

بررسی ساختاری گسل‌های ایرا و نوا در جنوب شرق آتشفشان دماوند با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی

بهروز اسکویی^{۱*} و صفیه امیدیان^۲

^۱ دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۱/۳/۲۷، پذیرش نهایی: ۹۳/۲/۳۰)

چکیده

بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی، گسل‌های ساختاری ایرا و نوا با روند ESE و دارا بودن سازوکار معکوس در شرق آتشفشان دماوند، جزء سامانه زمین‌ساختی البرز مرکزی محسوب می‌شوند. ادامه روند این گسل‌ها به سمت غرب، با تعدد شاخه‌های فرعی فعالی همراه است که با تغییر جهت بارز به زیر گدازه‌های دماوند در منطقه آب اسک محو می‌شوند. از آنجا که مطابق تحقیقات جدید، سامانه‌های نوپای زمین‌ساختی از 2 ± 5 میلیون سال پیش در این ناحیه مستقر شده‌اند، حرکات راست‌گرد فشارشی به نوع چپ‌گرد تغییر یافته است و موجب فعالیت‌های بزرگ‌مقیاس ساختاری و مستولی شدن سامانه‌های تراکشی با روند NNW در البرز شده است. در این تحقیق برای یافتن اثراتی از فعالیت‌های جدید زمین‌ساختی و مرور دوباره نظرات پیشین در تطبیق با یافته‌های جدید، گسل‌های شرقی منطقه چالش‌برانگیز دماوند، به روش مغناطیس‌سنجی بررسی شد. با برداشت بیش از ۲۸۰ داده مغناطیسی در امتداد دو نیم‌رخ شمالی-جنوبی و پردازش و تفسیر آنها، نقشه‌های حاصل از اعمال فیلترهای انتقال به قطب، مشتق قائم مرتبه اول، ادامه فراسو و سیگنال تحلیلی تهیه و بررسی شدند. از آنجا که خروجی مشتق قائم مرتبه اول از مستندترین روش‌ها برای بررسی نواحی زمین‌ساختی و گسلیده محسوب می‌شود، لذا با تأکید بیشتر و هماهنگی با بررسی‌های ساختاری جدید، نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواری بررسی شد. نتایج جالب‌توجه تفسیر و تلفیق این داده‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر گسل‌های دیگری که در این منطقه به موازات گسل‌های عمومی (ESE) وجود دارند و در نقشه‌ها وجود آنها نمایش داده نشده و به واسطه حرکات لغزشی جدید در زیر آبرفت‌ها و واریزه مدفون هستند، روندهایی مطابق با سامانه جدید کششی حاکم بر البرز نیز وجود دارند. روند این گسل‌ها NNW و با سازوکار نرمال، حرکات کششی ناشی از جابه‌جایی واحدهای سنگی را در خود ثبت کرده‌اند. شواهد ناشی از فعالیت تراکشی آنها در واحدهای ائوسن به بعد به خوبی مشهود است و بیشتر واسطه بین گسل‌های بزرگ پیشین با روند شرقی-غربی هستند.

واژه‌های کلیدی: آتشفشان دماوند، البرز، گسل‌های ایرا و نوا، مشتق قائم، مغناطیس‌سنجی

Surveying the Ira and Nava faults (south east of Damavand volcano) using magnetometry method

Oskooi, B.¹ and Omidian, S.²

¹Associate Professor, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²M.Sc. Graduated, Faculty of Geology, University of Tehran, Iran

(Received: 16 Jun 2012, Accepted: 20 May 2014)

Summary

Structural evolution of Alborz has already been mentioned by many researchers all over the world. Central Alborz is located in the bending of the eastern and the western Alborz.

E-mail: boskooi@ut.ac.ir

*نگارنده رابط: تلفن: ۰۲۱-۶۱۱۸۲۳۸

Damavand volcano is situated in the bending part along the great and active faults such as Mosha, North of Baijan, Ask, Nava and Ira. The Nava and Ira faults are in the eastern side of Damavand volcano with a trend of ESE parallel to the general tenor of faulted and fractured part of western Alborz .

Based on the geological map, both faults are active reverse structures which are hidden under lavas. With regard to the structural studies, Ira and Nava are active and related to the other unknown faults with the same trend and also with a trend of WNW that show the new established transtension mechanisms prevailing on the Alborz.

Geologically, it is believed that some new tectonic events affect the structural evolution in the region, such as new extensional system with the WNW trend activated during 5 ± 2 m.y. In this study we extensively applied geophysical methods combined with former structural data to find any event of the neo-tectonic systems in the area. Due to being more applicable, magnetometry was used for surveying the unconformities .

The field study concentrated on the faulted and fractured sedimentary bedrock of Alborz, east of Damavand. The average height level is about 4000 meter. Because of the hard topographic conditions, we could design only two North-South profiles. Total magnetic field variations were measured using a moving proton magnetometer and one system as the remote base. More than 286 data points were collected and processed to extract the best model out of the reduction to the pole transform, first vertical deviation, upward continuation and analytical signal. The model of the first vertical deviation is the best reliable output to show the anomaly of tectonic signature .

With this filter, amplitude spectra were enhanced as well as the wave numbers. Another advantage of this method is the detecting any type of geological and subsurface block movements caused by the faults, folding or other tectonic events.

First vertical deviation proves the best model compared to the other models and with correlation to the geological map, it presents many important insights of minor and major faults that were hidden before .

In our founding, two NWN junction faults are remarkable which verify the activation of new transtensional system due to having the sign of normal-strike slip movements in the tectonic of the Eocene units. It seems that they are minor repeatedly faults with the normal movement of the hanging wall towards SW .

In general we recognized, approximately eight fault mechanisms at subsurface whose signatures are not shown on the geological maps of the region. Some of them belong to the former reverse system and two of them are in accordance with the new conventional transtension system with WNW tenor and the normal movement.

Keywords: Alborz, Damavand volcano, Ira and Nava faults, Magnetometry, Vertical derivative

۱ مقدمه

۱۹۶۲؛ آسرتو، ۱۹۶۶؛ بوت و درووی، ۱۹۶۱؛ بروس و معین وزیری، ۱۹۸۲). بخش البرز مرکزی به علت واقع شدن در محل خمش ساختارهای شرقی و غربی البرز و همچنین وجود آتشفشان دماوند و نزدیکی به گسل‌های

زمین ساخت پیچیده البرز، همواره مورد توجه زمین شناسان و مفسران بزرگ دنیا بوده است. از دهه‌های اول قرن ۱۹، دانشمندان بسیاری از سراسر دنیا برای بررسی این پیچیدگی‌ها منطقه را مورد بازدید قرار داده‌اند (آلنباخ،

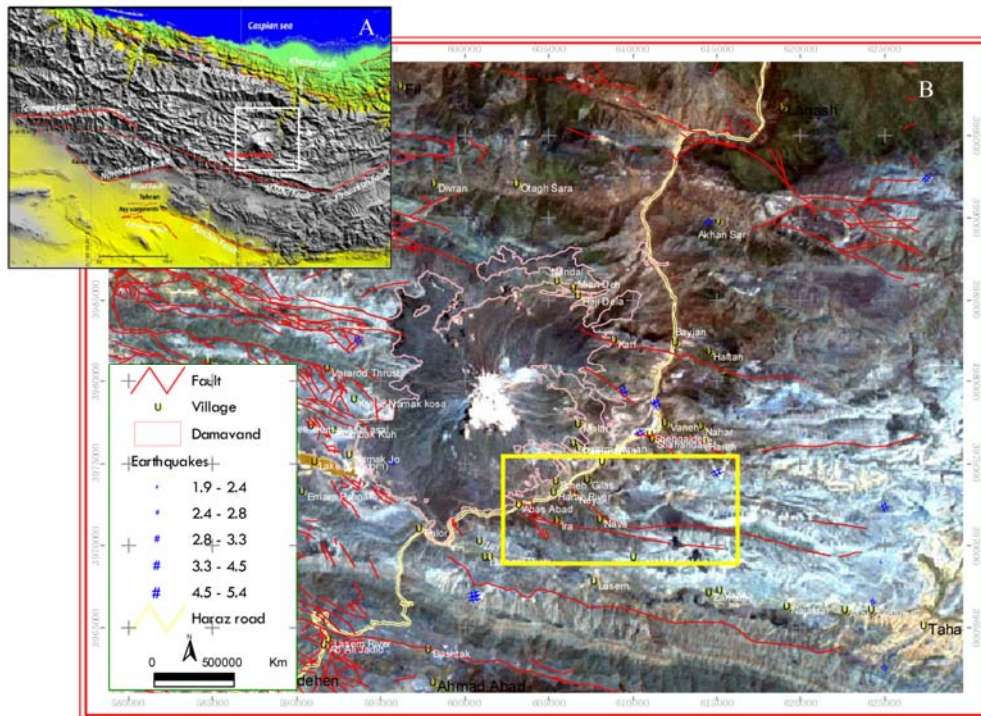
مغناطیسی زمینی که در طی این تحقیق جمع‌آوری شده‌اند، بررسی شدند. همان‌طور که در شکل ۲ نمایش داده شده است گسل‌های فرعی با روند NNW در ناحیه اسک، گسل احتمالی ایرا را قطع کرده‌اند. بررسی صحت وجود و عملکرد آنها، بررسی روند و شیب این گسل‌ها و همچنین پاسخ به ابهامات موجود در تغییر روند تاقدیس‌های مهم (تاقدیس پلورکوه) و ناودیس‌های این ناحیه (ناودیس گیلان)، از جمله اهداف مهم این بررسی بوده است.

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، در امتداد گسل نوا، ناودیس گیلان روی ساختمان جنوبی بعدی (یعنی تاقدیس پلورکوه) رانده شده است. در پهلوی شمالی تاقدیس پلورکوه تشکیلات لار زیر منطقه باریکی از تشکیلات شمشک که مظاهر نامناسبی هستند، فرومی‌روند. این تشکیلات شمشک که روی آن دلیچای و آهک لار قرار گرفته به پهلوی جنوبی ناودیس رانده شده گیلان تعلق دارد. از راه این گسل است که گدازه‌های تراکی بازالتی شرق دماوند، به‌صورت رشته باریک در ناودیس گیلان جریان یافته‌اند. در نزدیکی نوا این گسل از تراست‌های دوران چهارم پوشیده شده است. در ناحیه ایرا، عضوهای طبقات دوران اول به‌طور غیرمنتظره‌ای برونزد دارند که با یک گسل تند شیب بالا زده شده‌اند. شاخه‌های فرعی این گسل در این جا نمایان هستند، ولی ادامه گسل واضح نیست و به‌صورت احتمالی در نقشه نمایش داده شده و در شیب‌ها و ماسه‌سنگ‌های شمشک محو شده است. لذا پرسش‌های زیر در مورد این منطقه مطرح است:

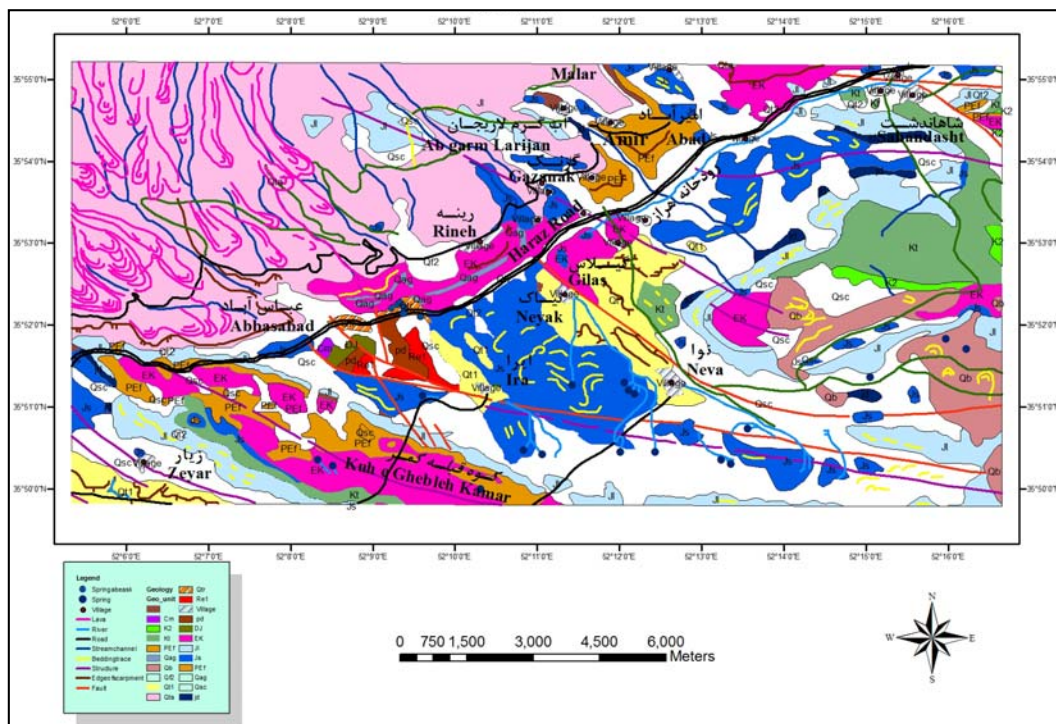
- آیا این یک گسل معکوس واقعی است؟
- آیا شاخه‌های فرعی این گسل‌ها و زون خرد شده بین دو گسل ایرا و نوا مولد گسل‌های فرعی با استرایک NNW-SSE هستند و در جابه‌جایی واحدها و ساختارهای زمین‌ساخت این ناحیه نقش دارند؟

فعال شمال پایتخت، همواره اهمیت ویژه‌ای داشته است (شکل ۱). یکی از مسائل اساسی در این ناحیه که همیشه منبع چالش‌های بزرگی در میان متخصصان بوده، تغییر توالی زمین‌ساختی در این ناحیه است. در این تحقیق، تحولات ساختاری بخش کوچکی از منطقه البرز مرکزی و در بردارنده گسل‌های ساختاری ایرا و نوا واقع در جنوب شرق دماوند به روش‌های مغناطیس‌سنجی بررسی شده است.

یافتن پاسخی بدیهی به روش‌های ژئوفیزیکی برای بررسی صحت نظرات متناقضی که در مورد زمین‌ساخت البرز مرکزی مورد توجه بوده است، هدف اساسی تحقیق حاضر است. مسلم است که ساختارهای بزرگ‌مقیاس این ناحیه شدیداً گسلیده و چین‌خورده با روند تقریبی E-W (در محدوده مورد بررسی سوی کلی روندها، WNW-ESE است) منطبق با فشارش N10-20E صفحه عربی به صفحه ایران است. به واسطه این رژیم تنش، روند تراست‌ها و گسل‌های معکوس و محور چین‌ها عمود بر جهت فشارش است (بربریان، ۱۹۹۶؛ آسرتو، ۱۹۶۶؛ آلباخ، ۱۹۶۶) ولی از 2 ± 5 میلیون سال پیش با غلبه مؤلفه امتداد لغز چپ‌گرد، حرکت برشی چپ‌گرد به جای حرکت برشی راست‌گرد، نیز به این ناحیه القا شده است و همه گسل‌های منطقه (مشا، طالقان، کندوان، فیروزکوه و موارد دیگر) دارای مؤلفه امتداد لغز چپ‌گرد بسیار واضحی هستند. علت این امر را اولین بار آلن و همکاران (۲۰۰۳) به شروع به حرکت راست‌گرد حوضه خزر جنوبی نسبت داده‌اند. به علت تداخل این دو رژیم تنش اصلی و غلبه رژیم تنش برشی، اخیراً گسل‌های منطقه و به‌خصوص گسل‌های فرعی ناشی از فعالیت گسل‌های بزرگ، مؤلفه نرمال را در خود ثبت کرده‌اند (امیدیان، ۱۳۸۶). به علت این سابقه زمین‌ساختی، گسل‌های نوا و ایرا در حکم دو گسل معکوس با روند WNW در جنوب شرق-شرق دماوند به صورت نمونه انتخاب و با داده‌های



شکل ۱. موقعیت کلی زون البرز مرکزی در شکل A و تصویر ماهواره‌ای ETM منطقه مورد بررسی و نمایی از آتشفشان دماوند و موقعیت گسل‌های اطراف نسبت به آن در شکل B آورده شده است. کادر زرد رنگ حدود منطقه ایرا و نوا را در شرق آتشفشان نمایش می‌دهد.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی از گسل‌های ایرا و نوا در جنوب شرق آتشفشان دماوند.

۲ روش بررسی

در میان دانش‌هایی که در بررسی ساختارهای زمین‌شناسی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، روش‌های ژئوفیزیکی جایگاه خاصی دارند. در این بین، می‌توان روش‌های مغناطیسی را به منزله یکی از روش‌های قابل توجه، در شناخت عوارض زمین‌شناختی به خصوص در مشخص ساختن حوضه‌های ناپیوستگی مورد استفاده قرار داد (جانسون، ۱۹۶۹). روش‌های مغناطیسی کاربردهای زیادی دارند و در مواردی که روش‌های دیگر ژئوفیزیکی قادر به نتیجه‌گیری واحد و مشخصی نباشند، می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشند. همچنین از جمله مزایای استفاده از این روش این است که هزینه تحقیقات مغناطیسی نسبت به دیگر روش‌های ژئوفیزیکی کمتر است. امروزه با پیشرفت فناوری، روش‌های اکتشافی مغناطیسی نیز در زمینه داده‌برداری، تفسیر و پردازش آنها از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری گسترش زیادی داشته‌اند.

۳ برداشت داده‌های مغناطیس‌سنجی

برای شناسایی و بررسی گسل‌های این ناحیه، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی بررسی و سپس با توجه به نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه و با توجه به هدف اجرای طرح، چندین نیم‌رخ به منظور برداشت داده‌های مغناطیسی طراحی شد. انتخاب وسایل و تجهیزات در یک عملیات صحرائی به نوع تحقیقات مورد نظر بستگی دارد. در این نوع بررسی از مغناطیس‌سنج پروتون شرکت سینترکس (Scintrex) کانادا در اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین استفاده شده است که مزیت آن نمونه‌برداری سریع است. در هر بار داده‌برداری با استفاده از دستگاه مغناطیس‌سنج پروتون میدان مغناطیسی کل (Total) زمین اندازه‌گیری شده است. تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری در نیم‌رخ اول، ۱۷۱ و بر روی نیم‌رخ دوم،

۱۱۵ ایستگاه بوده است. فاصله ایستگاه‌ها تا یکدیگر براساس میزان تغییرات شدت میدان متفاوت بوده است، بدین صورت که هر چه تغییرات میدان شدیدتر بوده فواصل ایستگاه‌های اندازه‌گیری تا کمتر از ۱ متر رسیده است.

طراحی نیم‌رخ‌ها می‌باید به نحوی صورت می‌گرفت که کمینه شرقی-غربی نباشند چون در این حالت در جهت شار مینیمم حرکت می‌کنند و کمترین اطلاعات از بی‌هنجاری احتمالی برداشت می‌شد و در نتیجه مدل کردن، مشکل و غیر قابل اعتماد می‌بود. در این تحقیق طراحی نیم‌رخ‌ها شمالی-جنوبی و عمود بر راستای روند تقریبی گسل‌های منطقه بوده است تا راستای نیم‌رخ‌ها هر دو قطب مثبت و منفی بی‌هنجاری مغناطیسی را قطع کنند.

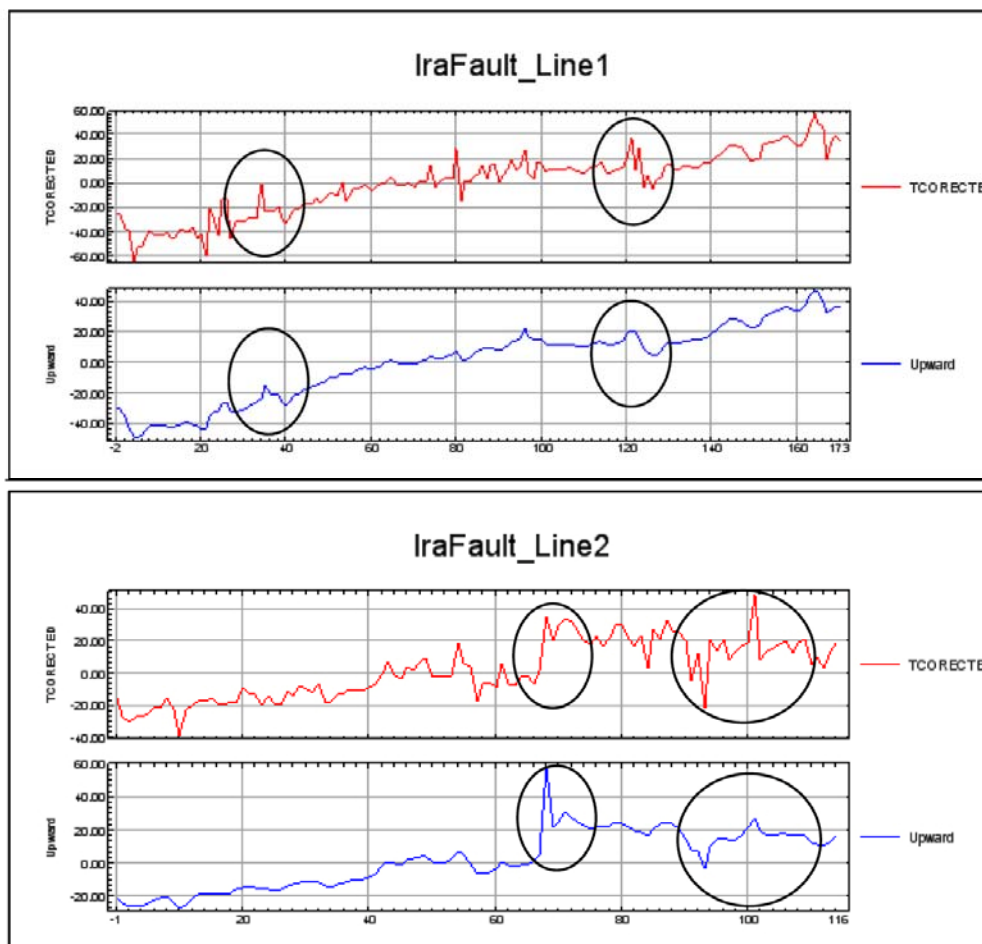
در همه عملیات داده‌برداری مغناطیس‌سنجی همواره دو مجموعه دستگاه مغناطیس‌سنج مورد نیاز است. مجموعه‌ای از دستگاه‌ها که کاربر آن را حمل می‌کند و به طور پیوسته میدان مغناطیسی کل را اندازه‌گیری می‌کنند. اما مجموعه دستگاه دیگر برای اعمال تصحیحات روزانه میدان مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری که در حوالی هر محل که عملیات برداشت میدان کل صورت می‌گیرد، یک دستگاه مغناطیس‌سنج پروتون میدان زمینه را اندازه‌گیری می‌کند. این دستگاه می‌باید در محلی دور از نوفه نصب شود و اغلب در بازه‌های زمانی ۵-۱۰ دقیقه میدان را ثبت می‌کند. میدان ثبت شده به این روش را می‌توان از مقادیر به دست آمده کم کرد تا میزان بی‌هنجاری محلی به دست آید (باتلر، ۱۹۹۲).

۴ پردازش، وارون‌سازی و تفسیر داده‌ها

در این مرحله ابتدا داده‌ها به دقت مورد بررسی قرار گرفت تا در صورت وجود، داده‌های نادرست از میان آنها حذف شود، سپس تصحیحات روزانه با توجه به داده‌های

ناحیه‌هایی که نیم‌رخ داده‌برداری مغناطیس زمینی از گسل‌ها عبور کرده است، دارای اعوجاج کاملاً مشخص و برجسته در داده‌های مغناطیسی هستند. این نواحی با بیضی مشخص شده‌اند. از این شکل به خوبی پیدا است که در هر دو نیم‌رخ داده‌برداری شدت بی‌هنجاری ناشی از گسل به حدی است که نه فقط در نمودار شدت میدان کل (نمودارهای قرمز رنگ قاب بالایی)، بلکه در نمودار ادامه فراسو نیز دیده می‌شوند (نمودارهای آبی رنگ قاب پایینی).

ایستگاه مبنا (Base station) اعمال شد تا تغییرات روزانه میدان مغناطیسی زمین که اغلب منشأ خارجی دارد، حذف شود. در این مرحله، اثر دوقطبی میدان اصلی زمین یا به اصطلاح میزان (IGRF International Geomagnetic Reference Field) از داده‌ها کم می‌شود. سپس با توجه به هدف تحقیق، فیلترهای خاصی بر داده‌ها اعمال خواهد شد (لی و الدنبرگ، ۱۹۹۶). شکل ۳ نمودار تغییرات شدت میدان در راستای هر دو نیم‌رخ برداشت داده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ پیدا است،



شکل ۳. نمودار داده‌های میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیحات روزانه و IGRF به همراه نمودار ادامه به فراسو تهیه شده برای نیم‌رخ‌های ۱ و ۲ با نرم‌افزار Geosoft. در هر شکل نمودار بالایی داده‌های تصحیح شده و نمودار پایینی داده‌های فراسو شده را نشان می‌دهد. ارتفاع فیلتر ادامه به فراسو به صورت تجربی و تا حد حذف نوفه‌های سطحی (بسامدهای زیاد) انتخاب شده است. نواحی محدود به بیضی‌ها، محدوده گسل‌ها را نشان می‌دهند. محور افقی، فاصله به متر می‌باشد.

فیلترهای اعمال شده، فیلتر ادامه به فراسو یا فرایند انتقال داده‌های اندازه‌گیری شده میدان پتانسیل از یک سطح به سطوح بالاتر است. این روش گاهی به‌خاطر ساده‌تر شدن تفسیر کیفی نقشه‌ها به‌کار می‌رود؛ زیرا این روش، شکل ظاهری نقشه‌های مغناطیسی را به‌واسطه از بین بردن اثر عوارض سطحی و محلی ساده‌تر می‌کند (تلفورد و همکاران، ۱۹۷۴). در این تحقیق از نرم‌افزار ژئوسافت برای حذف یا تصحیح مجموعه‌ای داده‌های مربوط به چشمه‌های سطحی استفاده شده است. همچنین فیلترهای انتقال به قطب، مشتق قائم، ادامه فراسو و سیگنال تحلیلی روی داده‌ها اعمال شده و نتایج آنها مورد بحث قرار گرفته است.

۵ تبدیل انتقال به قطب

شکل بی‌هنجاری‌های مغناطیسی حاصل از توده‌های گوناگون علاوه بر پارامترهای توده به مختصات جغرافیایی محل توده نیز بستگی دارد. چون بخش بزرگی از پاسخ مغناطیسی حاصل از مغناطیس القایی ناشی از میدان زمین است و مقدار و جهت میدان زمین نیز در مکان‌های گوناگون، متفاوت است بنابراین شکل بی‌هنجاری یک منشأ خاص در مکان‌های گوناگون، متفاوت است. تبدیل انتقال به قطب، مقدار شدت کل میدان مغناطیسی را برای حالتی که جهت مغناطیسی و همچنین جهت میدان زمین قائم است (مانند شرایط قطب‌های مغناطیسی زمین) محاسبه می‌کند، بنابراین این تبدیل انتقال به قطب نام گرفته است (اینمان، ۱۹۷۵). پس از اعمال این تبدیل بی‌هنجاری‌های شدت کل میدان روی توده منشأ خود قرار می‌گیرد و تشخیص محل توده‌ها در این حالت ساده‌تر است. نقشه انتقال به قطب داده‌های منطقه ایرا در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حد واسط داده‌های کمینه و بیشینه داده‌های تصویری شدت

نقشه شدت میدان مغناطیسی داده‌های منطقه ایرا پس از اعمال تصحیحات روزانه و IGRF. به همراه نیم‌رخ‌های برداشت داده در شکل ۴ نمایش داده شده است. با به‌کارگیری فیلترهای متداول در روش‌های پتانسیل، اطلاعات لازم برای تفسیر کیفی منطقه از داده‌ها استخراج شده است. با تبدیل داده‌ها از حوزه مکان به حوزه زمان با استفاده از تبدیل فوریه، می‌توان فهم بهتری از فیلترها و نحوه عمل آنها در اکتشافات مغناطیسی پیدا کرد. هر کدام از فیلترها با اعمال تغییراتی روی طیف فاز و دامنه داده‌ها، ساختار بسامدی داده‌ها را تغییر می‌دهند. با برگردان داده‌ها به حوزه مکان می‌توان اثر تغییرات حاصل را مشاهده کرد (بلیکلی، ۱۹۹۵). در این تحقیق فیلترهای انتقال به قطب (Reduction to the pole Transform)، مشتق قائم مرتبه اول (First Vertical Derivative)، ادامه فراسو (Upward continuation) و سیگنال تحلیلی (Analytical signal) بر داده‌های مغناطیسی اعمال شده است. برای مثال فیلتر مشتق قائم، طیف دامنه تبدیل فوریه داده‌ها را در یک تابع فیلتر خطی ضرب می‌کند ولی طیف فاز را تغییر نمی‌دهد. این عمل منجر به این می‌شود که عدد موج‌های بزرگ (طول موج‌های کوچک) نسبت به عدد موج‌های کوچک وزن بیشتری پیدا کنند. طول موج‌های کوچک در ژئومغناطیس مربوط به بی‌هنجاری‌های سطحی و کم‌عمق هستند. با برگردان این حاصل ضرب به حوزه مکان می‌توان بی‌هنجاری‌های کم‌عمق را بهتر و واضح‌تر مشاهده کرد. با استفاده از این فیلترها خواص گوناگونی از منشأهای ایجادکننده می‌توان به‌دست آورد؛ داده‌های شدت کل میدان موجود، اطلاعاتی از محل، شکل و همچنین یک برآورد کیفی از عمق نمونه‌هایی از این اطلاعات ارزشمند است. تحلیل زمین‌ساختی داده‌ها نیز با اعمال فیلتر برگردان به قطب و پس از آن مشتق قائم راحت‌تر صورت می‌گیرد. از دیگر

میدان مغناطیسی، به صورت روند زردرنگی است که با شکستگی‌ها و گسل‌های عمیق منطقه هم‌راستا است (شکل‌های ۲ تا ۷) و از سویی دیگر با محل مشکوک به گسل که در بررسی‌های صحرایی شناسایی شده است، مطابقت دارد.

۶ تبدیل مشتق قائم

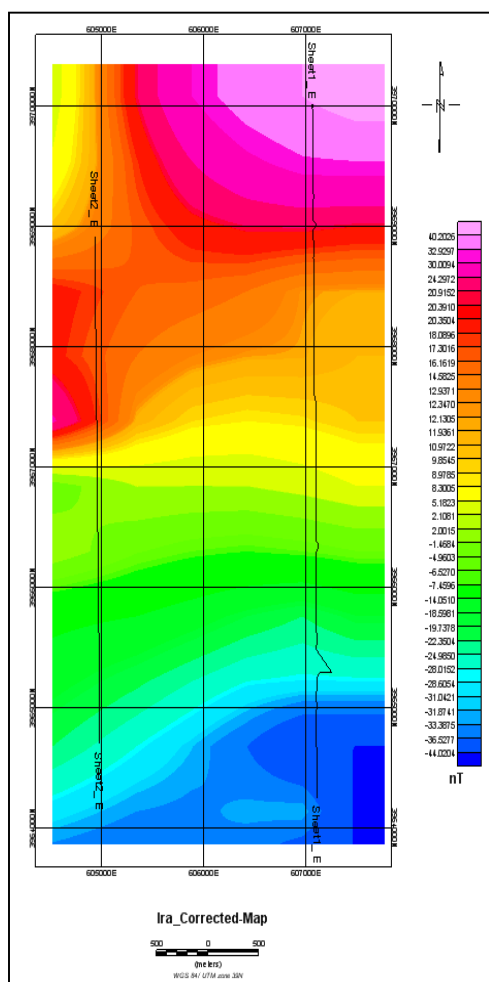
مشتق قائم یکی از ابتدایی‌ترین و مهم‌ترین ابزارهای تفسیر داده‌های پتانسیل است. با استفاده از این تبدیل می‌توان منشأهای سطحی‌تر و کم‌عمق‌تر را تقویت و با تفکیک بهتری مشاهده کرد. مشتق قائم مرتبه اول برابر است با مشتق قائم مرتبه دوم پتانسیل. در این تبدیل در حوزه فوریه، طیف دامنه‌ها به میزان عدد موج تقویت می‌شوند و مؤلفه‌های با طول موج کوتاه میدان در مقایسه با مؤلفه‌های طول موج بلند تقویت می‌شوند. نطفه‌ها نیز که جزء مؤلفه‌های طول موج کوتاه هستند تقویت می‌شوند و باید آنها را شناسایی کرد. یکی از مزیت‌های نقشه مشتق قائم این است که می‌توان با آن جابه‌جایی بلوک‌ها را که در اثر گسلش، چین‌خوردگی و دیگر پدیده‌های زمین‌ساختی ایجاد شده‌اند را تشخیص داد و از این راه محل گسل‌ها و شکستگی‌های پنهان و غیرپنهان و عمیق و غیرعمیق را پیدا کرد (بها تاچاریا، ۱۹۶۴، ۱۹۸۰).

برای تحلیل ساختار زمین‌ساختی منطقه مورد بررسی، ابتدا بیشتر خطوط‌واره‌های موجود در نقشه مشتق قائم رسم شدند. با تلفیق اطلاعات حاصل از نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌توان ساختارهای گسلی مشخصی را در نظر گرفت. شکل ۶ نقشه مشتق قائم مرتبه اول داده‌های منطقه به همراه خطوط معرف گسل‌های احتمالی منطقه را نشان می‌دهد. از شواهد میدانی و ساختاری حاصل از تحقیقات پیشین (امیدیان، ۱۳۸۶، امیدیان و الیاسی، ۲۰۱۲؛ قنبری، ۱۳۹۰) در تفسیر و تعبیر صحت وجود این خطوط‌واره‌ها، به نحو

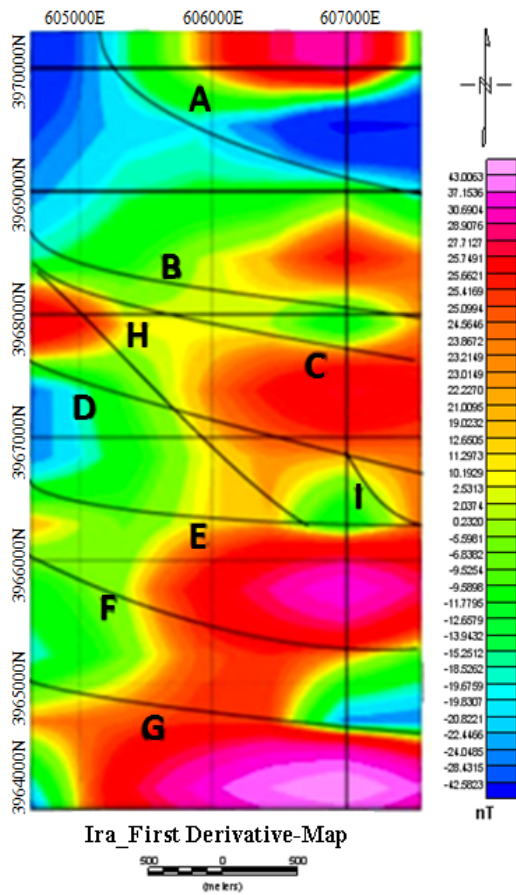
مقتضی بهره گرفته شد.

۷ تبدیل ادامه فراسو و سیگنال تحلیلی

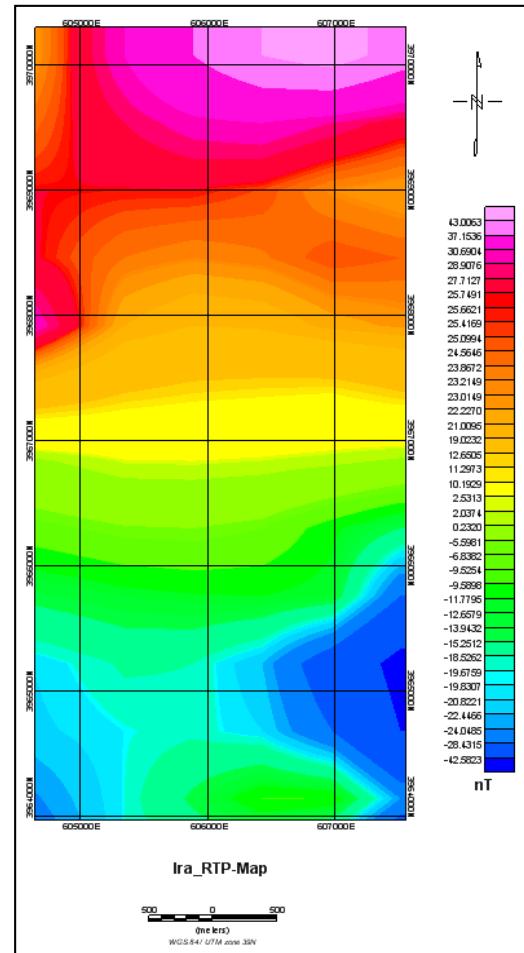
هرچند روش‌های سیگنال تحلیل و تبدیل ادامه فراسو از روش‌های عمومی در تفسیر داده‌های مغناطیسی محسوب می‌شود، ولی به واسطه موضوع مورد بررسی که به شناسایی ساختارهای خطی و در نهایت گسلی ناشی از تحولات زمین‌ساختی ربط دارد، روش تبدیل مشتق قائم قابل استناد است؛ زیرا اعمال این روش و نتایج حاصل از آن به طور گسترده‌ای در تحلیل زمین‌ساختی نواحی کوهستانی بهره گرفته می‌شود (فدی و همکاران، ۱۹۹۹).



شکل ۴. نقشه شدت میدان مغناطیسی داده‌های منطقه ایرا پس از اعمال تصحیحات روزانه و IGRF. به همراه نیم‌رخ‌های برداشت داده.



شکل ۶. نقشه مشتق قائم مرتبه اول داده‌های منطقه با خطوط معرف گسل‌های احتمالی منطقه روی نقشه زمین‌شناسی.

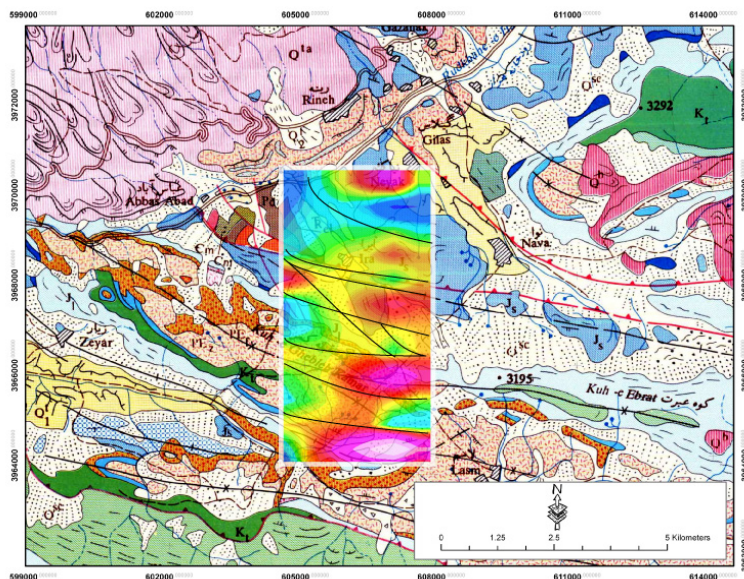


شکل ۵. نقشه انتقال به قطب داده‌های منطقه.

می‌شوند. نبود دیگر موارد موجود در شکل ۶، نشان می‌دهد که بی‌هنجاری حاصل از آنها، دارای منشأهای ساختاری عمیق و اساسی نبوده است.

سیگنال تحلیلی را اولین بار نیقیان (۲۰۰۵) روی داده‌های نیم‌رخ به کار برد. مزیت اصلی آن این است که بدون توجه به پارامترهای میدان مغناطیسی زمین و جهت مغناطیدگی، منشأ ساختارهای خطی را روی نقشه‌های مغناطیسی نشان می‌دهد. شکل ۹ نقشه سیگنال تحلیلی داده‌های منطقه شرقی آتشفشان دماوند را نمایش می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، ساختارهای خطی بارزی که در توافق با تحلیل نقشه مشتق قائم اول در شکل ۶ هستند، به‌طور واضح روی این نقشه مشخص‌اند.

تبدیل ادامه فراسو، شدت کل میدان مربوط به همه منشأهایی را که در یک سطح اندازه‌گیری شده‌اند به شدت میدانی تبدیل می‌کند که در یک سطح بالاتر اندازه‌گیری شده باشند. بنابراین، این تبدیل بی‌هنجاری‌ها را متناسب با طول موجشان تضعیف می‌کند. بدین معنی که هر قدر که طول موج بی‌هنجاری کوچک‌تر باشد، مقدار تضعیف آن بیشتر است. بدین ترتیب بی‌هنجاری‌های ایجاد شده در اثر منشأهای کم‌عمق، بیشتر از بی‌هنجاری‌های عمیق تضعیف می‌شوند. شکل ۸ نقشه ادامه فراسو شده داده‌های منطقه را نمایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بعضی از عوارض خطی مشاهده شده در شکل ۶ نیز روی این نقشه نیز دیده



شکل ۷. نمایش تلفیقی از داده‌های مشتق قائم مرتبه اول داده‌های محدوده شرق دماوند به همراه نمایشی از خطوط معرف گسل‌های شناسایی شده.

دو مورد از تحقیقات صورت گرفته به اختصار اشاره خواهد شد. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، دو مورد از گزارش‌های سازمان ملی زمین‌شناسی ایالات متحد (USGS) دیده می‌شود. در شکل ۱۰، محدوده بررسی شده واقع در شمال غربی ایالات متحد از نواحی نزدیک به جزیره ویدبی تا منطقه مرکزی ایالت واشنگتن است. این محدوده از دیدگاه زلزله‌شناسی دارای اهمیت فراوان است و حتی زلزله‌های تا ۶/۵ ریشتر در مقیاس امواج سطحی را به خود دیده است. پس از بررسی‌های ژئومغناطیسی صورت گرفته، وجود گسل‌هایی دارای عمق بسیار زیاد که در شکل ۱۰ با خطوط مشکی ضخیم دیده می‌شود، ثابت شده است. این منطقه دارای یک گسل بسیار سطحی (که در شمال غربی نقشه با رنگ آبی مشخص شده است) نیز هست. این نتایج با بررسی‌های مغناطیس هوابرد و نیز الکترومغناطیس صورت گرفته در منطقه تطابق کامل دارد (شروود و همکاران، ۲۰۰۵).

شکل ۱۱ موقعیت منطقه و نقشه شدت میدان مغناطیسی محدوده پورتلند، نزدیک به روستای ویلامیت

از مقایسه دو شکل ۶ و ۸ پیدا است که با افزایش عمق بررسی داده‌ها در شکل ۸، اثر بی‌هنجاری‌ها از بین رفته است. این خود نشان‌دهنده کم‌عمق و نزدیک به سطح بودن گسل‌های موجود است. از مقایسه دو شکل ۶ و ۹ نیز مرز گسل‌های مشخص شده در شکل ۶ کاملاً در سیگنال تحلیلی مشخص و واضح‌اند. این خود تاییدی بر صحت فرایند تشخیص گسل‌ها در شکل ۶ است. نقشه سیگنال تحلیلی مرز بی‌هنجاری‌های موجود را نشان می‌دهد. با مقایسه دو شکل ۶ و ۹ مشخص است که گسل‌های موجود، خود لبه بی‌هنجاری‌های مغناطیسی هستند. با تلفیق اطلاعات موجود در سه شکل ۶، ۸ و ۹ می‌توان گفت که این بی‌هنجاری‌های گسلی دارای عمق‌های کم هستند و این موضوع نشان‌دهنده گسترش عمقی نه‌چندان زیاد این گسل‌ها است.

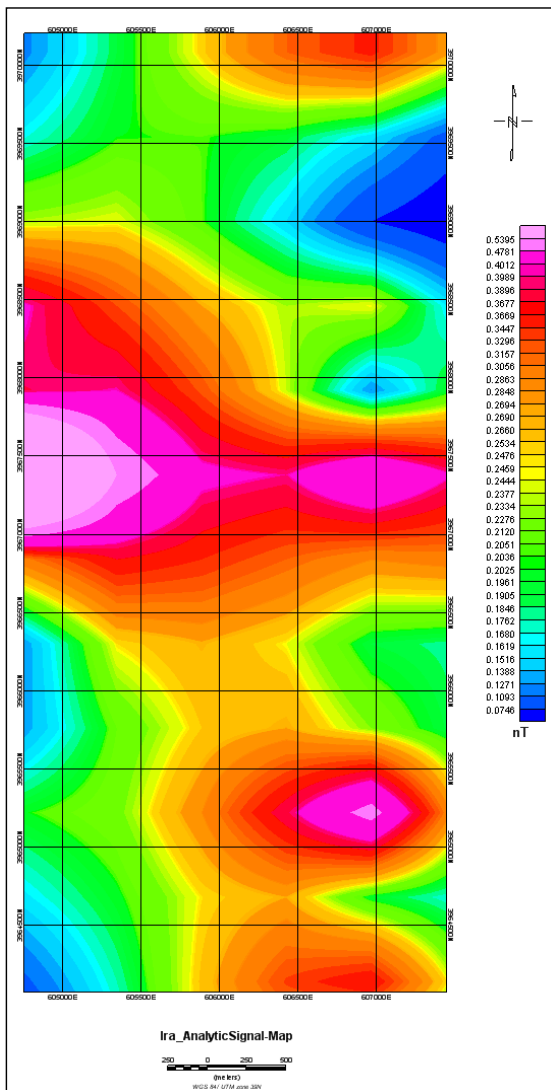
۸ نمونه تحقیقات بین‌المللی مشابه

در مقاله‌ها و گزارش‌های بین‌المللی معتبر، تعداد زیادی از تحقیقات مشابه قابل دسترسی است. در ادامه از جمله به

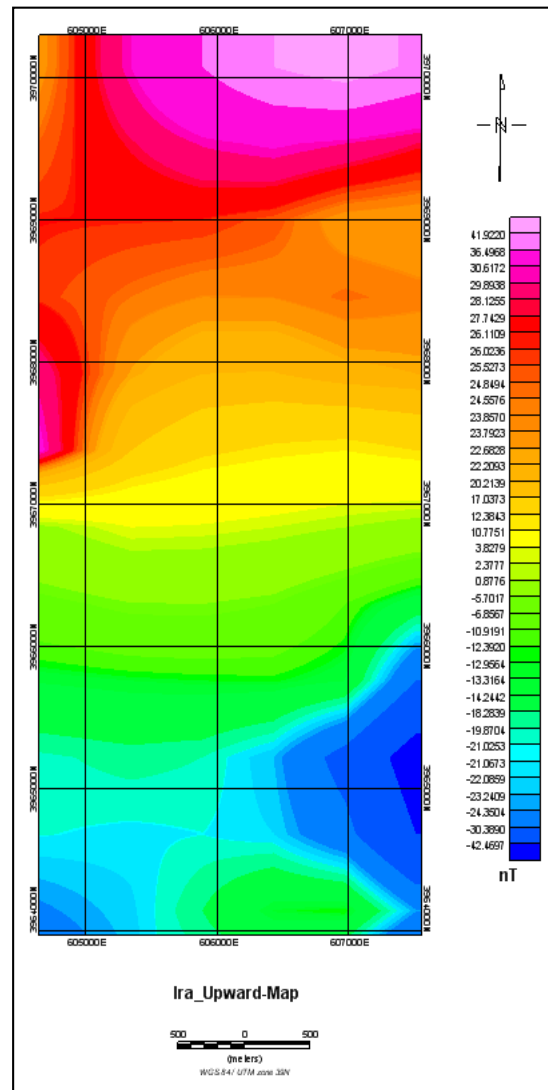
کیلومتری حتی هیچ شواهدی در توپوگرافی منطقه آشکار نمی‌سازد. شکل ۱۲ نیز بررسی اثر این گسل را روی داده‌های یک نیم‌رخ مغناطیس‌سنجی نشان می‌دهد (بلیکلی و همکاران، ۲۰۰۱).

لازم به ذکر است که در مقاله‌ها و گزارش‌های بین‌المللی معتبر، تعداد بسیار زیادی از تحقیقات مشابه قابل دسترسی است؛ از جمله گزارش‌های سازمان ملی زمین‌شناسی ایالات متحد (USGS).

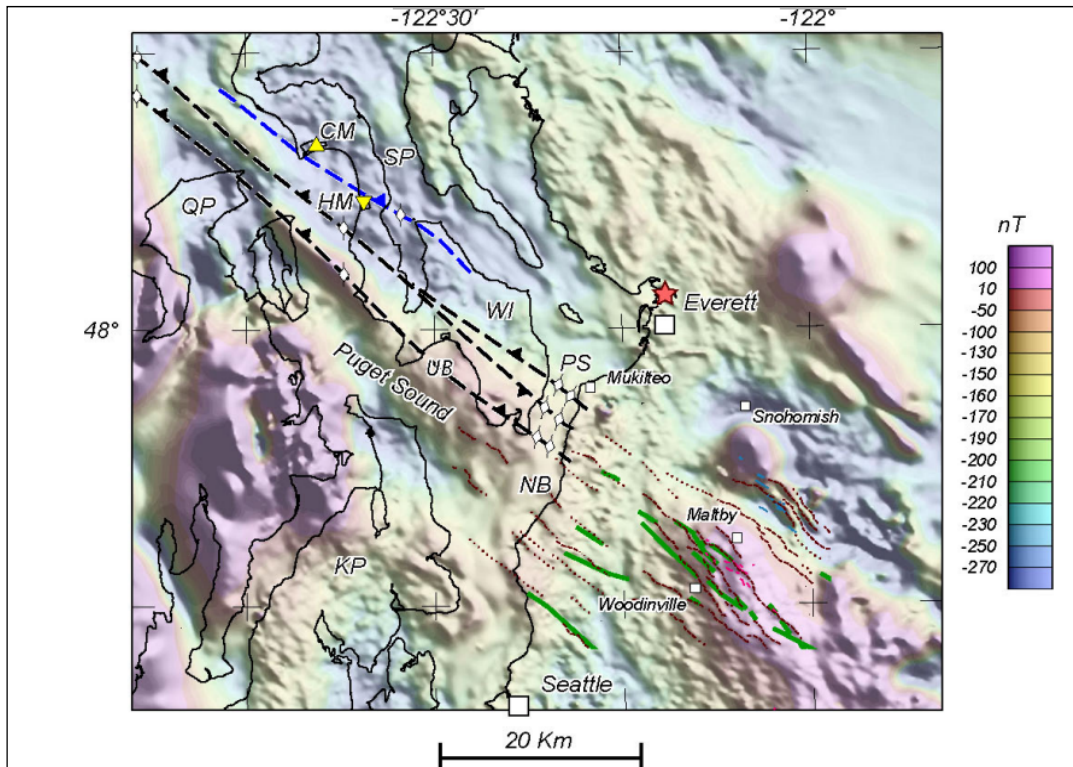
را در ایالت اورگان ایالات متحد نشان می‌دهد. در بررسی صورت گرفته بلیکلی و همکاران در ۲۰۰۱، به علت وجود لایه‌های آتشفشانی جوان، شواهد زمین‌شناسی مبنی بر وجود گسل در منطقه یافت نشده است. با این حال به دنبال بررسی علل وقوع زلزله ۵/۲ ریشتری در مقیاس امواج سطحی در ۱۹۶۲ در منطقه، بررسی‌های مغناطیس‌سنجی صورت گرفته است که نتایج آن از وجود یک گسل در منطقه حکایت می‌کند. این گسل ۱۰



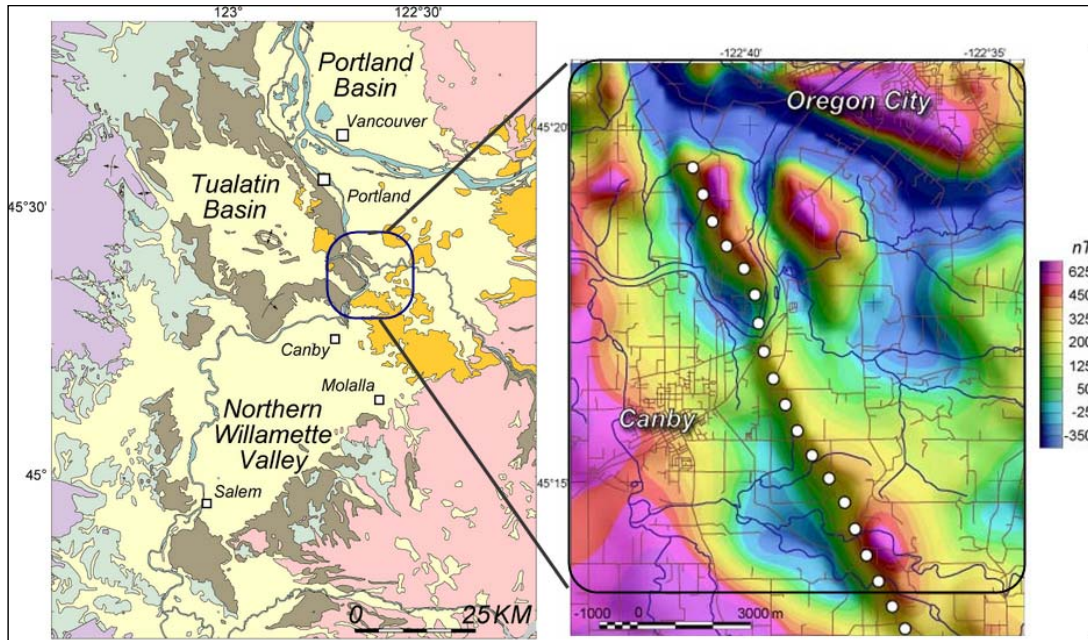
شکل ۹. نقشه سیگنال تحلیلی داده‌های منطقه مورد بررسی.



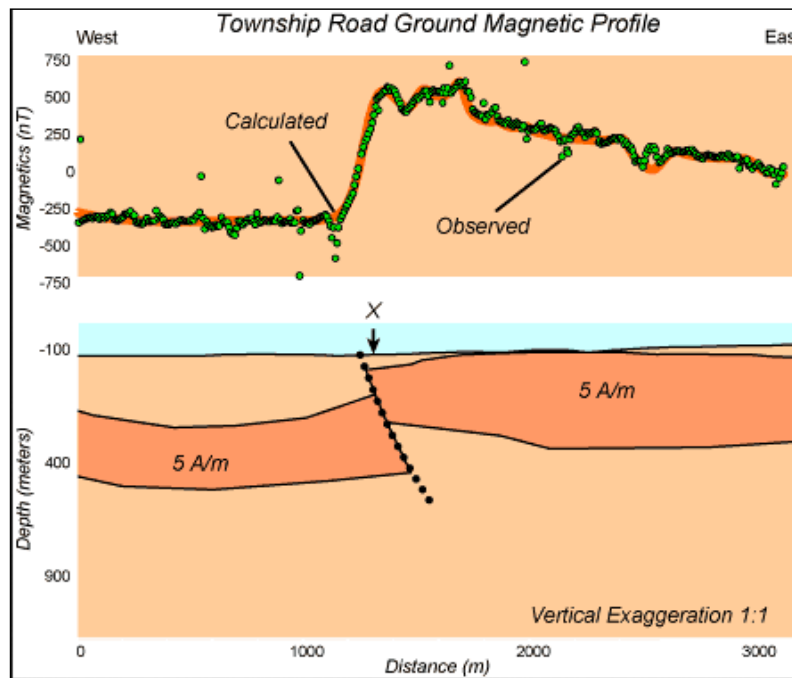
شکل ۸. نقشه ادامه به فراسوی داده‌های برداشت شده.



شکل ۱۰. نقشه شدت میدان مغناطیسی به همراه موقعیت گسل‌ها در منطقه ایالت واشنگتن (شرود و همکاران، ۲۰۰۵).



شکل ۱۱. موقعیت منطقه و نقشه شدت میدان مغناطیسی به همراه موقعیت گسل‌ها در منطقه ایالت اورگان (بلیکلی و همکاران، ۲۰۰۱).



شکل ۱۲. داده‌های یک نیم‌رخ مغناطیس‌سنجی به همراه مدل زمین‌شناسی (شکل پایین) در منطقه اورگان که به خوبی وجود گسل را نشان می‌دهد (بلیکلی، ۲۰۰۱).

۹ نتیجه‌گیری

گسل B: این خط‌واره گسلی است که کاملاً در امتداد یک گسل فرعی از شاخه‌های نزدیک اسک منشعب می‌شود و در ادامه به واریزه‌های گسلی ناودیس پلورکوه می‌رسد.

گسل C: محل این خط‌واره قویاً با گسل احتمالی که در روی نقشه زمین‌شناسی به صورت معکوس آورده شده است، مطابقت دارد.

گسل‌های E, D: مشابهت‌های ساختاری این منطقه را تکرار می‌کنند یعنی دو گسل اصلی موازی با امتداد WNW که با سامانه‌های بعدی فرعی با زاویه بزرگ‌تری نسبت به شمال غرب بریده شده‌اند.

گسل H: به نظر می‌رسد که همان سامانه فرعی در ادامه گسل تقریباً شمالی- جنوبی اسک باشد. و همچنین گسل فرعی I، حدفاصل بین دو گسل E, D، از انواع گسل‌های ریز تکرار شونده‌ای است که اثرات کششی این گونه گسل‌ها با افتادگی واحدهای سنگی به سمت جنوب غرب منطقه کاملاً هماهنگ است.

یافتن پاسخی بدیهی از راه بررسی‌های ژئوفیزیکی برای تعیین صحت نظرات متناقضی که در مورد زمین‌ساخت البرز مرکزی مورد توجه بوده است، هدف اساسی تحقیق حاضر است. وارون‌سازی دو بُعدی داده‌های مغناطیس‌سنجی، وجود ناپیوستگی‌های مشخصی را در عبور از روی گسل‌های منطقه تأیید می‌کند. عوارض مشاهده شده روی نقشه‌های تهیه شده از داده‌های پردازش شده مغناطیسی، از جمله نقشه مشتق قائم اول نشان‌دهنده زون به شدت گسلیده‌ای هستند که خط‌واره‌های مغناطیسی رسم شده روی نقشه مشتق قائم نیز مؤید آن است. بررسی زمین‌شناسی منطقه و تلفیق آن با تفسیر شبکه داده‌های مغناطیس‌سنجی نتایج زیر را به دست می‌دهد:

گسل A: از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی حریم این گسل با بریدگی‌های سازند کرج و شمشک در بررسی‌های صحرایی که روند نرمال را نشان می‌دهد، مطابقت دارد.

- earthquake-fault hazard investigations in the Semnan region, Volume VII: Tehran, Geological Survey of Iran (GSI), p. 268 (in Persian).
- Bhattacharyya, B. K., 1980, A generalized multi-body model for inversion of magnetic anomalies, *Geophysics*, **45**, 255-270.
- Bhattacharyya, B. K., 1964, Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary magnetization, *Geophysics*, **29**, 517-531.
- Blakely, R. J., 1995, *Potential theory in gravity and magnetic applications*, Cambridge University Press.
- Blakely, R., Madin, I. P., Stephenson, W. J. and Popowski, T., 2001, The Canby-Molalla Fault, Oregon, USGS report.
- Bout, P. and Derruau, M., 1961, Le Damavand, Centre Nat. Rech. Scientif. Centre de Doc. Cartogr. et Geogr. Mem. Et Doc. 8.
- Brousse, R. and Moine Vaziri, H., 1982, L'Association shoshonitique du Damavand.
- Butler, R. F., 1992, *PALEOMAGNETISM: Magnetic Domains to Geologic Terranes*: Blackwell Scientific Publications.
- Fedi, M., Rapolla, A. and Russo, G., 1999, Upward continuation of scattered potential field data, *Geophysics*, **64**, 443-451.
- Inman, J. R., 1975, Resistivity inversion whit ridge regression, *Geophysics*, **38**, 1088-1108.
- Johnson, W., 1969, A Least-Squares method of interpreting magnetic anomalies caused by two-dimensional structures, *Geophysics*, **34**(1), p. 65.
- Li, Y. and Oldenburg, D. W., 1996, 3-D inversion magnetic data, *Geophysics*, **61**, 394-408.
- Nabighian, M. N., Grauch, V. J. S., Hansen, R. O., LaFehr, T. R., Li, Y., Pearson, W. C., Pierce, J. W., Phillips, J. D. and Ruder, M. E., 2005, The historical development of the magnetic method in exploration, *Geophysics*, **70**(6), 33ND-61ND.
- Omidian, S. and Eliassi, M., 2012, Tectonic setting of Damavand volcano using structural data, *Geology*, **4**(16), 51-60.
- Sherrod, B. L., Blakely, R. J., Weaver, C., Kelsey, H., Barnett, E. and Wells, R., 2005, Holocene fault scarps and magnetic anomalies along the southern Whidbey island fault zone near Woodinville, Washington, USGS report.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E., 1974, *Applied geophysics*, 2nd ed.: Cambridge University Press.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Levenberg-Marquardt_algorithm
- گسل F: آثار فعالیت های گسل های F, E به صورت درهم ریختگی واحدهای ائوسن زیرین در زیر دماوند و خردشدگی واحدهای سنگی و ایجاد واریزه های جابه جا شده رسوبات این دوره، بارز است.
- گسل G: حرکات گسل های G, F به علت جابه جایی محور تاقدیس ها و ناودیس های این منطقه نسبت به یکدیگر قابل اثبات است. این گونه به نظر می رسد که بخشی از تاقدیس بریده شده گیلان در زیر ناودیس پلورکوه، به واسطه فعالیت های این دو گسل، در خارج از حریم فعالیت تاقدیس نمایان شده است.
- با توجه به پیچیدگی ساختار زمین شناسی منطقه مورد بررسی، پیشنهاد می شود که برداشت داده های مغناطیسی در امتداد نیم رخ های بیشتر و به صورت یک شبکه منظم صورت گیرد تا امکان وارون سازی سه بُعدی روی این داده ها فراهم شود.
- مراجع
- امیدیان، ص.، ۱۳۸۶، تعیین جایگاه تکتونیکی آتشفشان دماوند براساس شواهد ژئوشیمیایی و ساختاری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- قنبری، م.، ۱۳۹۰، بررسی های نوزمین ساختی پیرامون آتشفشان دماوند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. and Qorashi, M., 2003, Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran, *Journal of Structural Geology*, **25**, 659-672.
- Allenbach, P., 1966, *Geologic und petrography des Damavand und Seiner umgebung (Zentral Elburz)*, Iran, Geol. Mitt., Inst. Eth univ. Zurich, [N. F.], 63.
- Assereto, R., 1966, Geological map of upper Djajrud and Lar valleys (Central Elburz, Iran), Inst. Geol. Univ. Milano, Serie G, Publ. 232, 86.
- Berberian, M., Ghorashi, M., Shoja Taheri, J. and Talebian, M., 1996, Seismotectonic and