان (منطقه مشکین شهر- مویل) در اولویت بیشتری برای اکتشافات بعدی یعنی اکتشافات تفصیلی و تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۰۰,۰۰۰ شناسایی گردید و محل حفاری‌های اکتشافی بر آن، مشخص شد. به منظور شناسایی دقیق‌تر وضعیت ساختاری منطقه به ویژه روند، طول و فراوانی کسل‌ها، ناهنجاری‌های توپوگرافیک و ویژگی‌های مورفولوژیک از داده‌های ماهواره‌ای SPOT استفاده گردید.

در مقاله حاضر براساس اکتشافات انجام شده در ارتباط با منابع زمین‌گرایی در منطقه سیلان، دستاوردهای علمی زمین‌شناسی،

ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی، تجزیه و تحلیل گریبده و در نهایت وضعیت زمین‌آبشناسی در شمال باختری سیلان مدل‌سازی شده است.

زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در استان اربیل و در دامنه شمال‌باختری آتشفشان سیلان واقع شده است. شهرهای مشکین‌شهر و سرعین به ترتیب در شمال‌باختری و جنوب خاوری این منطقه قرار گرفته‌اند (شکل ۱). بخش اعظم مسائل زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه توسط آتشفشان سیلان کنترل می‌گردد. به گونه‌ای که مسائلی از قبیل تکتونیک، ریخت‌شناسی، هیدروژیسمی، ژئوشیمی و مسائل زمین‌گرایی در منطقه که موضوع اصلی مقاله حاضر را تشکیل می‌دهد، با مسائل آتشفشان سیلان پیوستگی کامل دارد.

۱- تاریخچه آتشفشان سیلان

تاریخچه فعالیت آتشفشان سیلان با تجمع گدازه‌ها و آذرآاری‌های بتاسیک در ائوسن شروع می‌شود. این مجموعه در اوایل میوسن، مجدداً در معرض نفوذ یک توده مونزونیتی (Monzonitic Batholith) با روند شمال باختری - جنوب خاوری قرار گرفته و دگرگون شده است. این توده مونزونیتی به احتمال زیاد در زیرسنگ‌های آتشفشانی پلیو - کوآترن برسر تاسر منطقه، گسترش دارد و بخشی از آن روی دامنه جنوب‌باختری سیلان (خارج از منطقه مورد مطالعه) در سطح زمین ظاهر شده است (شکل ۲).

بر اساس نتایج بررسی‌های صحرایی فعالیت‌های آتشفشانی با فوران گدازه‌های تراکی آندزیتی (Trachyandesitic lava) در پلیوسن پایه‌ریزی گریبده است. از وقایع مهم در تاریخ فعالیت‌های آتشفشانی در سیلان، فرو ریختن نهانه آتشفشان (Caldera Collapsing) بعد از پلیوسن و در آغاز پلیستوسن است. گرچه زمان دقیق این فرو ریزی مشخص نیست، ولی متعاقب آن فوران جدیدتری از گدازه‌ها به صورت گنبد‌های تراکی آندزیتی و تراکی داسیتی از درون نهانه فروریخته، صورت گرفته و چکاد امروزی سیلان را تشکیل داده است. جدیدترین و آخرین فوران از جنس گدازه‌های ریولیتی بوده که در داخل نهانه آتشفشان گسترش محدود دارد.

در شمال باختری و جنوب باختری اربیل، منطقه وسیعی (حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع) پوشیده از رسوب‌های کربناته از نوع تراورتن است که در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور گزارش گریبده است (Emami 1994). بررسی‌های صحرایی بر این منطقه مشخص می‌سازد که: اولاً در چشمه آب گرم سرعین در حال حاضر تراورتن تشکیل نمی‌گردد. ثانیاً وجود تبخیری‌هایی از نوع کچ و نمک را در داخل

چشمه‌های سرعین، مشخص می‌سازد که تراورتن‌های یابنده، مربوط به چشمه‌های آب‌گرم نبوده و بطور عمده از نوع توفای آهکی (Calc Tufa) است که در محل جریان آب‌های بی‌کربناته در مناطقی با رویش‌های گیاهی مختلف، تشکیل گریبده است (سجانی ۱۳۷۵).

یکی از ارکان مهم در اکتشاف سیستم‌های زمین‌گرایی در هر منطقه، تعیین کیفیت و ابعاد محل تجمع و ذخیره سیالات زمین‌گرایی است. به عبارتی دیگر تبیین کامل سنگ‌شناسی سنگ مخزن در این سیستم و چگونگی تأثیر آن بر کیفیت سیالات بدست آمده، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در مقطع نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ یادشده (برگه مشکین‌شهر) اثری از توده باتولیتی دیده نمی‌شود، ولی رخنمون مونزونیتی در دامنه باختری و شمال باختری سیلان کاملاً قابل برداشت است (شکل ۳). وجود این رخنمون‌ها می‌تواند توجیه‌گر گسترش با تولید مونزونیتی مورد بحث در زیرسنگ‌های آتشفشانی پلیوکواترن باشد. چنانچه گسترش پی‌سنگ و لکانیکی در قاعده آتشفشان سیلان محقق گردد، چشم‌انداز بهتری (نسبت به سنگ‌های کربناته) برای بهره‌برداری از منابع گرمایی به دست خواهد داد.

۲- چینه‌شناسی

تنوع سنگ‌شناسی رخنمون‌ها در منطقه مورد مطالعه، مربوط به تشکیل واحدهای سنگی در فازهای مختلف آتشفشانی بوده و معلول شرایط خاص این رویداد می‌باشد. لذا براساس واحدهای سنگی - زمانی (Rock-Time Units) موجود می‌توان، توالی سنگ چینه‌ای را در منطقه برحسب افزایش سن از بالا به پائین به شرح زیر مشخص نمود (شکل ۴).

- رسوب‌های آبرفتی، پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه‌های متعلق به هولوسن.

- روانه‌های گدازه‌های تراکی - آندزیتی، گنبد‌ها و لاهارهای پلیوستوسن پایانی که مربوط به بعد از تشکیل نهانه (Post-Caldera) هستند.

- گنبد‌ها و روانه‌های گدازه‌ای از جنس تراکی - داسیت و تراکی - آندزیت با سن پلیوستوسن آغازی که هم‌زمان با بوجود آمدن نهانه (Syn-Caldera) تشکیل شده‌اند و سرانجام:

- گدازه‌های تراکی - آندزیتی، توف‌ها و آذرآاری‌های پلیوسن که قبل از تشکیل نهانه (Pre-Caldera) فوران کرده و در سطح گسترده شده‌اند.

چهار واحد سنگ چینه‌ای فوق برای اهداف کاربردی و به ویژه به منظور سهولت استفاده در برنامه‌های اکتشاف منابع زمین‌گرایی منطقه سیلان، تحت عنوان سازند (Formation) و با نام‌های محلی معرفی شده‌اند.

لاهار رخنمون دارند. نام این سازند از روستای توس در دامنه شمال باختری سیلان گرفته شده و سنگهای نامبرده شده در اطراف این روستا، مشخص‌ترین رخنمون را دارند. در واقع گسترش این سازند از داخل نهانه آتشفشان شروع شده و روی دامنه شمال باختری و باختر ادامه یافته است. منظره عمومی و وضعیت ساختاری نهانه، روشن می‌سازد که تشکیل آن باسنگهای سازنده آن یعنی گدازه‌ها و آنزآواری‌های سازند توس همزمان می‌باشند. لذا، این سازند، مربوط به فاز تشکیل نهانه آتشفشان (Syn-Caldera) خواهد بود. منظره کلی و ریختاری روانه‌های گدازه‌ای در دو سازند کسرا و توس روی عکس‌های ماهواره‌ای کاملاً مشخص است، به طوری که اولی با انشعاب‌های زیاد و مسیرهای پرنشأ (zigzag) دیده می‌شود. در حالی که نومی به علت گرانیروی (Viscosity) زیاد، گسترش محدود دارد. همچنین روشن است که جریان گدازه‌ای در هر فاز آتشفشانی در امتداد نشیب توپوگرافی به سمت پائین دست و روی گدازه‌های فاز قبلی صورت گرفته است.

۲-۴- سازند ولهزیر (بلیوسن)

سازند ولهزیر از روانه‌های گدازه‌ای تراکی-آندزیتی، توف و برش‌های آنزآواری تشکیل گردیده و دست کم ضخامت آن در منطقه به ۱۰۰۰ متر می‌رسد. این سازند شامل قنیمی‌ترین سنگهای مجموعه آتشفشان سیلان می‌باشد که در منطقه مورد مطالعه برونزد دارد. تشکیل آن‌ها به قبل از شکل گرفتن نهانه و در پائین‌ترین قسمت‌های دامنه‌های سیلان رخنمون یافته است. توف‌ها و برش‌های آنزآواری، بخش اعظم سازند را تشکیل داده و گدازه‌های تراکی-آندزیتی روی آن‌ها و در بالاترین افق چینه‌شناسی در سازند ولهزیر قرار می‌گیرد. این واحد سنگ چینه‌ای معمولاً در اطراف سیلان و معمولاً با شیب ملایمی به طرف پائین دست دامنه‌ها، گسترش یافته و بیش از سایر سازندها در معرض گسل خوردگی، ترک خوردگی و شکستگی‌های ساختاری قرار گرفته است. از بیگر ویژگی‌های سازند ولهزیر، گسترش دگرسانی‌های گرمایی به ویژه در بخش‌های تراکی-آندزیتی است. بر همین پایه در این سنگها یک بخش دگرسان و یک بخش دست‌نخورده قابل تشخیص است. در بخش رویی اثری از دگرسانی دیده نمی‌شود، ولی بخش زیرین تغییرات جانشمینی زیادی را نشان می‌دهد، لازم به ذکر است که مشاهدات صحرائی مشخص می‌سازد که دگرسانی گرمایی بطور عمده مربوط به زیرزمین است. ولی، در محل‌هایی که قسمت رویی در معرض فرسایش قرار گرفته، بخش زیرین در سطح زمین ظاهر گشته است.

(Sahabi, et. al, 1999, KML, 1999). وضعیت توالی واحدهای یادشده به صورت ستون سنگ چینه‌ای، به شرحی که در شکل ۴ آمده، تکمیل گردیده است.

شرح مفصل و معرفی کامل چهار سازند یاد شده به قرار زیر است:

۲-۱- سازند دیزو (کواترنری)

بخش اصلی سازند دیزو را رسوبهای ناپیوسته آنزآواری با ستبرای متغیر تشکیل می‌دهند. بیشترین توسعه این سازند در نزدیکی و نرّه دیزو دیده می‌شود که در این محل‌ها روی سنگهای آتشفشانی پلیوسن قرار می‌گیرند. این سازند در بعضی مناطق تحت تأثیر سیلابها و روان آبهای محلی، شدیداً فرسایش یافته است. در محل‌هایی که کمتر در معرض فرسایش قرار داشته، از تناوب خاکستری‌های آتشفشانی، لاهار و مواد واریزه‌ای تشکیل می‌گیرد. ستبرای مجموعه‌های آبرفتی و واریزه‌ای در سازند دیزو روی توده‌های آنرین و در پای دامنه‌ها، در محل‌های مختلف از ۱۰ تا ۱۵۰ متر تغییر می‌کند. مواد و خرده‌های آتشفشانی تشکیل‌دهنده در این مجموعه‌های آبرفتی، خاکستر، بلور، خرده‌سنگهای آتشفشانی و آنزآواری و قطعات گدازه‌ای از واحدهای آتشفشانی قنیمی‌تر تشکیل گردیده است. سازند دیزو در پهنه‌های پست و گود، با نهشته‌های برپاچه‌ای (Lake deposits) در حد و اندازه گراول (۲-۳ mm) و ماسه (۱-۲ mm) و گاهی هم ریزتر از آن، با ستبرای ۱۰ تا ۲۰ متر در منطقه تظاهر دارد.

۲-۲- سازند کسرا (بلیوستوسن پایانی)

سازند کسرا بطور عمده بارخنمون‌هایی از گدازه‌های آتشفشانی از جنس تراکی-آندزیت که بیشتر در قسمت‌های مرتفع سیلان در داخل و اطراف نهانه گسترش دارد، مشخص می‌گردد. این سازند شامل سه گنبد بزرگ، در داخل نهانه است که به نام چکاد سیلان، سلطان و کسرا نامیده می‌شوند. از نظر ویژگی‌های سنگ‌شناسی، از روانه‌های گدازه‌ای از جنس تراکی-آندزیت و لاهار تشکیل گردیده است. خروج این گدازه‌ها در فاز بعد از تشکیل نهانه (Post-Caldera) بوده و از داخل آن مجدداً بالا آمده است. سازند کسرا بیشترین توسعه و گسترش را در قسمت‌های فراز سیلان دارد و اطراف چکاد را تا شعاع ۲/۵ کیلومتر می‌پوشاند.

۲-۳- سازند توس (بلیوستوسن آغازی)

بخش اعظم سازند توس را روانه‌های گدازه‌ای از جنس تراکی-داسیت، تراکی-آندزیت و ریولیت تشکیل می‌دهد که به صورت گنبدی‌های پراکنده و

۵-۳- ویژگی‌های ساختاری منطقه

مقایسه و تلفیق اطلاعات موجود درباره سیستم‌های گسلی و خطوط‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه توسط (Sahabi et al., 1999) و (KML (1999), Tehran Berkeley (1979) ساختار متفاوتی را نشان می‌دهد. همچنین بررسی‌های انجام شده روی عکس‌های ماهواره‌ای نیز، وجود گسل‌های خطی و کمانی را تأیید می‌نماید. لذا در مجموع، براساس داده‌های یادشده، واحدهای تکتونیکی زیر در منطقه مورد مطالعه، برخور توجه است.

- دهانه مرکزی آتشفشان (Main Central Caldera)-

دهانه اصلی به ابعاد 12×14 کیلومتر با روند کم و بیش شمالی- جنوبی است. فوران‌های آتشفشانی جدیدتر که مربوط به بعد از تشکیل دهانه می‌باشند، به صورت سه گنبد و لکانیکی (Volcanic domes) مستقل، به نام‌های محلی کوه کسرا (۵-۴۵ متر)، کوه سیلان (۴۵۹۷ متر) و کوه سلطان (۴۸۱۶ متر)، در داخل دهانه واقع شده‌اند (شکل ۱).

- گسل‌های کمانی (Arcuate Faults) - در فاصله ۱۴

کیلومتری جنوب باختری دهانه آتشفشان، یک گسل کمانی بزرگتری وجود دارد. در محدوده داخل این گسل، سری گسل‌های خطی بیگری دیده می‌شوند که به نوبه خود محدوده گسلی مهمی را بوجود آورده که در ایجاد بره موبل نقش بسیار مهمی ایفاء کرده است.

- گسل‌های امتداد لغز (Strike slip Faults) - مجموعه

آتشفشان سیلان از شمال باختری و جنوب خاوری به وسیله دو گسل مهم امتداد لغز راستگرد با روند NE-SW بربرگرفته شده است (شکل ۲). این دو گسل مهم‌ترین و طولی‌ترین گسل‌های موجود در منطقه مورد بررسی می‌باشند.

- سری گسل‌های شمالی - جنوبی - بعضی از این گسلها از

داخل دهانه عبور کرده و بره موبل سویی را در شمال منطقه به وجود آورده‌اند.

- گسل‌های بیگری با روند خاوری باختری و شمال باختری - جنوب خاوری وجود دارند که در جنوب و جنوب باختری دهانه سیلان به صورت یک پهنه گسلی در تصویر ماهواره‌ای مشخص است. این محدوده در جنوب سیلان و منطقه مورد مطالعه، موجبات تشکیل بره موبل را با روند شمال باختری - جنوب خاوری فراهم نموده‌اند.

به طور کلی گسل‌های منطقه را می‌توان در دو گروه گسل‌های خطی (Linear faults) و گسل‌های کمانی (Arcuate faults) طبقه‌بندی نمود. سازوکار تشکیل و اهم ویژگی‌های هر گروه را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد.

ساختارهای خطی - بررسی عکس‌های هوایی و تصویرهای

ماهواره‌های Spot، خطوط‌های (Lineaments) زیادی را به صورت ساختارهای گسلی و شکستگی‌ها (برز- شکاف) در محدوده آتشفشان سیلان نشان می‌دهد، ولی در مطالعات صحرایی و پیگیری رخنمون‌ها، فقط برز و شکاف‌های عمده با بازشدگی کافی، قابل برداشت هستند. این واقعیت به علت آن است که اکثر این شکستگی‌ها مربوط به آتشفشانی پلیوسن و قبل از تشکیل دهانه (Pre-Caldera) می‌باشند. فوران‌هایی که به صورت گدازه و یا خاکسترهای آنراواری، بعد از تشکیل دهانه صورت گرفته، بخش اعظم رخنمون‌های سطحی را دفن کرده است. روند غالب ساختار خطوط‌های با فراوانی ۵۰٪ در امتداد شمال باختری- جنوب خاوری می‌باشد. لازم به ذکر است که گسل‌ها و شکستگی‌های با روند شمالی- جنوبی، باختر، شمال باختری - خاور، جنوب خاوری و باختر جنوب باختری - خاور شمال خاوری (شکل ۳) نیز در مجموع با فراوانی ۲۵٪ حائز اهمیت هستند (Sahabi et al., 1999). به طور کلی روند شکستگی‌ها موازی روند گسل‌های اصلی در منطقه است. همچنین گفتنی است که اصولاً گسل‌های خطی یاد شده تأمین کننده اصلی و شاید هم باتوجه به ویژگی‌های سنگشناسی سنگ‌ها، عامل متحصر به فرد تخلخل و تراوایی در سیستم زمین‌گرمایی منطقه باشند.

- ساختارهای کمانی - دو ساختمان با گسل کمانی روی

تصویرهای ماهواره‌ای و همچنین روی دامنه باختر و جنوب باختری سیلان مشخص است (شکل ۳). کمان کوچکتر کم و بیش منطبق با دهانه آتشفشان بوده و در محل تغییر سریع شیب توپوگرافی، قابل برداشت است. تشکیل این گسل با فعالیت آتشفشانی و تأثیر نیروهای بالاکننده همزمان و مربوط می‌گردد. ظاهر نمودن این گسل روی دامنه شمال باختری به علت تأثیر شدید فرسایش و شسته شدن آنراواری‌ها و گدازه‌های جوان‌تر مربوط به بعد از تشکیل دهانه (Post Caldera) می‌باشد.

کمان بزرگتر در ۱۴ کیلومتری جنوب باختری چکاد سیلان و خارج از منطقه فعال زمین گرمایی قرار دارد. این گسل از روی تاهنجاری توپوگرافی که در دامنه سیلان ایجاد نموده، روی عکس قابل تشخیص است. لذا براساس شواهد ظاهری و یک خطواره توپوگرافی است که روند کمانی پیدا کرده است. از سوی دیگر، گسل‌های خاور- جنوب خاوری- باختر شمال باختری، اکثراً گسل‌های عمودی هستند که در امتداد آن‌ها جدایش (Detachment) و فروافتادگی ثقلی به سمت جنوب صورت گرفته است. این جدایش روی دامنه سیلان همراه با سری گسل‌های یادشده موجبات تشکیل بره موبل را فراهم آورده است (شکل ۳).

تجزیه و تحلیل و تفسیر تصویرهای ماهواره‌ای Spot، محدوده‌های پراکنده و دگرسان را به وسعت‌های مختلف در منطقه نشان می‌دهد. مشاهدات صحرایی و مطالعه سنگ‌شناسی مقاطع نازک سنگ‌های مختلف، نوع و شدت دگرسانی‌ها را مشخص می‌نماید. گفتنی است که اصولاً محدوده‌های دگرسان شده در سیلان، منحصر و محدود به سنگ‌های سازند و لهزیر (پلهوسن) است. توسعه محدود و کم‌اهمیت کانی‌های ثانوی در افق‌های بالاتر بر این سازند به علت بالاتر قرار گرفتن از سطح پیرومتریک سیستم گرمایی منطقه است که عملاً از تأثیرات سیالات یادشده، مصون مانده است. بنابراین آنچه که از تجزیه‌های سطحی صورت گرفته است نتیجه هوازنگی می‌باشد.

در بررسی دقیق‌تر به منظور تعیین شدت و کیفیت دگرسانی‌های گرمایی در سازند و لهزیر، واقعیت آن است که ویژگی‌های خاص سنگ‌شناسی سازند، عامل اصلی کنترل‌کننده بوده است. از آنجا که تراوایی سنگ‌های آندزیتی در منطقه مورد مطالعه، به طور کلی محدود و منحصر به بازشدگی‌هایی از قبیل برز، شکاف و احیاناً سطوح گسلی است، لذا تأثیر سیالات گرمایی بر اطراف شکستگی‌هایی از انواع یادشده، در بیشترین حد خود می‌باشد و این امر در افق‌های پائین سازند به خوبی مشهود است. در بخش‌هایی که سنگ‌شناسی و لهزیر به توف و برش‌های آن‌آواری تبدیل می‌گردند، شدت دگرسانی بسیار بالا می‌باشد. در داخل تراکی-آندزیت‌هایی که در معرض دگرسانی‌های نه چندان شدید قرار گرفته‌اند، کانی‌های ثانوی ایجاد شده که بطور عمده از مجموعه کانی‌های رسی (Argillic Assemblages) مانند اسمکتیت (Smectite) و کائولینیت (Kaolinite) و همچنین کریستوبالیت (Cristobalite) تشکیل شده است و همراه اوپال و یا کالسئوژن دیده می‌شود.

مجموعه کانی‌های ثانوی یاد شده در دو نمونه یکی در منطقه قینرجه نزدیک چشمه آب داغ (نمونه شماره 11095) و دیگری از یک محدوده دگرسان در داخل رخنمون‌های تراکی-آندزیتی (نمونه شماره 11099) مورد بررسی قرار گرفت (KML, 1999). در نمونه اول مجموعه رسی با اپال و کلسئونی و در نمونه دوم یا کوارتزهای ریزدانه همراه بوده است. با توجه به فعالیت گرمایی در اطراف چشمه قینرجه به نظر می‌رسد که دگرسانی‌های اطراف آن از نوع حرارت پائین و مربوط به زمان حاضر بوده و دگرسانی در توده تراکی-آندزیتی از نوع حرارت نسبتاً بالا و مربوط به اعماق پائین‌تر ولی از نوع فسیل (Relict Alteration) می‌باشد که بر اثر فرسایش بخش‌های روی آن، در سطح زمین ظاهر گردیده است.

بررسی‌های ژئوفیزیکی شامل عملیات مقاومت‌سنجی (Resistivity Measurement)، در قالب ۲۱۲ ایستگاه اندازه‌گیری در محدوده‌ای به وسعت ۸۶۰ کیلومتر مربع در دامنه‌های شمال باختری، جنوبی و جنوب خاوری سیلان، برای اولین بار در سال ۱۹۹۸ انجام گرفت. سه روش مقاومت‌سنجی: Direct Current (DC)، Time Domain Electromagnetic (TEM) و (MT) Magneto Telluric به کار گرفته شد. این عملیات به منظور شناسایی و تعیین شاخص‌های زیر صورت گرفته است:

- شناسایی ناهنجاری‌های مقاومت الکتریکی (Resistivity Anomalies) تا ژرفای ۲۰۰۰ متر از سطح زمین که احتمالاً با منابع حرارتی زمین‌گرمایی در ارتباط می‌باشند.
- تفسیر و مدل‌سازی ناهنجاری‌های مقاومت الکتریکی بر اساس ژرفا و گسترش جانبی (Lateral Extension) آن‌ها.
- تدوین مدل هیدروژئولوژیکی برای هر منبع احتمالی زمین‌گرمایی در منطقه

- تعیین اولویت‌های محلی برای حفاری‌های اکتشافی

سنجش مقاومت در دو روش اول (DC و TEM) به ترتیب در ژرفای ۱۰ تا ۱۵ و ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر انجام گرفت. در حالی که روش MT، با استفاده طیفی از فرکانس‌های مختلف 8KHZ تا 0.02HZ (فرکانس‌های کمتر برای ژرفای نفوذ بیشتر) برای سنجش ژرفاهای بیشتر (تا ۲۰۰۰ متر) بکار گرفته شد. بنابر نتایج بدست آمده از سنجش با فرکانس 3HZ، محدوده‌های با مقاومت ۵ تا ۱۰ ohm-m در ژرفای بیش از ۲۰۰۰ متر، مشخص گردید (شکل ۵).

با تلفیق داده‌های مقاومت‌سنجی و سایر اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، ۵ گزینه که مقاومت کمتر از ۱۰ اهم متر نشان می‌دهند به ترتیب اولویت به شرح زیر برای ادامه عملیات اکتشافی می‌توان در نظر گرفت.

- ۱- منطقه قینرجه (شمال، باختری سیلان)
- ۲- منطقه دلار (جنوب خاوری سیلان)
- ۳- منطقه توس - هوشنگ میدان (شمال و شمال باختری سیلان)
- ۴- منطقه قطور سویی (شمال سیلان)
- ۵- منطقه سرعین (جنوب خاوری سیلان). اولویت‌های پنجگانه فوق، با مقاومت‌هایی معادل ۱۰ اهم متر و کمتر از آن مشخص هستند (شکل ۵).

نمونه‌های توف و برش‌های آنراواری، دارای مقدار زیادی کوارتز و کائولینیت و مقدار کمی کانی‌ها تیره و آلونیت می‌باشند، آلونیت کانی‌ای است که در شرایط گرمایی اسیدی در توده‌های ریولیتی، ناسیتی و آنزیتی به عنوان کانی ثانوی بطور عمده در برز و شکافها به صورت رگه تشکیل می‌گیرند. کمبود آلونیت در مجموعه‌های رسی (از سری کانی‌های ثانوی) معرف تشکیل آن‌ها در سیال‌های سرد، با شوری پائین و pH خنثی است. وجود کوارتز ثانوی در سنگها و رخنمون‌های سطحی مؤید وقوع دگرسانی در ژرفا و در حرارت نسبتاً بالا بوده که به علت فرسایش قسمت‌های رویی در سطح زمین ظاهر شده است. افزون بر این در چند نمونه وجود ذرات ریز روتیل گزارش شده است (KML, 1999)، که آن هم به عنوان کانی ثانوی در حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد مهیزان تشکیل می‌گیرد. از سوی دیگر موارد یادشده در دگرسانی‌های منطقه قینرجه و مناطق مشابه دیگر با وجود کانی‌های اسمکتیت، کائولینیت، کریستوبالیت و اوپال ولی بدون وجود کوارتز مشخص می‌گردند و به طور کلی گسترش دگرسانی در سیستم‌های گرمایی با درجه حرارت پائین و نزدیک به سطح را تأیید می‌دهاند.

دگرسانی‌های موجود رخنمون‌های مربوط به سازندها توس و کسرا، هم از نظر گسترش بسیار محدود بوده، و هم آن که بطور عمده از نوع هوازدگی‌های سطحی می‌باشند. این هوازدگی‌ها معمولاً با گسترش‌های محدود و پراکنده رسوبزایی کلسیت به صورت رخساره‌های Calich در داخل مقاطع خاک است.

در سطح رخنمون گدازه‌ها و آنراواری‌های مربوط به واحدهای مورد بحث، گسترش اکسید آهن موجب رنگ‌آمیزی شدید و تند شده است که این فرآیند نیز بر قالب هوازدگی سطحی اتفاق افتاده است.

بررسی‌های هیدروشیمیایی نوع و روند توزیع سیالات گرمایی

هیدروشیمی سیالات گرمایی در منطقه سبلان با توجه به تنوع و پراکندگی نشانه‌های سطحی به ویژه چشمه‌های آبگرم و همچنین رابطه آن‌ها با محدوده‌های دگرسانی در منطقه مورد مطالعه، از اهمیت زیادی برخوردار است. جا دارد موضوع ژئوشیمی آتشفشان سبلان از دیدگاه منابع زمین‌گرمایی، به طور مستقل و مبسوط تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری گردد. بر همین پایه در مقاله حاضر فقط به معرفی ویژگی‌های هیدروشیمیایی نشانه‌های سطحی در منطقه بسنده گردیده است.

نشانه‌های سطحی که بطور عمده به صورت چشمه‌های آبگرم در اطراف آتشفشان سبلان تظاهر دارند را، به طور کلی در چهار گروه اصلی

به شرح زیر می‌توان تفکیک نمود.

گروه شمال باختری سبلان - شامل مجموع چشمه‌های آبگرمی است که روی دامنه شمال باختری سبلان می‌باشند و اکثر آن‌ها بر ده مویل واقع شده‌اند. مهمترین چشمه‌های این گروه به ترتیب درجه حرارت آن‌ها قینرجه (85°C)، مویل (26°C)، است (جدول ۱).

گروه شمال سبلان - نو چشمه قطور سویی با (29°C) و شایبل (50°C) روی دامنه شمالی سبلان واقع شده‌اند. قطور سویی با $\text{PH}=2/52$ اسیدی‌ترین آبگرم منطقه سبلان را داراست، به همین جهت جزء سیالات آتشفشانی منظور می‌گردد (شکل ۶).

گروه خاور سبلان - چشمه آبگرم سرعین (47°C) تقریباً خنثی، و سرانجام:

گروه جنوب سبلان - چشمه‌های برجلی یا بوشلی (77°C) باتراکم بالا از Cl ، HCO_3 و SO_4 و چشمه‌های تلار (24°C) و شور چمن (23°C) با PH‌های خنثی بهترین نشانه‌های سطحی جنوب سبلان را تشکیل می‌دهند (جدول ۱ و شکل ۶).

به طور کلی چشمه‌های چهارگانه آبگرم فوق، در یک طیف وسیع از ترکیب شیمیایی قرار گرفته و شامل آب‌های کلروره NaCl (PH)، خنثی، آب‌های ثانوی SO_4 - Na-HCO_3 و آب‌های اسیدی سولفات‌ها و اسیدی کلروره می‌گردند. این تنوع ترکیب شیمیایی را می‌توان به کمک نمودارهای مثلی با سه‌عامل تعیین‌کننده Cl ، SO_4 و HCO_3 نشان داد.

آب‌های کلروره ژرف با pH خنثی، از آب‌های ثانوی جانی SO_4 - HCO_3 و آب‌های آتشفشانی (Cl - SO_4) تفکیک می‌گردند (شکل ۶).

اگر چه میزان کلر در تمام چشمه‌های منطقه (شکل ۵)، نسبتاً بالا است، ولی چشمه‌های گروه سرعین با ۲۱۰ ppm به مراتب از چشمه‌های قینرجه (۱۵۰ ppm) و برجلی (۲۰۰۰ ppm) از شوری بسیار کمتری برخوردار است.

فعالیت‌های فومرولی در منطقه دیده نشده ولی در قطور سویی در حال حاضر، خروج گازهای سولفاتاری در جریان است.

الگوی آب زمین‌شناسی (Hydrogeology)

در قالب مطالعات مربوط به منابع زمین‌گرمایی، تنظیم و تدوین الگوهای زمین‌آب‌شناسی حائز اهمیت است. برای این کار سعی می‌گردد که با تلفیق داده‌های مختلف، وضعیت منبع حرارتی، سیال انتقال‌دهنده حرارت و در نهایت مخازن آبداغ تریک سیستم زمین‌گرمایی مدل‌سازی گردد. بدیهی است که این قبیل مدل‌ها پس از حفاری چاه‌های اکتشافی تصحیح و به واقعیت نزدیکتر خواهد شد.

خلاصه و نتیجه‌گیری

فعالتهای مجدد، و مراحل تکاملی مجموعه آتشفشان سبلان که منجر به تشکیل بافت و ساختار امروزی آن گردیده است بطور عمده مربوط به زمان پلیوسن به بعد می‌باشد که آنها را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- تشکیل روانه‌های گدازه‌ای تراکی-آندزیتی همراه با ضخامت قابل ملاحظه‌ای از توف، لاهار و برش‌های آترآوری پلیوسن (سازند ولهزیر).
- جاری شدن روانه‌های گدازه‌ای و تشکیل گنبدی‌تراکی-داسیتی و تراکی-آندزیتی همراه خروج توف و لاهار که با تشکیل نهانه سبلان بر پلیوستوسن آغازی (سازند توس) هم‌زمان بوده است.
- فعالیت مجدد و خروج گدازه‌های تراکی-آندزیتی به صورت گنبدی‌های سه‌گانه از داخل نهانه و تشکیل چکانه‌های سلطان، سبلان و کسرا در پلیوستوسن پاهانی (سازند کسرا) صورت گرفته است.
- تشکیل نهانه که با ایجاد گسل‌های کماتی (Arcuate Faults) همراه بوده است. به گونه‌ای که محدوده نهانه با حلقه‌های گسلی داخلی و خارجی (Inner and Outer fault rings) مشخص می‌گردند. حلقه داخلی با خد گسترش روانه‌های گدازه‌های سازند توس منطبق است.
- ناآرامی‌های مستمر در منطقه افزون بر ساختارهای کماتی، مجموعه‌ای از ساختارهای خطی (Linear Structures) در روندهای مختلف از جمله باختری، شمال‌باختری، شمالی و شمال خاوری را ایجاد کرده است. گسل‌های یادشده نقش بسیار مهمی در ایجاد تراوایی (Permeability) برای سیستم‌های زمین‌گرمایی در منطقه ایفاء می‌تمایند.
- اثر و رخنمون دگرسانی‌های گرمایی در منطقه بطور عمده به سازند ولهزیر محدود می‌گردد. به عبارت دیگر، گدازه‌های تراکی-آندزیتی و آترآوری‌های پلیوسن بیش از مجموعه‌های دیگر در توالی چینه‌نگاری آتشفشانی (Volcano stratigraphy) منطقه در معرض دگرسانی قرار داشته است. این دگرسانی‌ها به طور کلی بردوگونه است:
- دگرسانی‌های حرارت پائین با گسترش محلی بر اطراف چشمه‌های آبگرم، که به ویژه در قینرجه و بیزو فعال می‌باشد.
- دگرسانی‌های فسیل (Relict alterations) که مربوط به سیستم‌های گرمایی قنیمی می‌باشند. این دگرسانی‌ها که در زیرزمین و در حرارتی حداقل معادل ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فرسایش بخش‌های روبی موجبات ظاهر شدن آنها در سطح زمین را فراهم کرده است.
- نتایج حاصل از سنجش‌های M.T. در منطقه وجود ناهنجاری‌هایی با مقاومت کمتر از ۵ اهم‌متر را در شمال باختری و جنوب سبلان مشخص

جدول ۱- پاره‌ای از ویژگی‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های

منطقه سبلان

چشمه	دما °C	pH در °C	دبی (Lit/min)	موقعیت محلی در سبلان
قینرجه	۸۵	۶/۸۴ در ۱۴	-	دامنه شمال‌باختری
بوشلی	۷۷	۷/۳۰	۵/-	جنوب
شابل	۵۰	۶/۷۲ در ۱۴	-	دامنه شمالی
سرعهین	۴۷	۶/۰۰	۸۰	خاور
مویل	۴۶	۴/۲۸ در ۱۷	-	تره مویل
مویل ۲	۳۰	۳/۲۰ در ۱۷	۴۰	دامنه شمالی
قطورسویی	۳۹	۲/۵۲ در ۱۷	-	دامنه شمال‌باختری
ایلاندوز- بیزو	۳۶	۶/۰۴ در ۱۴	-	دامنه شمال‌باختری
دولار	۳۴	۶/۹۸ در ۲۰	-	دامنه شمال‌خاوری
شورچمن	۲۳	۶/۶۰ در ۱۷	-	دامنه جنوبی

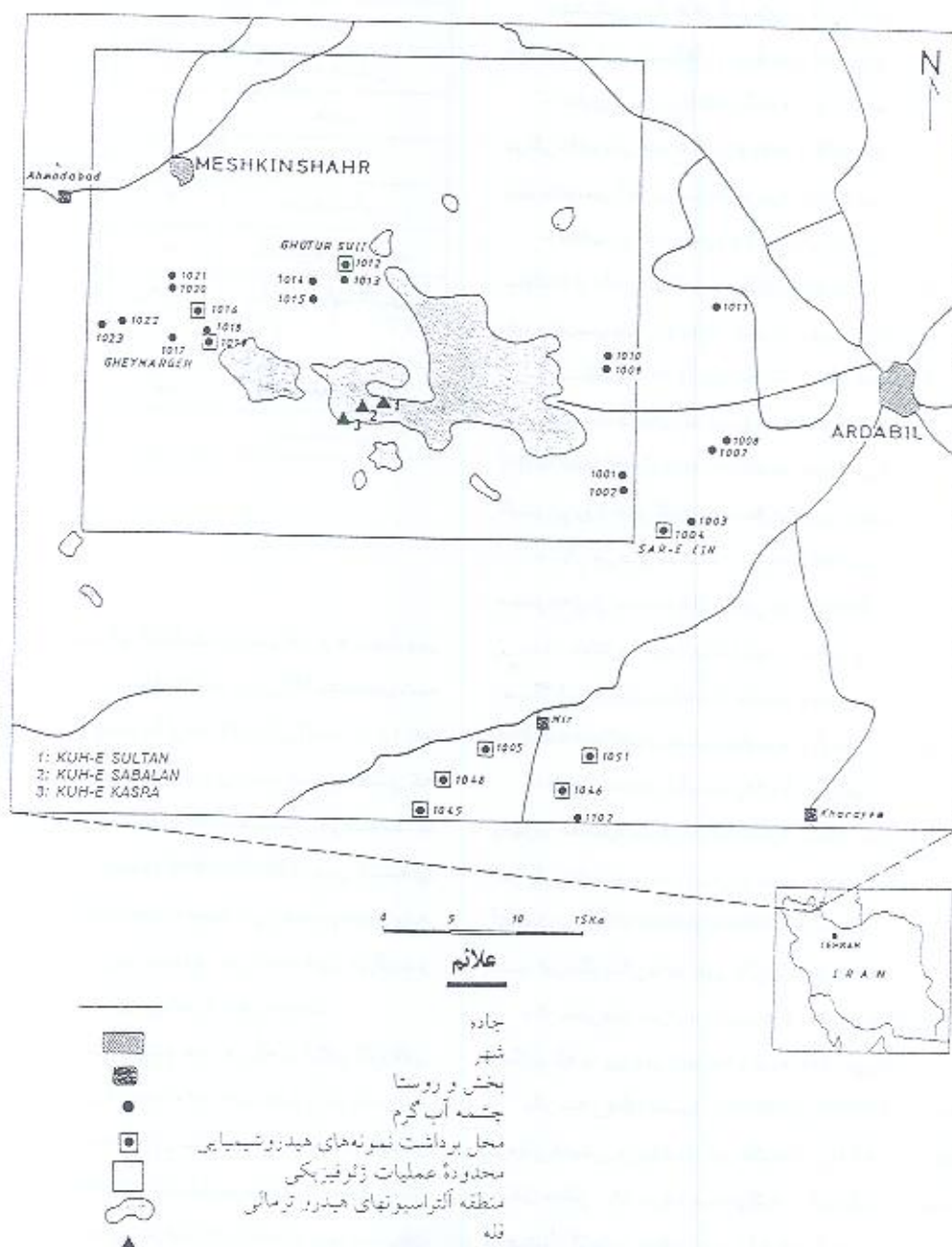
براساس تاریخچه فعالیت‌های آتشفشانی سبلان و همچنین ناهنجاری‌های مقاومت الکتریکی در منطقه که به روش MT مشخص شده است. نتیجه می‌گردد که: ناهنجاری‌های مقاومت الکتریکی (کمتر از ۱۰ اهم - متر) با محدوده نهانه در سطح منطبق می‌باشد. بدین معنی که ناهنجاری‌های مقاومت که طی برداشته‌های MT مشخص گردیده‌اند، با ساختارهای آتشفشانی که هم‌زمان با نهانه (Syn-Caldera)، یعنی گنبدی‌تراکی-داسیتی سازند توس تشکیل شده‌اند، منطبق می‌باشند. بر همین پایه، محل احتمالی منبع یا منابع حرارتی در محدوده مرز نهانه قرار می‌گیرد و سیالات انتقال‌دهنده حرارت بر پیرامون آنها در گردش هستند.

گازها و بخارهای متصاعد شده از منبع حرارتی که در قالب گاززدایی (Degassing) ماگما، از آن آزاد می‌گردند، بر امتداد سطوح تراوایی به افق‌های بالا صعود نموده و با از دست دادن حرارت، به انواع متراکم‌های زمین‌گرمایی (Condensate Geothermals) تبدیل می‌شوند. از سوی دیگر ممکن است بخارهای متصاعد شده پس از امتزاج با آب‌های زیرزمینی در حاشیه نهانه در داخل مخازن آب زیرزمینی (aquifers) (از جمله تره مویل)، به سیستم زمین‌گرمایی منطقه اضافه گردد (شکل ۷).

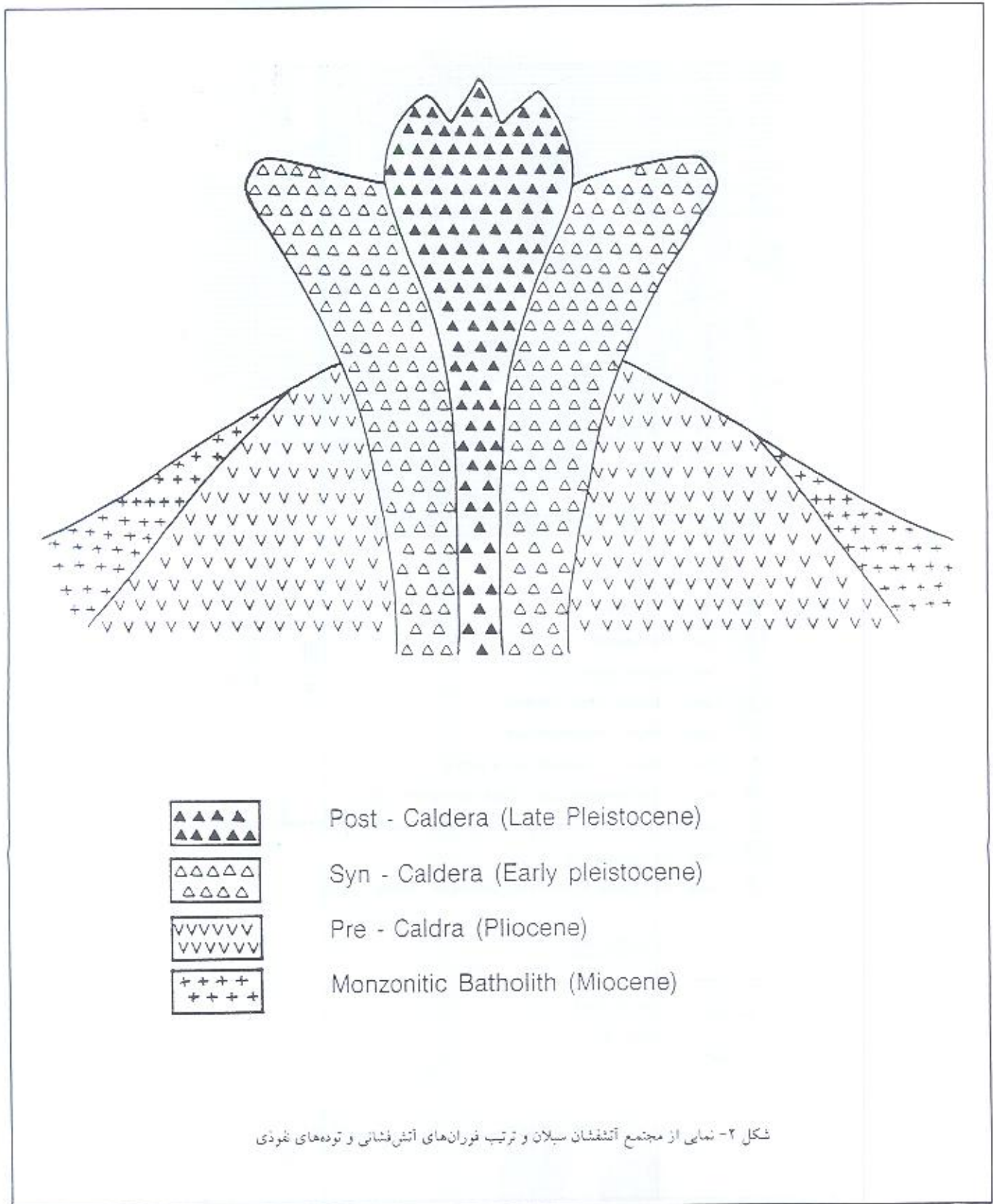
تشکر و قدردانی

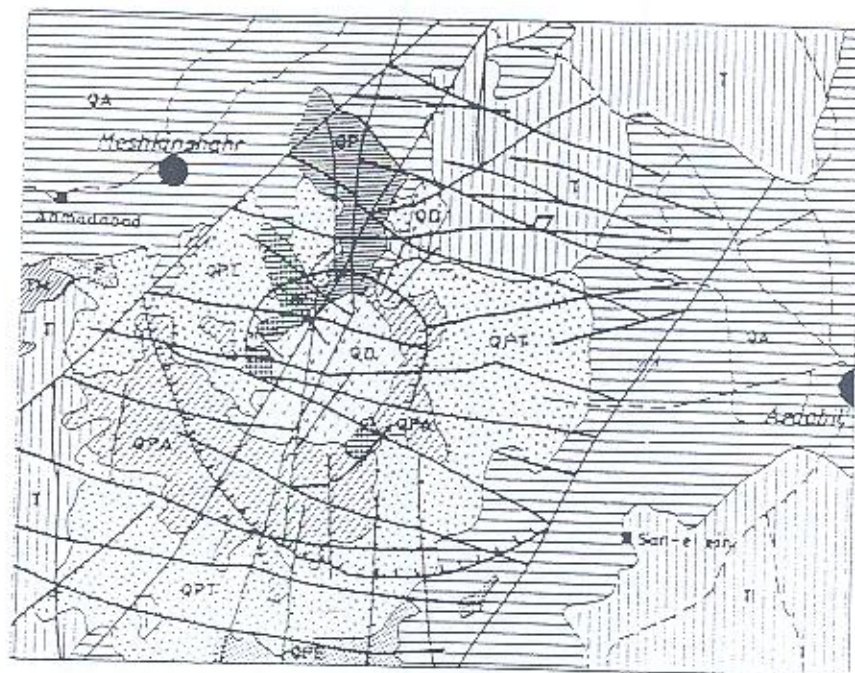
نویسنده لازم می‌داند از موافقت و تشویق مدیریت محترم سازمان انرژی‌های نو ایران در زمینه انتشار این مقاله تشکر و قدردانی نماید. همچنین جا دارد مراتب سپاس خود را از نظرات سازنده و راهنمایی مفید هیئت محترم داوران ابراز دارد.

می‌سازد. از سوی دیگر، وجود شواهد و نشانه‌های سطحی که با خروج گازهای شیمیایی اسیدی سولفاته در قطور سویی همراه است، بر وجود یک سیستم گسترده و با سیستم‌های پراکنده زمین گرمایی در منطقه دلالت دارد. ج/3/79 SAH1



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه عملیاتی اکتشاف منابع زمین گرمایی در سیلان استان اردبیل





Geological units

- Alluvium - Terraces
- Trachydacite domes
- Trachyandesite domes
- Lahara, Braccia, Minor Ignimbrite
- Trachyandesite - Trachybasalt lava
- Trachyandesite - Trachybasalt lava - Lahara
- Dacite - Trachyandesite Lava - Minor Ignimbrite - Tuff
- Tertiary (Dacite - Trachyandesite lava - Minor pyroclastic)
- Monzonite - Granodiorite
- Palaeozoic (Sandstone, Siltstone, Limestone, Schist - Marble)

Legend

- Road
 - City
 - Town
- 0 5 10 15 Km

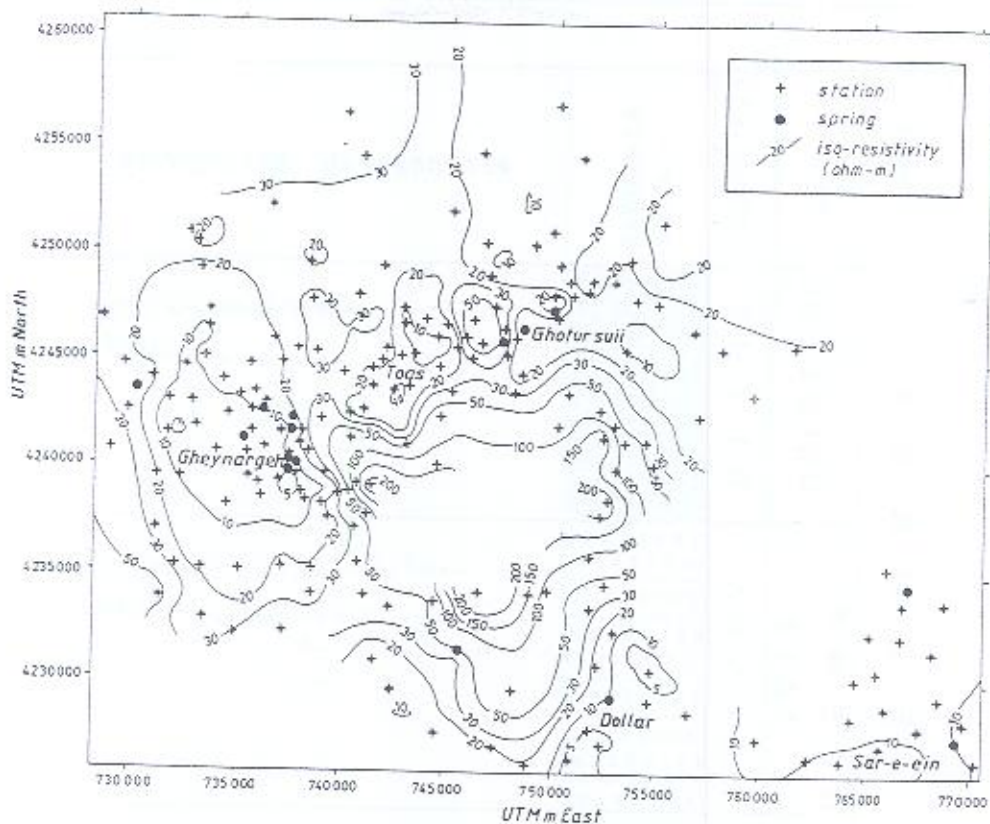
Structures

- fault
- Strike-slip fault
- Arcuate fault

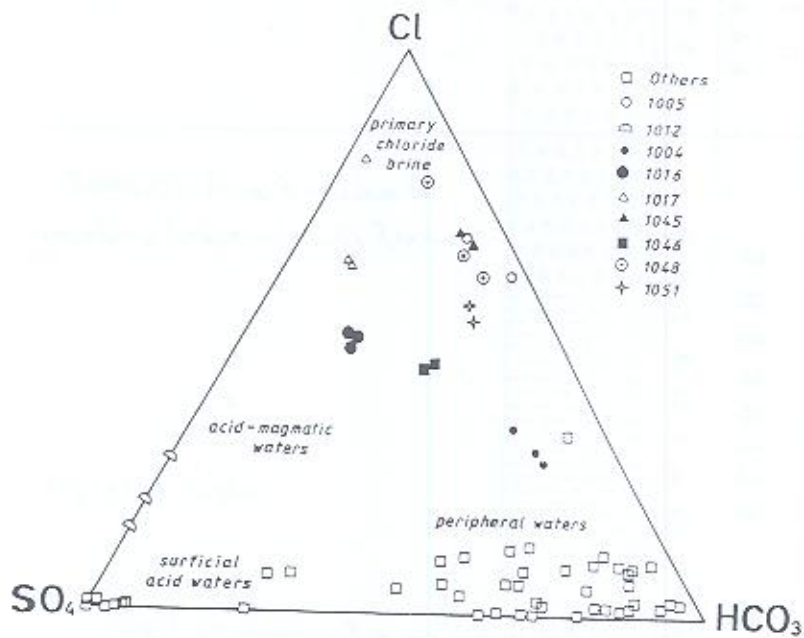
شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی مجموعه آتشفشان سبلان در استان اردبیل

Period	Epoch	FORMATIONS	ROCK - SEQUENCE	PETROGRAPHIC DESCRIPTION
QUATERNARY	HOLOCENE	DI ZUE		رسوبات آبرفتی، مخروطهای انکنه و پادگانه‌های آبرفتی
			PLISTOCENE LATE	KASRA
	PLISTOCENE EARLY	TAVOUS		
			TERTIARY	PLIOCENE

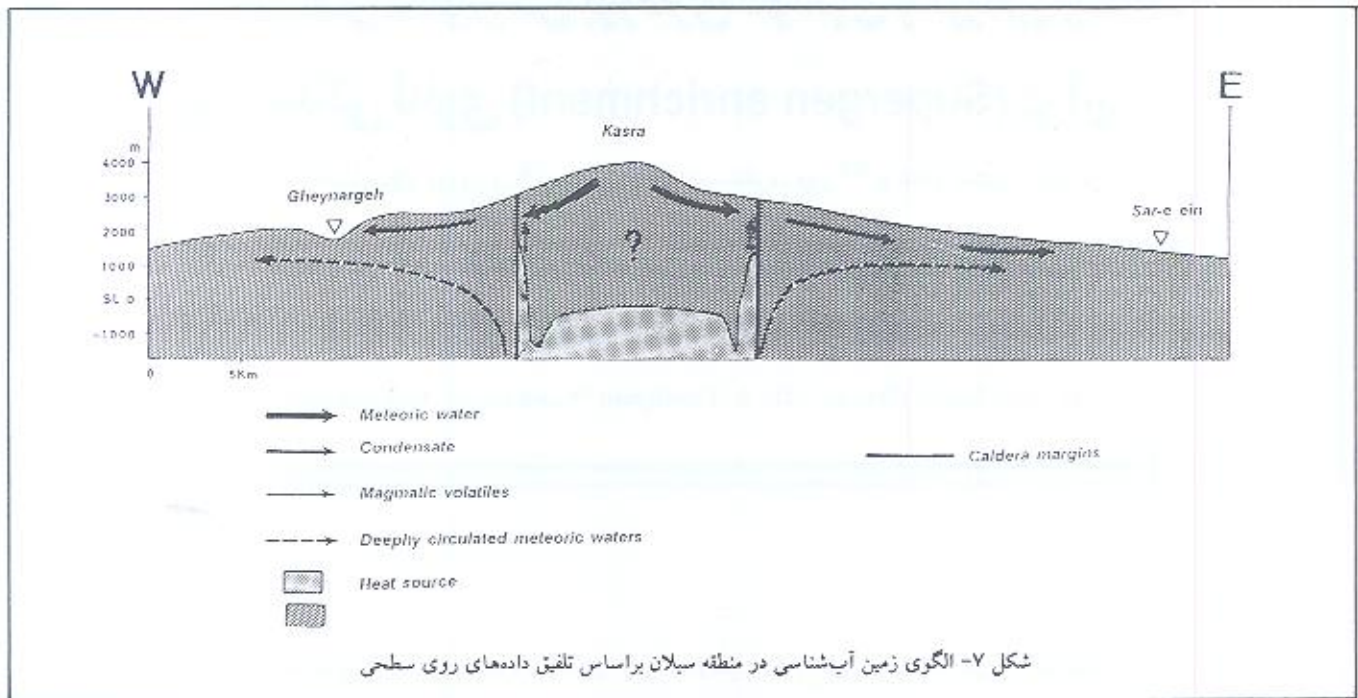
شکل ۴- توالی واحدهای سنگی در ستون چینه‌ای در شمال باختری سیلان



شکل ۵- نقشه تغییرات و ناهنجاری‌های مقاومت الکتریکی در منطقه سبلان برپایه ارزیابی MT با فرکانس 3HZ



شکل ۶- ویژگی‌های هیدروشیمیایی چشمه‌های آب‌گرم در سبلان برپایه مقدار HCO_3 و SO_4 و Cl و روند توزیع آن‌ها در منطقه



کتاب نگاری

سحابی، فریدون، ۱۳۷۵: سنگ شناسی رسوبی، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۱۵۵ (چاپ دوم) ۲۶۶ صفحه

References

- ENEL, 1983-Geothermal power development studies in Iran, General Report on Sabalan Zone. Report to the Ministry of Energy, Islamic Republic of Iran.
- Emami, M.H., 1994- 1:100/000 Geological map of Iran, Sheet 5566 (Meshkinshahr) Ministry of Mine and Metals, Geological Survey of Iran.
- Kingston Morrison Limited 1998-Report # 2505-RPT-GE-003. Sabalan Geothermal Project; Review of existing data.
- Kingston Morrison Limited, 1999-Report # 2505- RPT-GE 016. Report on Sabalan Geophysical Survey(3 Vols).
- Kingston Morrison Limited 1999-Report # 2505- RPT-GE- 017m Rev.1. FINAL REPORT.Detailed Geological Mapping, Assessment and Targetting of Exploration Drilling Area, Northwest Sabalan.
- Sahabi, F., Khoshlessan, M.R., Barnett P.R., 1999-Geothermal exploration of Mount Sabalan, NW. Iran. Geothermal Resource Council Transactions, Vol.23, pp 479-484.
- Tehran Berkeley Consulting Engineers (TBCE), 1979- Geothermal Power Development Studies, Sabalan Zone. Geochemical Survey. Report to the Ministry of Energy, Islamic Republic of Iran.
- Yousefi, E., Friedberg, J.L., 1978- Aeromagnetic Map of Iran(Quadrangle No. C20, Ahar).

* پژوهشکده علوم زمین - سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور * Geoscience Research Institute, Geological Survey of Iran