

مروری بر روش‌های جدایش آنومالی‌های ناحیه‌ای از باقی‌مانده در داده‌های پتانسیل با مطالعه موردی داده‌های ژئوفیزیک هوایی چهارگوش آباد به همراه تفسیر زمین‌شناسی

کمال علمدار^{۱*}، احمد معدنچی^۲

۱- دانشجوی دکتری اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- مربی، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیر عامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(دریافت مهر ۹۲، پذیرش اسفند ۹۲)

چکیده

آنومالی‌های میدان پتانسیل حاصل از برداشت‌های مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی از آنومالی‌های ناحیه‌ای ناشی از ساختارهای بزرگ مقیاس و آنومالی‌های باقی‌مانده ناشی از ساختارهای محلی کوچک مقیاس تشکیل شده است. بسته به هدف و مقیاس برداشت‌های میدان پتانسیل از آنومالی‌های ناحیه‌ای و یا باقی‌مانده استفاده می‌شود. در نتیجه جدا کردن آنومالی‌های باقی‌مانده و ناحیه‌ای امری ضروری است. جداسازی آنومالی‌ها به دو شیوه ترسیمی و تحلیلی انجام می‌گیرد. در روش‌های ترسیمی گرچه ممکن است نتایج با واقعیت‌های زمین‌شناسی انطباق بیشتری داشته باشد ولی روش‌های تحلیلی در مواقعی که با مجموعه داده‌های بزرگ مقیاس مواجه هستیم ارجحیت دارند. روش‌های مختلفی برای جداسازی آنومالی به روش تحلیلی وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از روش آنالیز روند سطح، روش فیلتر کردن طول موجی، روش گسترش میدان و روش مشتق قائم که در این نوشته این روش‌ها بر روی داده‌های مغناطیس هوایی چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ آباد به کاربرده شده است. از روی نقشه آنومالی ناحیه‌ای به دست آمده از چهارگوش آباد گرانیات شیرکوه در شمال شرق، گسل دهشیر بافت با روند شمال غرب - جنوب شرق و کفه طاقستان در بخش‌های مرکزی مشخص شده است.

کلمات کلیدی

آنومالی‌های میدان پتانسیل، آنومالی باقی‌مانده، فیلتر کردن طول موجی، گسترش میدان، مشتق قائم

۱- مقدمه

نقشه‌های میدان پتانسیل تهیه‌شده از برداشت داده‌های میدان گرانی و مغناطیسی مجموع اثرات توده‌هایی با چگالی و مغناطیس متفاوت و در اعماق متفاوت است. در نقشه‌های میدان پتانسیل، تأثیرات سنگ بستر با تغییرات ملایم و خطی مشخص می‌شوند. این اثرات خطی، آنومالی ناحیه‌ای نامیده می‌شود. آنومالی ناحیه‌ای دارای فرکانس فضایی پایین و طول موج بلند است، در حالی که آنومالی‌های باقی‌مانده که از کم کردن مقادیر آنومالی برداشت شده از آنومالی ناحیه‌ای به دست می‌آیند و ناشی از منابع زیرسطحی کم عمق هستند، دارای فرکانس فضایی بالا و طول موج کوتاه می‌باشند. در کارهای اکتشافی برای تفکیک و مشخص نمودن آنومالی‌های محلی یا باقی‌مانده، آنومالی‌های مشاهده‌ای از آنومالی‌های ناحیه‌ای کم می‌شود. برداشت‌های میدان پتانسیل برای مقاصد مختلفی مانند کشف امتدادهای ساختمانی، بررسی پی‌سنگ منطقه و کشف و تحلیل منابع آنومالی‌های خاص انجام می‌شود [۷]. بسته به هدف و همچنین مقیاس برداشت داده‌های میدان پتانسیل، آنومالی‌های ناحیه‌ای و یا باقی‌مانده به کار گرفته می‌شوند. به عنوان مثال هنگامی که برداشت مغناطیس هوایی در مقیاس وسیع در منطقه‌ای انجام می‌شود و هدف کشف امتداد ساختمان‌های زمین‌شناسی در منطقه است، نقشه آنومالی ناحیه‌ای کاربرد دارد. در مقابل هنگامی که هدف از برداشت، شناسایی و تحلیل آنومالی‌های محلی مغناطیسی یا گرانی است نقشه آنومالی باقی‌مانده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواردی که تفسیر و مدل‌سازی عددی و فیلتر کردن بر روی داده‌های میدان باقی‌مانده انجام می‌شود، اعتبار تفسیر به درجه جداسازی آنومالی‌های باقی‌مانده بستگی دارد. برای تفکیک آنومالی‌های میدان پتانسیل روش‌های مختلفی چون روش ترسیمی، روش روند سطحی، روش عددی کردن داده‌ها، روش میانگین‌گیری، روش گیریفین، روش تفکیک طول موجی و روش گسترش میدان پتانسیل است. برخی از این روش‌ها در حوزه مکان و بعضی دیگر در حوزه فرکانس انجام می‌شوند. در این نوشته پرکاربردترین روش‌های تحلیلی شامل روش روند سطحی^۱، روش تفکیک طول‌موجی^۲ و

روش گسترش میدان پتانسیل^۳ مرور و به عنوان نمونه بر روی داده‌های مغناطیس سنجی هوایی چهارگوش آباده به کار برده می‌شود.

۲- جداسازی آنومالی‌ها به روش روند سطحی

یکی از انعطاف‌پذیرترین روش‌های تحلیل برای تعیین اثرات ناحیه‌ای، روش روند سطحی توسط برازش چند جمله‌ای می‌باشد. در این روش، میدان ناحیه‌ای از مقادیر مشاهده‌ای به وسیله روش کم‌ترین مربعات یا روش اورتونرمال تقریب زده می‌شود. این روش بر اساس محاسبه سطحی (به روش ریاضی) استوار است تا بهترین تطابق را نسبت به مقادیر مشاهده‌ای داشته باشد. در این روش بر داده‌های میدان پتانسیل برداشت شده، سطحی عبور داده می‌شود که پیچیدگی ریاضی سطح مورد نظر به روند حاکم بر داده‌ها بستگی دارد. در حالت کلی معادله سطح مذکور برای حالت دوبعدی به صورت زیر است (رابینسون و کورو، ۱۹۸۸):

$$T(x, y) = A_{00} + A_{10}x + A_{01}y + A_{11}xy + A_{20}x^2 + A_{02}y^2 + A_{21}x^2y + \dots + A_{mn}x^m y^n \quad (1)$$

که در آن $T(x, y)$ مقدار آنومالی ناحیه‌ای، A_{ij} ضرایب سطح مذکور، x و y مختصات نقاط مشاهده‌ای داده‌ها هستند. پس از عبور دادن سطح مزبور بر داده‌های میدان پتانسیل برداشت شده، مقدار آنومالی باقی‌مانده به صورت زیر محاسبه می‌شود (رابینسون و کورو، ۱۹۸۸).

$$R_i = G_i - T_i \quad (2)$$

که در آن G_i داده‌های مشاهده‌ای، T_i پاسخ سطح مزبور به عنوان اثر ناحیه‌ای و R_i نماینده آنومالی باقی‌مانده است. درجه روند سطحی به پیچیدگی زمین‌شناسی ناحیه‌ای بستگی دارد. از درجه روند سطحی بیشتر برای همپوشانی بین مقادیر سطح مزبور و مقادیر داده‌های مشاهده‌ای در شرایط پیچیده‌تر زمین‌شناسی استفاده می‌شود (دوبرین و ساویت، ۱۹۸۸).

۳- تفکیک آنومالی های ناحیه ای و باقی مانده به روش طول موجی

در این روش با عملیات ریاضی می توان برای تقویت الگوهای ناحیه ای یا الگوی آنومالی های محلی استفاده نمود. این روش بر این ایده استوار است که هر الگوی تغییرات در راستای یک پروفیل را می توان با جمع نمودن توابع تناوبی مناسب بازسازی نمود. به این صورت که هر موج با تابع تناوبی، طول موج مشخص L و دامنه موج H داشته و فاصله اولین قله آن از انتهای چپ پروفیل، مقدار d می باشد (شکل ۱الف).

مطابق شکل (۱ب)، یک آنومالی باقی مانده به صورت حاصل جمع دو منحنی با طول موج های کوتاه L_1 و L_2 بازسازی شده است. جمع این دو منحنی طوری صورت گرفته که دو قله حاصل از آن دو در محل آنومالی تقویت شده و در نقاط دورتر سبب تضعیف دامنه موج ها شده است. با اضافه کردن منحنی سوم با طول موج بلندتر L_3 می توان آنومالی مشخص شده را بارزتر نمود. این عمل سبب شده که آنومالی مذکور تا حد زیادی به آنومالی اصلی منطبق شود ولی کاملاً روی آن برازش نشود. لذا ضروری است که از توابع تناوبی با طول موج های مختلف دیگری جهت نیل به این هدف استفاده گردد.

به عنوان مثال برای تعیین منحنی های مناسب جهت بازسازی پروفیل گرانی از عملیات ریاضی تحلیل های تناوبی استفاده می شود. برای این منظور جهت معرفی مقدار گرانی بوگه در هر فاصله مشخص X روی پروفیل در محور طول ها، فرمول زیر به کار می رود (رابینسون و کرو، ۱۹۸۸).

$$g_B(x) = A_1 \cos(2\pi \frac{x-d_1}{L_1}) + A_2 \cos(2\pi \frac{x-d_2}{L_2}) + A_3 \cos(2\pi \frac{x-d_3}{L_3}) + \dots \quad (3)$$

هر جمله $A \cos(2\pi \frac{x-d}{L})$ معرف یک تابع متناوب است. جستجو برای انتخاب منحنی های تناوبی برای بازسازی پروفیل برداشت شده اولین مرحله در فیلتر نمودن موجی

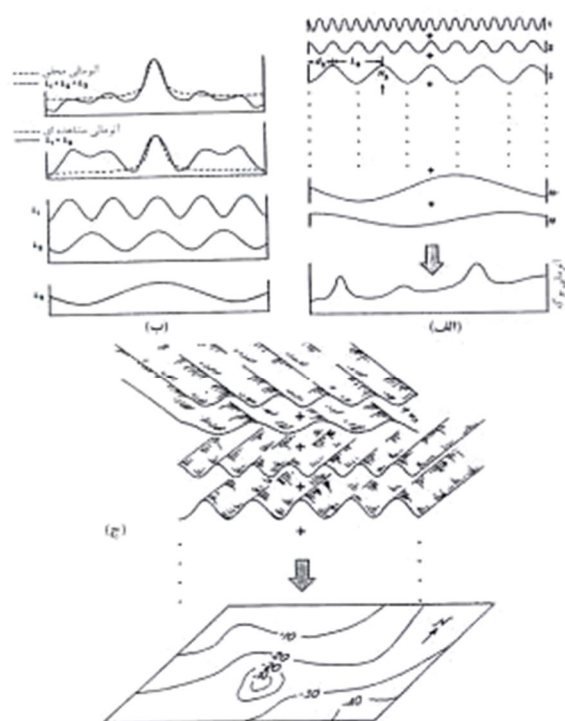
است. مرحله بعدی، جداسازی آنومالی های ناحیه ای و باقی مانده است که با حذف بعضی از جمله ها در رابطه (۳) انجام می شود. وقتی که اثرات آن ها حذف می شود اثراتی ناشی از طول موج های خاص تعیین شده و می توان آن ها را جدا یا فیلتر نمود. با جمع نمودن جمله های مربوط به طول موج های بلند یا ناحیه ای و حذف آن هایی که مربوط به طول موج های کوتاه هستند، می توان تا حد زیادی پروفیل آنومالی ناحیه ای را برآورد کرد.

آنومالی های ناحیه ای دارای طول موج بلند و فرکانس پایین و آنومالی های باقی مانده دارای طول موج کوتاه و فرکانس بالا هستند. لذا در کارهای عملی بسته به اینکه هدف تولید آنومالی ناحیه ای و یا باقی مانده باشد به ترتیب از دو نوع فیلتر به نام فیلتر پایین گذر^۴ و بالا گذر^۵ استفاده می شود. فیلتر پایین گذر آنومالی های با فرکانس پایین و طول موج بلند را عبور می دهد به عبارت دیگر خروجی فیلتر پایین گذر آنومالی ناحیه ای می باشد. در مقابل، فیلتر بالاگذر آنومالی های فرکانس بالا و طول موج کوتاه را عبور می دهد. در نتیجه خروجی فیلتر بالاگذر، آنومالی باقی مانده است. عملیات فیلتر کردن با استفاده از فیلتر های بالاگذر و پایین گذر نیاز به تعیین طول موج حد^۶ دارد. در فیلتر پایین گذر آنومالی های با طول موج پایین تر از طول موج حد و در فیلتر بالاگذر آنومالی هایی با طول موج بالاتر از طول موج حد عبور داده می شوند.

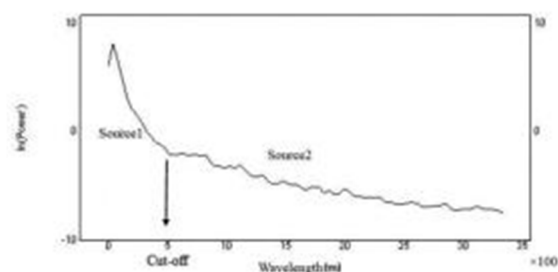
هنگام استفاده از روش های فیلتر کردن برای جداسازی آنومالی های میدان پتانسیل ابتدا لازم است داده های صحرائی با استفاده از تبدیل فوریه به حوزه فرکانس انتقال یابند و فیلترهای بالاگذر و یا پایین گذر در آن حوزه بر داده ها اعمال شود. برای تعیین طول موج حد می توان از تحلیل طیف انرژی^۷ استفاده کرد (الیس، ۱۹۸۴). طیف انرژی از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$S(u,v) = |F(u,v)|^2 = R^2(u,v) + I^2(u,v). \quad (4)$$

در این رابطه $S(u,v)$ طیف انرژی، $F(u,v)$ تبدیل فوریه گسسته و $R^2(u,v)$ و $I^2(u,v)$ به ترتیب بیانگر قسمت های حقیقی و موهومی تبدیل فوریه گسسته هستند.



شکل ۱: الف) پروفیل گرانی بوکه حاصل از جمع نمودن چندین تابع تناوبی مناسب. ب) بازسازی تقریبی آنومالی گرانی محلی (خط چین) با جمع کردن منحنی توابع متناوب. ج) بازسازی یک نقشه گرانی بوکه با جمع سطوح متناوب مناسب جهت تفکیک اثرات ناحیه‌ای و محلی (رایبسون و کرو، ۱۹۸۸).



شکل ۲: نمودار لگاریتم طیف انرژی - طول موج داده‌های مغناطیس سنجی چهارگوش آواده. محل برخورد دو جامعه بیانگر طول موج حد می‌باشد.

یکی از روش‌های تفکیک آنومالی‌های میدان پتانسیل، روش گسترش به سمت بالا می‌باشد. با کاربرد این روش تأثیرات سطحی حذف شده و تأثیرات عمیق به وضوح مشخص می‌شوند. در این روش داده‌های میدان پتانسیل به وسیله معادلات ریاضی از یک سطح مبنا بر روی سطوح تراز در بالای آن تصویر می‌شوند. تغییر دادن به یک سطح

برای طیف انرژی اصطلاح چگالی طیفی نیز به کار می‌رود. اگر مقادیر لگاریتم طیف انرژی در مقابل طول موج‌های مختلف به نمودار درآیند، طول موج محل تقاطع جوامع متشکل از مقادیر طیف انرژی نشان دهنده طول موج حد خواهد بود. در این نوشته برای تعیین طول موج حد آنومالی‌های مغناطیس سنجی چهارگوش آواده از این روش استفاده شده است که نمودار لگاریتم طیف انرژی - طول موج مربوط به آن در شکل (۲) آمده است این شکل با استفاده از نرم افزار ژئوسافت تهیه شده است. از روی این نمودار طول موج قطع، برابر با ۵۰۰ متر به دست آمده که در جداسازی آنومالی‌ها به روش تفکیک طول موجی از آن‌ها استفاده شده است.

عمل فیلتر کردن طول موجی را می‌توان با استفاده از یک فیلتر سطحی نیز انجام داد. اگر چه این عمل پیچیده‌تر است ولی به جای استفاده از منحنی‌های تناوبی، از سطوح متناوب (تغییرات متغیر در دو بعد) استفاده می‌شود. در این حالت از دو دسته سطح که دارای انحناهای عمود بر هم هستند استفاده می‌شود (شکل ۱، ج). زمانی که این سطوح با هم ترکیب و یا جمع شوند، تغییرات آنومالی را در دو بعد نشان می‌دهند و در برخی نقاط اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. فیلتر نمودن طول موجی در طی مراحل تعیین طول موج لازم برای بازسازی پدیده‌های یک پروفیل و یا نقشه و حذف طول موج‌های مزاحم و نویز انجام می‌شود. مجموعه ضریب‌هایی که برای فیلتر نمودن اثرات ناحیه‌ای استفاده می‌شود متفاوت از مجموعه مورد نیاز برای حذف آنومالی‌های محلی است.

۴- تفکیک آنومالی‌ها توسط روش‌های گسترش میدان پتانسیل

محاسبه میدان‌های پتانسیل در سطحی متفاوت از سطح برداشت (معمولاً زمین) را گسترش میدان پتانسیل گویند. این عملیات شامل اندازه‌گیری میدان در سطحی بالاتر از سطح برداشت و سطحی پایین‌تر از سطح برداشت که به ترتیب گسترش به سمت بالا^۱ و گسترش به سمت پایین^۹ نام دارد.

بالتر، اثر آنومالی‌هایی را که دورتر هستند کاهش می‌دهد ولی اثرات آن روی آنومالی‌هایی سطحی و محلی بسیار بیشتر است زیرا تغییر در مسافت برای این منابع به طور نسبی بزرگ‌تر از منابع عمیق و وسیع منطقه‌ای است. بنابراین در یک سطح بالاتر الگوی تغییرات منطقه‌ای به طور واضح نمایان شده و آنومالی‌های باقی‌مانده کمتر واضح می‌باشند (فدی و همکاران ۱۹۹۹، برگرون و همکاران ۱۹۹۰). گسترش به سمت پایین ماهیت ناپایدار دارد و نویز زیادی به داده‌ها منتقل می‌کند از این رو این روش کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گسترش به سمت بالا یا گسترش به سمت پایین طی سه مرحله صورت می‌پذیرد.

- ۱- تبدیل فوریه داده‌ها و انتقال آن‌ها به حوزه فرکانس.
- ۲- ضرب کردن نتیجه مرحله ۱ در عبارت $e^{\pm 2\pi h \sqrt{u^2 + v^2}}$. در این رابطه h ارتفاع گسترش به متر و u و v عدد موج در راستای x و y هستند.
- ۳- برگرداندن نتایج مرحله ۲ به حوزه مکان توسط عکس تبدیل فوریه.

در صورتی که مقدار h در این رابطه مثبت باشد گسترش به سمت بالا و در صورتیکه مقدار h منفی باشد گسترش به سمت پایین نامیده می‌شود.

۵- کاربرد بر روی داده‌های مغناطیس هوایی آباد

در شکل ۳ نقشه زمین شناسی ساده شده چهارگوش آباد نشان داده شده است. این ناحیه محدوده‌ای به وسعت ۱۰۰ در ۱۲۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد. پدیده زمین شناسی مهم موجود در این چهارگوش گسل دهشیر بافت در شمال منطقه با روند تقریبی شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد که منشأ اصلی آنومالی‌های مغناطیسی در منطقه است و گرانیت شیرکوه در شمال شرق منطقه را از کفه طاقستان و ابرکوه در بخش‌های مرکزی و جنوبی جدا می‌کند. رخنمون افیولیت‌ها در جنوب شرق منطقه یکی دیگر از منابع آنومالی مغناطیسی در منطقه به شمار می‌رود. در شکل ۴ نقشه هم مقدار شدت میدان مغناطیسی چهارگوش ۲۵۰۰۰ : ۱ آباد آمده است. این نقشه با

استفاده از داده‌های برداشت مغناطیس هوایی با فاصله خطوط پرواز ۷.۵ کیلومتر تهیه شده است (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور). در شکل ۵ از روش تحلیل روند سطح برای تخمین آنومالی ناحیه‌ای استفاده شده است. در این مورد سطح برازش شده از درجه ۴ به عنوان آنومالی ناحیه‌ای انتخاب شده است. از آنجا که هدف اصلی از برداشت مغناطیس سنجی هوایی در چهارگوش آباد تعیین عوارض ساختاری در مقیاس وسیع و شناسایی زمین شناسی عمیق است و فاصله زیاد خطوط برداشت مانع از ایجاد آنومالی‌های باقی‌مانده می‌گردد لذا در این نوشته نقشه‌های آنومالی ناحیه‌ای به دست آمده از روش‌های تحلیلی ذکر شده آمده است و تنها به یک نقشه آنومالی باقی‌مانده که توسط روش مشتق قائم تهیه شده است بسنده می‌شود.

در شکل ۶ با استفاده از فیلتر پایین گذر با طول موج حد ۵۰۰ متر و در شکل ۷ با استفاده از روش گسترش به سمت بالا در ارتفاع ۲۰۰۰ متر آنومالی ناحیه‌ای محدوده مورد بررسی رسم شده است.

۵-۱- تفسیر نقشه‌های آنومالی ناحیه‌ای

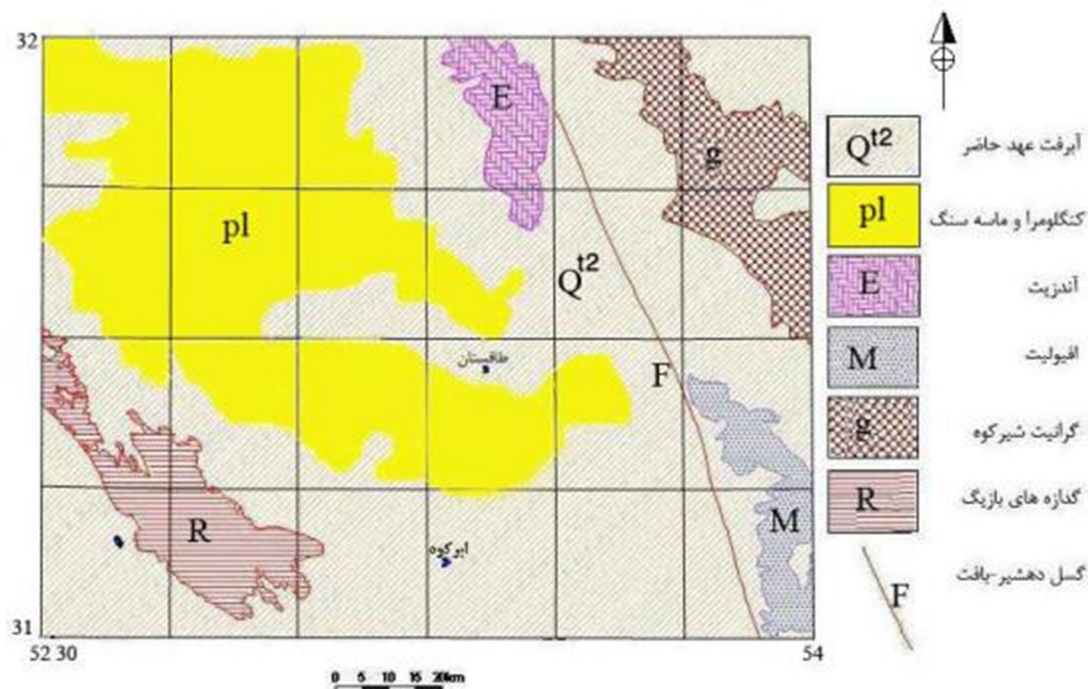
در نقشه‌های آنومالی ناحیه‌ای که توسط چهار روش تحلیلی مذکور تهیه شده‌اند چهار آنومالی A، B، C و D مشخص شده است. آنومالی A که در شمال شرق منطقه قرار دارد و به صورت آنومالی منفی ظاهر شده، قطب منفی آنومالی مثبت B است که روی هم تشکیل یک دوقطبی واحدی می‌دهند. منشأ این دو آنومالی مرتبط با سنگ‌های ولکانیکی منطقه و ریشه عمیق آنها است. آنومالی‌های A و B با روند شمال غرب - جنوب شرق در امتداد گسل دهشیر - بافت است و تأثیر گسل بر میدان مغناطیس منطقه را مشخص می‌کند. آنومالی‌های C و D نیز روی هم تشکیل دوقطبی واحدی می‌دهند و در غرب گسل دهشیر قرار دارند که علت آن عمیق بودن پی سنگ منطقه و پوشش رسوبی ضخیم است.

۵-۲- تفسیر نقشه آنومالی باقی‌مانده

در نقشه آنومالی باقی‌مانده شکل ۸ که توسط روش مشتق قائم به دست آمده است چهار آنومالی

Z در امتداد گسل دهشیر است که لیتولوژی متنوع و عمدتاً از سنگ‌های آذرین و همچنین بالا آمدن گدازه‌های آتشفشانی در امتداد گسل دلایلی بر وجود این آنومالی‌های با شدت بالا است. آنومالی W در جنوب منطقه نیز می‌تواند ناشی از رخنمون گدازه‌های بازیک در این ناحیه است.

محلی (باقی‌مانده) X، Y، Z و W مشخص شده است که همگی مثبت هستند. آنومالی مثبت X در جنوب شرق منطقه وجود دارد که ناشی از رخنمون افیولیت‌ها است به علاوه اینکه در شرق گسل دهشیر می‌باشد که عملکرد گسل نیز می‌تواند در تشکیل آنومالی دخیل باشد. آنومالی‌های Y و

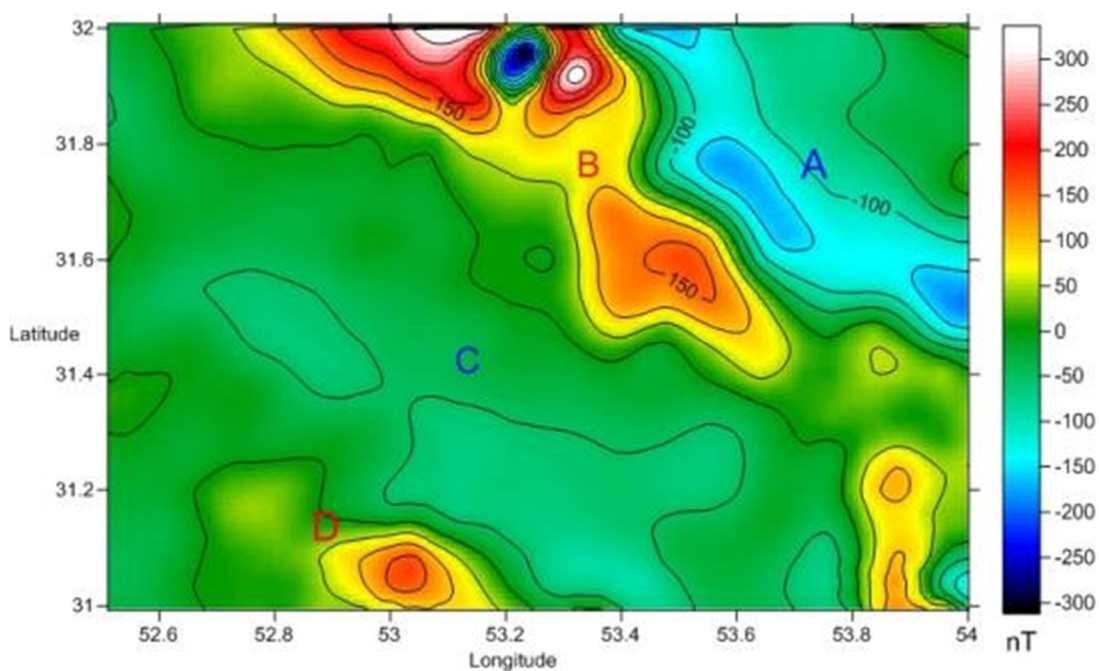


شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی ساده شده چهارگوش آباده.

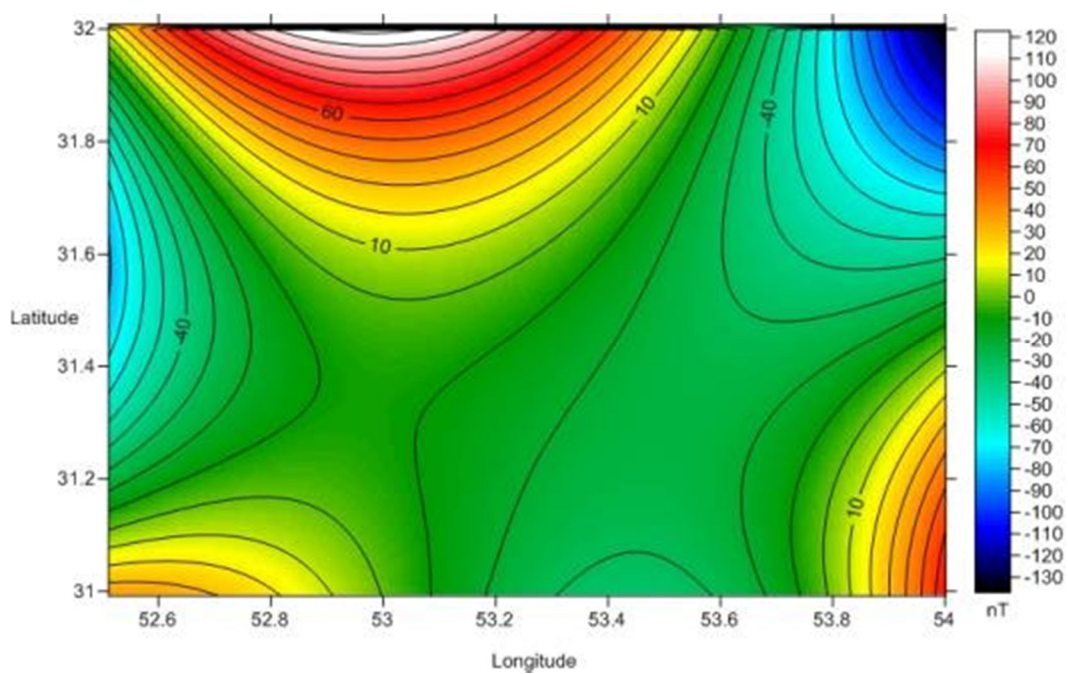
آنومالی ناحیه‌ای موقعیت گرانیت غیر مغناطیسی شیرکوه در شمال شرق منطقه، گسل دهشیر - بافت با روند شمال غرب - جنوب شرق و کفه طاقستان در بخش‌های مرکزی مشخص است. در نقشه آنومالی باقی‌مانده چهار آنومالی مثبت مشخص شد که به طور کلی ناشی از رخنمون افیولیت‌ها در جنوب شرق منطقه و سنگ‌های ولکانیکی و گدازه‌های بازیک در امتداد گسل دهشیر - بافت در شمال و جنوب منطقه می‌باشد و با نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تطابق کامل دارد. نتیجه اینکه اغلب روش‌های مورد استفاده برای جداسازی اثرات محلی و ناحیه‌ای میدان‌های پتانسیل اگر به درستی مورد استفاده قرار گیرند نتایج نسبتاً مشابهی را ارائه می‌دهند.

۶- نتیجه گیری

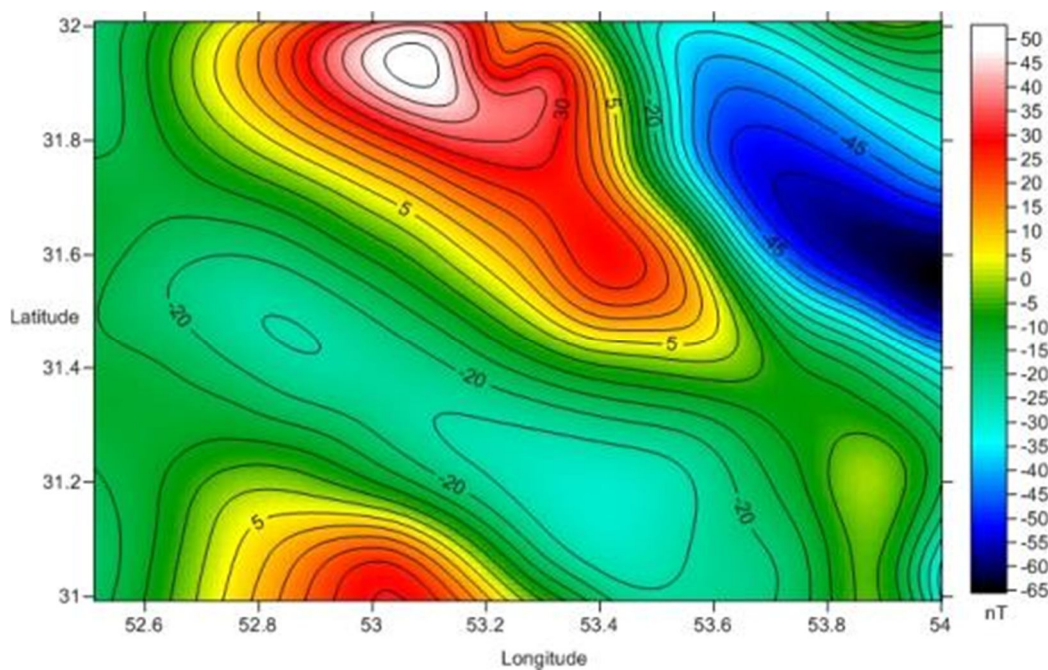
جداسازی آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده به دو روش گرافیکی و تحلیلی انجام می‌گیرد. در برداشت‌های بزرگ مقیاس که با مجموعه داده‌های بزرگ مقیاس سروکار داریم، معمولاً از روش‌های تحلیلی استفاده می‌شود. پرکاربردترین روش‌های تحلیلی شامل تحلیل روند سطحی، تفکیک طول موجی، گسترش میدان و مشتق قائم است. یکی از روش‌های تعیین طول موج حد، استفاده از نمودار لگاریتم طیف انرژی-طول موج است. بر روی این نمودار طول موج محل تقاطع دو جامعه آماری بیانگر طول موج حد خواهد بود که در مورد داده‌های منطقه مورد مطالعه برابر با ۵۰۰ متر به دست آمده است. روش‌های تحلیلی مختلف بر روی داده‌های مغناطیس هوایی چهارگوش آباده به کار برده شده است. بر روی نقشه



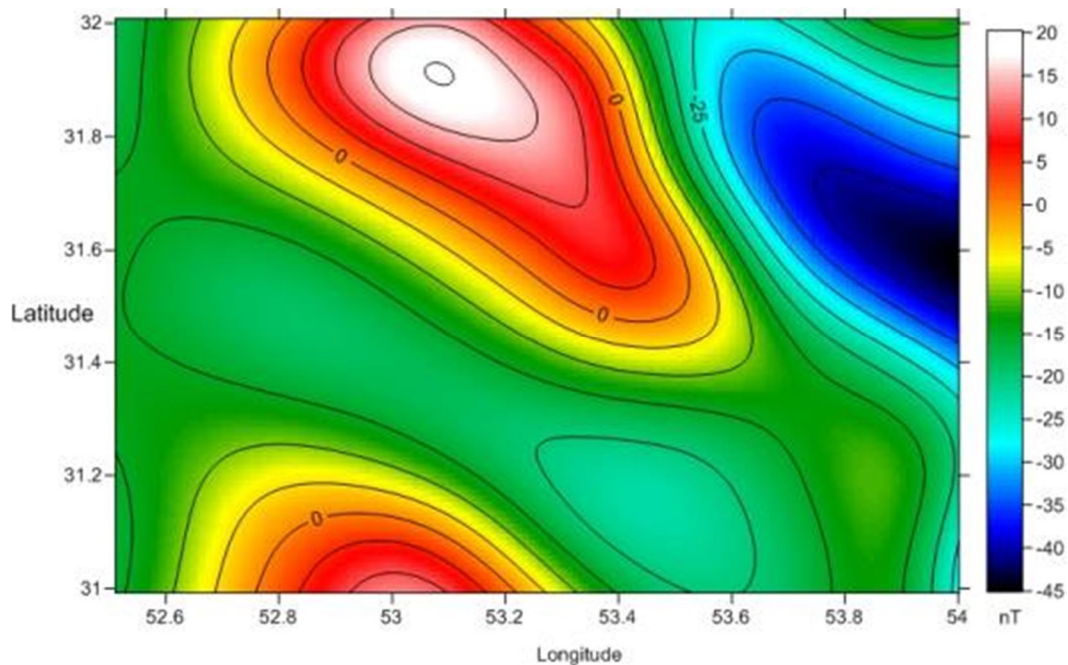
شکل ۴: نقشه مغناطیس‌هوایی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش آباده.



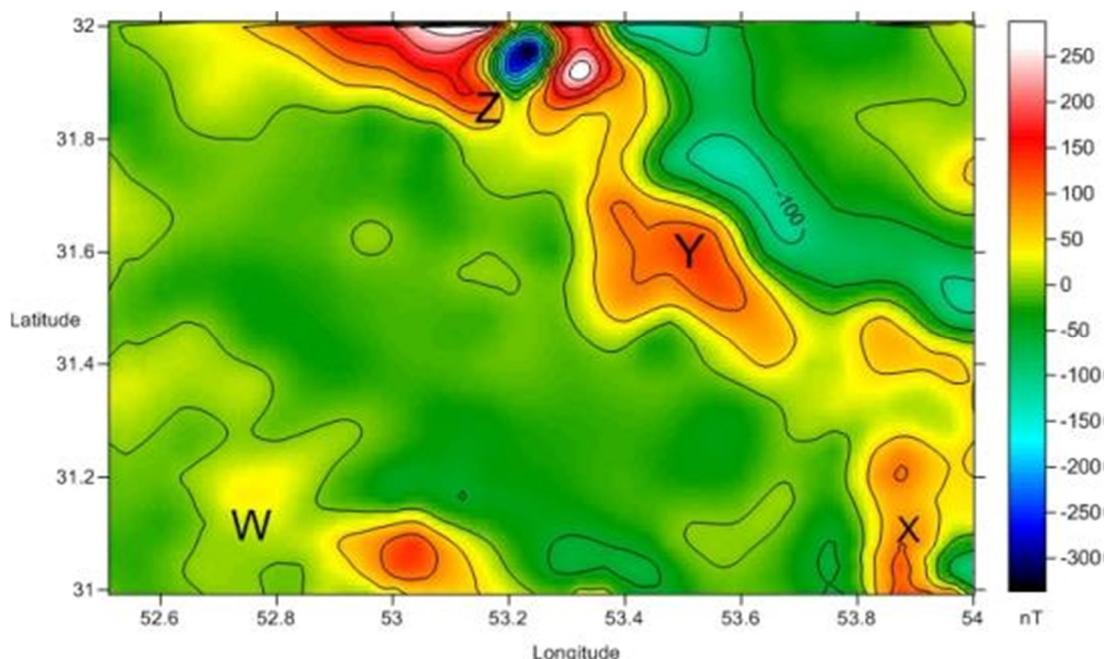
شکل ۵: نقشه آنومالی ناحیه‌ای چهارگوش آباده توسط روش تحلیل روند سطحی درجه ۴.



شکل ۶: نقشه آنومالی ناحیه‌ای چهارگوش آباده توسط فیلتر پایین گذر با طول موج حد ۵۰۰ متر.



شکل ۷: نقشه آنومالی ناحیه‌ای چهارگوش آباده توسط روش گسترش به سمت بالا در ارتفاع ۲۰۰۰۰ متر.



شکل ۸: نقشه آنومالی باقی‌مانده چهارگوش آباد.

۷- تشکر و قدردانی

در این جا لازم است از دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران به خاطر فراهم نمودن امکانات این تحقیق تشکر و قدردانی گردد.

۸- مراجع

- [7] P. F. Ellis. 1984. *An investigation of the Reading – Newbury magnetic anomaly*. Geological society of London.
- [8] Robinson, E., & Coruh, C., 1988, *Basic exploration Geophysics*, John Wily & Sons, 562.

[۱] نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش آباد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- [2] Blakely, J.R. and Simpson, R.W., 1986. *Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies*. Geophysics, 51, 1494- 1498.
- [3] Blakely, J.R., 1996. *Potential Theory in gravity and Magnetic applications* Cambridge University Press, 441.
- [4] Bergron, C. J., Morris, T.L. and Ioup, J.W., 1990. *Upward and Downward continuation Of Airborne Electromagnetic data*. SEG 60th Annual International meeting, 696-699.
- [5] Dobrin, M.B. and Savit, C.H., 1988. *Introduction to geophysical prospecting*. McGraw Hill Book Company, 867.
- [6] Fedi, M., Rapollam, A. and Russo, G., 1999. *Upward continuation of scattered potential field data*. Geophysics, 64, 443- 451.

- 1- Trend surface analysis
- 2- Wavelength filtering
- 3- Potential field continuation
- 4- Lowpass filter
- 5- Highpass filter
- 6- Cut-off wavelength
- 7- Power spectrum analysis
- 8- Upward continuation
- 9- Downward continuation