

جداسازی بی‌هنجاری میدان مغناطیسی با استفاده از تجزیه مد تجربی

احمد مرادی شاه‌قریه، علی نجاتی کلاته* و امین روشندل کاهو

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شهروود، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۲)

چکیده

تجزیه مد تجربی (EMD) یکی از ابزارهای جدید برای تجزیه و تحلیل سیگنال‌ها است. از این ابزار در روش‌های میدان پتانسیل در جداسازی بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای از محلی استفاده می‌شود. از روش‌های متداول برای جداسازی می‌توان به روش پنجره میانگین متحرک و تحلیل روند اشاره کرد که روش‌هایی نیمه‌خودکار هستند. به عبارت دیگر نظر مفسر به‌طور مستقیم در نتایج تاثیرگذار است. اساس روش EMD پالایش مکانی یا زمانی سیگنال برحسب مشخصات نقاط فرین (اکسترمم) است. مولفه‌های تجزیه به‌ترتیب شامل نوارهای بسامدی زیاد تا کم است. بدین‌منظور از آنجاکه بی‌هنجاری‌های میدان مغناطیسی به دو صورت بسامد زیاد و کم هستند، روش جدید می‌تواند روشی کارآمد در جداسازی این دو طیف بسامدی باشد. در این مقاله از این نظریه برای جداسازی بی‌هنجاری‌های میدان مغناطیسی استفاده شده است. در این روش تابع‌های مُد ذاتی از داده‌ها استخراج شده و آخرین مُد حاصل تحت عنوان باقی‌مانده، نشان‌دهنده بی‌هنجاری ناحیه‌ای است. این روش خودکار روی داده‌های مصنوعی اعمال شد و نتایج قابل‌قبولی به‌دست آمد. پس از آن روش EMD روی داده‌های برداشت شده مغناطیس هوایی واقعی ناحیه شمال محلات از توابع استان مرکزی به‌منظور بررسی زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه با هدف اکتشاف ذخایر زمین‌گرمایی اعمال شد. نتایج جداسازی با استفاده از این روش نسبت به روش متداول برازش چندجمله‌ای، دقت بیشتری دارد و سازگاری آن با زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی زیاد است. نتایج حاصل از روش EMD با نتایج حاصل از پالایه ادامه فراسو مقایسه و مشاهده شد که نتایج حاصل از روش EMD تا حدود زیادی با نتایج حاصل از پالایه ادامه فراسو مطابقت دارد. تعیین ارتفاع بهینه برای جداسازی در روش پالایه ادامه فراسو نیازمند محاسبات وقت‌گیر و پیچیده‌ای است درحالی‌که در روش EMD دیگر نیازی به تعیین این ارتفاع نیست.

واژه‌های کلیدی: جداسازی میدان مغناطیسی، بی‌هنجاری منطقه‌ای، بی‌هنجاری باقی‌مانده، تجزیه مد تجربی، شمال محلات

Magnetic field anomaly separation using empirical mode decomposition

Ahmad Moradi Shah Ghariyeh, Ali Nejati Kalateh* and Amin Roshandel Kahoo

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, University of Shahrood, Iran

(Received: 14 May 2013, accepted: 23 November 2014)

Summary

The geophysical potential field separation refers to separation of the regional and local anomalies from the superimposed anomaly. The Empirical Mode Decomposition (EMD) proposed by Norden E Huang is a kind of spatial and temporal filtering process in terms

*Corresponding author:

nejati@shahroodut.ac.ir

*نگارنده رابط:

of the signal extremum characteristic scales. It is a new data analysis method suitable for processing non-stationary and non-linear data. Its power to filter and decompose the data has earned it a high reputation in signal processing.

Empirical mode decomposition is a time-frequency analysis method which can adaptively decompose complex signals. The decomposed component contains different bands of frequencies from high to low, and the residual value is the signal trend component representing the signal averaged trend, which is similar to the regional anomalies in the geophysical field. The empirical mode decomposition (EMD) method is an algorithm for the analysis of multicomponent signals that breaks them down into a number of amplitude and frequency modulated zero-mean signals, termed intrinsic mode functions (IMFs). An IMF must fulfill two requirements: (1) the number of extrema and the number of the zero crossings are either equal or differ at most by one; (2) at any point, the mean value of the envelope defined by the local maxima and the envelope defined by the local minima is zero. Based on this theory, applying the EMD to separate the geophysical potential field is proposed in this article. When EMD is used for anomaly separation, the problem is to identify properly which IMFs contain residual characteristics. Certain modes will consist of mainly residual, whereas other modes will contain regional and noise characteristics.

Magnetic field anomalies are usually superposed large-scale structures and small-scale structure anomalies. Separation of these two categories of anomalies is the most important step in the data interpretation. Different methods have been introduced for this work, but most of them are the semi-automatic methods; it means that the interpretator's opinion can directly affect the results. In this study, EMD method has been used to separate regional and residual magnetic anomalies. EMD decomposition results in what is "residual", which is similar to the regional anomaly of a potential field data. This residual does not require any preset parameters unlike contemporary field separation methods. This automatic method is based on the extraction of the intrinsic oscillatory modes of data. Efficiency of this method has been investigated on both synthetic and real data acquired in North Mahalat area of Markazi Province to study the regional subsurface geology with the purpose of geothermal reservoir explorations. Compared to the conventional method of trend analysis, the EMD method is affected by less artificial influence, and we did not need to set any parameters beforehand. Otherwise, it reflected the potential field intrinsic physical characteristics better. Separation results showed that this technique had higher accuracy than conventional methods such as polynomial fitting and had a good consistency with regions geology. Finally, the results of the new method were compared with results of the upward continuation filter and we observed that these results were matched with the upward continuation filter.

Keywords: Magnetic field separation, regional anomaly, residual anomaly, empirical mode decomposition, North Mahallat

۱ مقدمه

و بسامد کم هستند (نیقیان و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین تفکیک این دو دسته بی‌هنجاری اساسی‌ترین مرحله در پردازش و تفسیر داده‌های میدان مغناطیسی است. از روش‌های متداول در این زمینه که گسترش زیادی نیز پیدا کرده‌اند می‌توان به روش‌هایی چون پنجره میانگین متحرک (گریفین، ۱۹۴۹) و تحلیل روند اشاره کرد. در

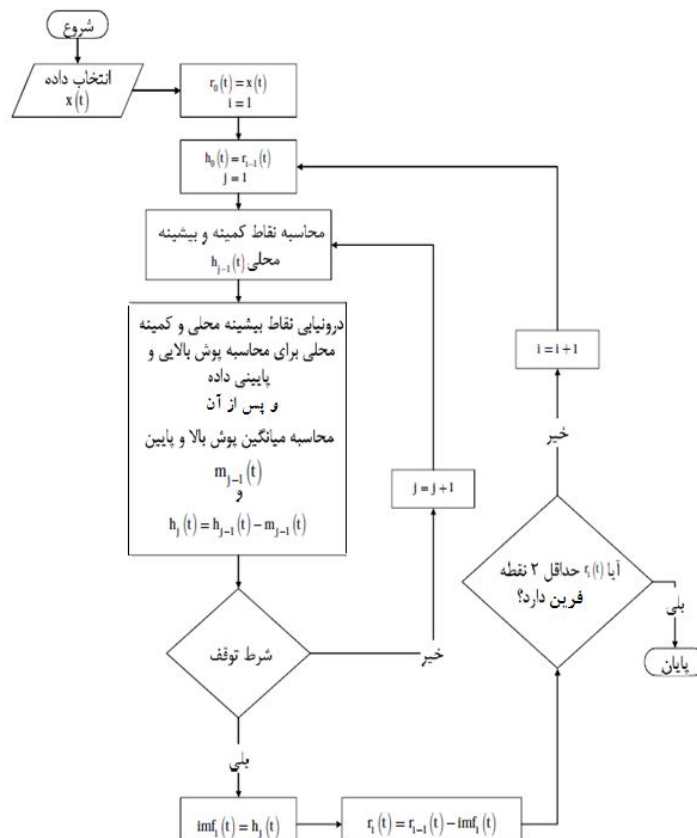
جداسازی بی‌هنجاری‌های میدان مغناطیسی به معنی جداسازی بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای و محلی یا همان جداسازی بی‌هنجاری‌های سطحی از بی‌هنجاری‌های عمیق‌تر است. به‌طور کلی بی‌هنجاری‌های محلی دارای دامنه و بسامد زیاد و بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای دارای دامنه

هسته اصلی در این تبدیل، تجزیه مد تجربی (Empirical Mode Decomposition) بود. هدف اساسی در EMD، تجزیه یک سیگنال به مولفه‌های سازنده آن تحت عنوان تابع‌های مد ذاتی (Intrinsic Mode Functions) است. مولفه‌های تجزیه به ترتیب شامل نوارهای بسامدی زیاد تا کم است.

در این مقاله، برای جداسازی بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای و باقی‌مانده در داده‌های مغناطیس‌سنجی از روش EMD استفاده شده است. در این روش داده‌های موردنظر به ترتیب از بسامد زیاد به بسامد کم در IMFs متوالی استخراج شده است و باقی‌مانده تجزیه در حکم بی‌هنجاری منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود.

جداسازی با استفاده از این روش‌ها پارامترهایی مانند طول پنجره و یا درجه برازش باید از قبل تعیین شوند و این پارامترها به‌طور مستقیم در نتایج حاصل تاثیرگذار هستند. در ادامه روش‌های تبدیل فوری برای سیگنال‌های خطی و پایا مورد استفاده قرار گرفت. تبدیل موجک نیز به‌منظور تفکیک داده‌های ناپایا مورد استفاده قرار گرفت که در مورد داده‌های غیرخطی به‌نحو ضعیفی عمل می‌کرد (حسن و پیرس، ۲۰۰۸).

هوانگ (۱۹۹۸) تبدیل هیلبرت - هوانگ را برای تحلیل طیفی سیگنال‌های خطی و غیرخطی در دو حالت پایا و ناپایا معرفی کرد. نانز و همکاران (۲۰۰۳) این تبدیل را در زمینه‌های دیگری از جمله پردازش تصویر بهبود دادند. زو و همکاران (۲۰۱۰) از روش EMD یک‌بعدی برای جداسازی نیم‌رخ گرانی و مغناطیس استفاده کردند.



شکل ۱. نمودار گردش تجزیه یک سیگنال به مدهای تجربی (تعمیم‌یافته از هوانگ و همکاران، ۱۹۹۸).

۲ اصول تجزیه مُد تجربی

EMD روشی برای تجزیه سیگنال‌های گوناگون است که این عمل در فرایندی تحت عنوان غربال کردن صورت می‌گیرد. طی این فرایند سیگنال اصلی به تعدادی مولفه با محتوای بسامدی متفاوت تجزیه می‌شود. روش EMD طبق رابطه (۱) سیگنال اصلی $x(n)$ را به تعدادی مُد ذاتی تجزیه می‌کند.

$$x(n) = \sum_{i=1}^n c_i(x) + r_n(x), \quad (1)$$

که $r_n(x)$ مولفه باقی‌مانده، بعد از n تعداد IMFs و $c_i(x)$ همان IMF است.

یک داده ممکن است در یک زمان دارای چندین مُد ذاتی باشد. این مُدهای نوسانی، تابع‌های مُد ذاتی (IMF) نام nhvkn و دارای شرایط زیر هستند.

- ۱- در کل داده، تعداد نقاط فرین (اکسترمم) و نقاط صفر با هم برابر و یا حداکثر دارای یک واحد اختلاف‌اند.
- ۲- در هر نقطه میانگین پوش برازش داده شده بر نقاط بیشینه محلی و پوش برازش داده شده بر نقاط کمینه محلی باید صفر باشد.

در واقع یک تابع مُد ذاتی مشابه یک هم‌هنگ (هارمونیک) است، با این تفاوت که مانند یک هم‌هنگ دارای دامنه و بسامد ثابت نیست و بسامدهای متفاوت با دامنه‌های متفاوت دارد. شکل ۱ الگوریتم مورد نیاز برای

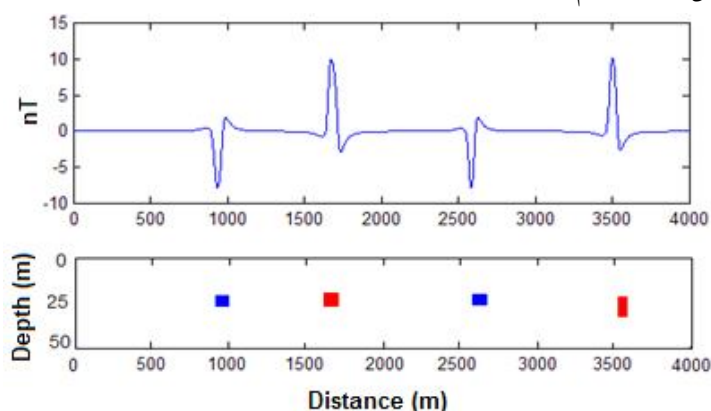
به‌دست آوردن تابع‌های مُد ذاتی یک سیگنال مانند $x(n)$ را نشان می‌دهد که به‌صورت مراحل زیر اِعمال می‌شود. (هوانگ و همکاران، ۱۹۹۸؛ هوانگ و شن، ۲۰۰۵).

مرحله اول: تعیین نقاط بیشینه و کمینه محلی سیگنال $x(n)$.

مرحله دوم: به‌دست آوردن پوش بالایی و پایینی سیگنال با استفاده از برازش نقاط بیشینه و کمینه محلی به روش اسپلاین درجه سه (cubic spline) و پس از آن محاسبه میانگین پوش بالا و پایین با نام $m_1(n)$.

مرحله سوم: محاسبه اختلاف میان داده و میانگین پوش بالا و پایین مطابق رابطه (۲). چنانچه $h_1(n)$ شرایط مربوط به یک تابع مُد ذاتی را داشته باشد، درحکم اولین تابع مُد ذاتی، $imf_1(n)$ ، در نظر گرفته و محاسبات به مرحله بعدی الگوریتم منتقل می‌شود. درغیر این‌صورت مراحل اول تا چهارم دوباره تکرار می‌شود؛ با این تفاوت که الگوریتم به‌جای سیگنال اولیه $x(n)$ روی $h_1(n)$ اِعمال می‌شود.

$$h_1(n) = x(n) - m_1(n), \quad (2)$$



شکل ۲. مدل مصنوعی و داده‌های حاصل از مدل بدون روند منطقه‌ای.

روش جدید با نتایج حاصل از جداسازی با روش متداول تحلیل برازش چندجمله‌ای مقایسه می‌شود.

نتایج حاصل از روش جدید و روش‌های متداول در جداسازی در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از روش EMD در مقایسه با روش تحلیل برازش چندجمله‌ای درجه‌های یک تا پنج هم‌خوانی بیشتری با روند افزوده دارد. مقدار تفاوت عددی حاصل از روش‌های متفاوت نسبت به این روند نیز به صورت خطای RMS در جدول ۱ آورده شده است.

با توجه به شکل ۶ همان‌طور که مشاهده می‌شود روش جدید علاوه بر جداسازی بی‌هنجاری، قادر به تفکیک نوفه از داده نیز هست؛ این قابلیت است که روش‌های دیگر از آن برخوردار نیستند. علاوه بر این با توجه به اینکه در کارهای اکتشافی گوناگون، استفاده از درجه روندی خاص دقیقاً مشخص نیست، استفاده از روش تحلیل روند با مشکل مواجه خواهد بود. یعنی نظر مفسر در نتایج حاصل تأثیرگذار است. در صورتی که در روش EMD جداسازی فقط بر مبنای خواص فیزیکی داده صورت می‌پذیرد و نیازی به پارامترهای از پیش تعیین شده نیست. در شکل ۶، مزیت دیگری از روش جدید که همان جداسازی نوفه در مراحل ابتدایی روش EMD است، نشان داده می‌شود.

جدول ۱. RMS به دست آمده از روش‌های متفاوت نسبت به روند غیرخطی افزوده شده در داده‌های مصنوعی.

RMS نسبت به روند غیرخطی	روش
۰/۰۰۴	EMD
۰/۰۳	برازش درجه ۱
۰/۰۲	برازش درجه ۲
۰/۰۰۸	برازش درجه ۳
۰/۰۰۶	برازش درجه ۴
۰/۰۰۵	برازش درجه ۵

مرحله چهارم: محاسبه باقی‌مانده مطابق رابطه (۳).

$$r_1(n) = x(n) - imf_1(n) \quad (3)$$

مرحله پنجم: چنانچه باقی‌مانده دارای حداقل دو فرین باشد، مراحل اول تا پنجم تکرار می‌شود و در غیر این صورت الگوریتم متوقف می‌شود و آخرین باقی‌مانده در حکم باقی‌مانده سیگنال در نظر گرفته می‌شود.

پس از اینکه تجزیه داده‌های نیم‌رخ مغناطیس به IMF های مربوط صورت گرفت، باقی‌مانده تجزیه در حکم بی‌هنجاری منطقه‌ای در نظر گرفته و اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و بی‌هنجاری منطقه‌ای بی‌هنجاری باقی‌مانده تلقی می‌شود.

۳ اعمال الگوریتم روی داده‌های مصنوعی

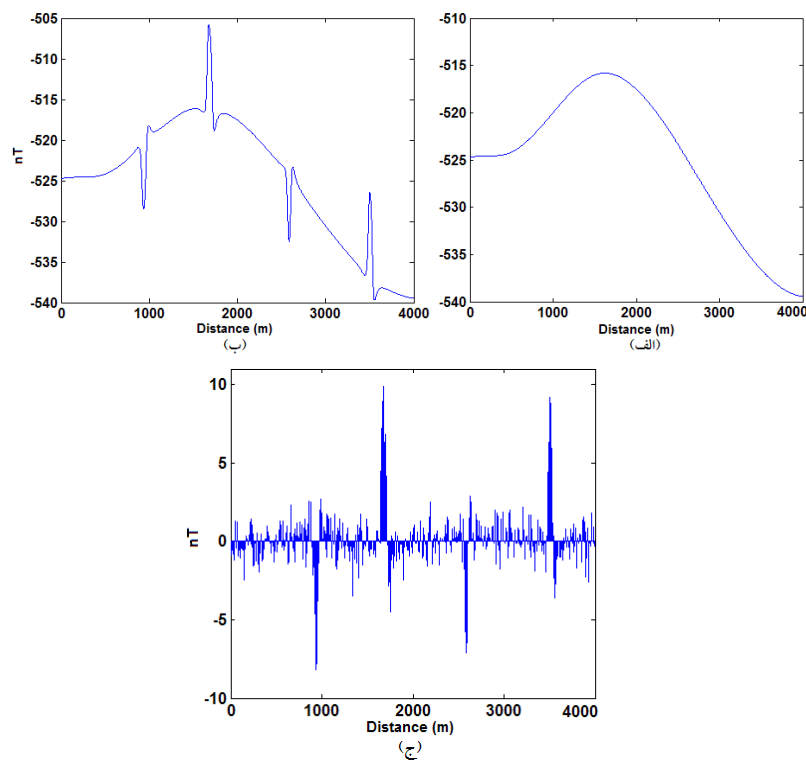
در این مقاله داده‌های مصنوعی با استفاده از نرم‌افزار Mag2dc برای توزیع بی‌هنجاری‌ها با اندازه و عمق‌های متفاوت و همچنین تباین پذیرفتاری مغناطیسی به صورت شکل ۲ تولید شده است. داده‌های مغناطیس پیش‌گفته ناشی از چهار بی‌هنجاری با پذیرفتاری مغناطیسی متفاوت هستند. داده‌های تولید شده فاقد روند ناحیه‌ای‌اند. برای نشان دادن قابلیت روش، روندی غیرخطی به داده‌های پیش‌گفته افزوده شد. جداسازی بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای و باقی‌مانده با دو روش برازش چندجمله‌ای و EMD روی داده‌های حاصل، صورت گرفته و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است.

به داده‌های مدل مصنوعی، یک روند غیرخطی شکل ۳ افزوده شده که داده حاصل در شکل ۳-الف آمده است. در شکل ۳-ج منحنی آبی توپُر، نوفه‌های افزوده شده به داده با روند و در شکل ۴ داده به همراه روند و نوفه نشان داده شده است. در مرحله بعد با استفاده از روش EMD روند و نوفه افزوده به داده، تفکیک و نتایج حاصل از

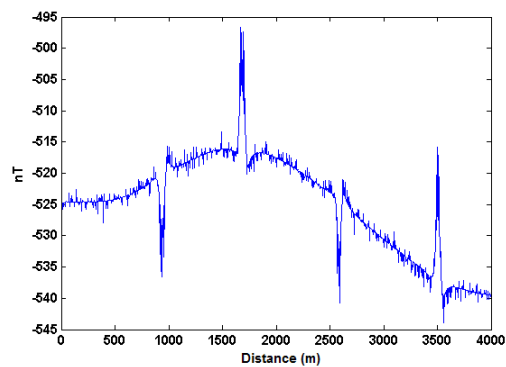
۴ زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی واقع در شمال شهرستان محلات از توابع استان مرکزی است که روی نوار کوه‌زایی سنندج-سیرجان قرار گرفته، و مهم‌ترین منطقه فرورانش حاشیه قاره در ایران است. منطقه موردنظر اکثراً با سنگ‌های رسوبی مربوط به دوره‌های زمین‌شناسی ژوراسیک و کرتاسه، سنگ‌های آذرین مرتبط با فعالیت‌های ماگمایی دوره میوسن، رسوبات دوره کواترنر و آبرفت‌های

عهدحاضر پوشیده شده است. جنس سنگ‌های آذرین منطقه اکثراً گرانیت، گرانودیوریت و سینیت است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، سنگ‌های آذرین منطقه به‌طور کلی دارای راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب هستند. همچنین در قسمت جنوب شرقی نقشه، سنگ‌های آذرینی دیده می‌شوند که احتمالاً بر اثر عملکرد گسل بیدهند با راستایی تقریباً شمالی-جنوبی از توده اصلی در شمال‌شرق نقشه حرکت کرده‌اند.



شکل ۳. (الف) روند افزوده به داده (ب) داده به همراه روند افزوده و (ج) داده به همراه ۵ دسی‌بل نوفه افزوده شده.



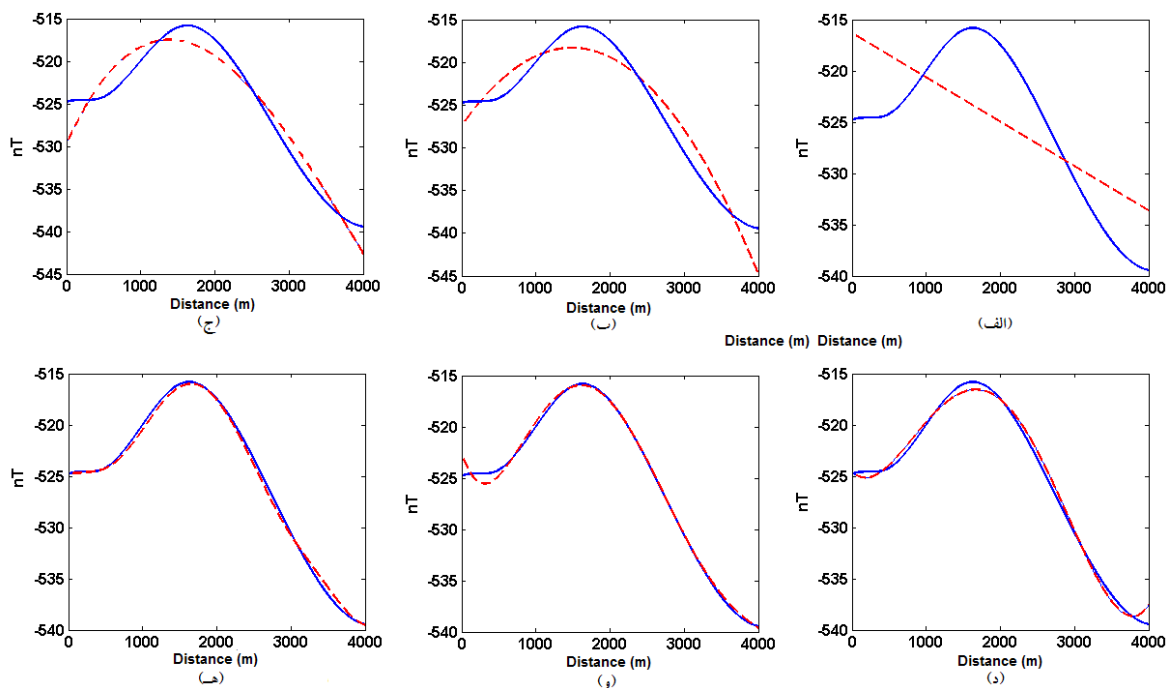
شکل ۴. داده به همراه روند افزوده و نوفه ۵ دسی‌بل.

۴ اعمال الگوریتم روی داده‌های واقعی

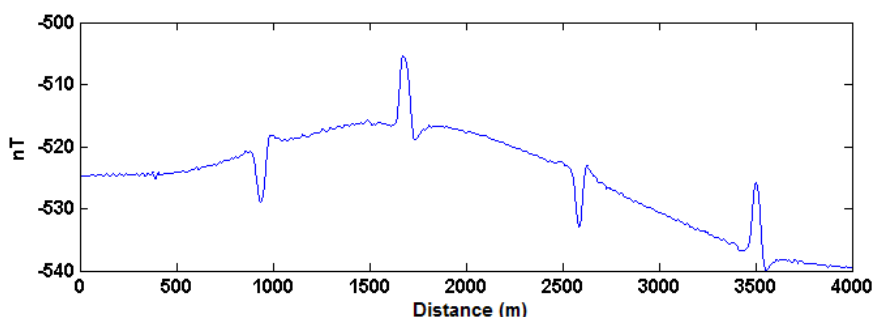
به‌طور کلی در اکتشافات زمین‌گرایی، برداشت‌های مغناطیس‌سنجی بیشتر برای مشخص کردن توده‌های نفوذی پنهان و برآورد عمق احتمالی آنها و یا برای مشخص کردن دایک‌ها و گسل‌های پنهان صورت می‌گیرد. همچنین از پیمایش مغناطیس‌سنجی برای یافتن مناطقی که در آنها خاصیت مغناطیسی سنگ‌ها به علت فعالیت‌های گرمایی کم است، استفاده می‌شود. اندازه‌گیری‌ها برای ساختارهای محلی مثل گسل‌ها و دایک‌های مشخص روی زمین و روی نیم‌رخ‌های موازی و یا یک شبکه صورت می‌پذیرد. در اندازه‌گیری‌های مغناطیس‌سنجی که هدف آن آشکارسازی و تهیه نقشه بی‌هنجاری‌های بزرگ مثل توده‌های نفوذی عمیق و حوزه‌های رسوبی است، از روش مغناطیس‌سنجی هوابرد استفاده می‌شود. داده‌های واقعی مورد بررسی داده‌های

مغناطیس‌سنجی هوایی مربوط به ناحیه شمال محلات واقع در استان مرکزی و ارتفاع پرواز در این عملیات ۵۰۰ متر و فاصله خطوط پرواز ۷/۵ کیلومتر است. در این منطقه توده‌های نفوذی منجر به پدیدار گشتن ذخایر زمین‌گرایی شده‌اند.

در شکل ۸ نقشه زمین‌شناسی و خطوط هم‌تراز مغناطیسی به‌صورت هم‌پوشانی نشان داده شده است. در این شکل همان‌طور که مشاهده می‌شود، نقشه هم‌تراز مغناطیسی دقیقاً با توده‌های نفوذی موجود در نقشه زمین‌شناسی مطابقت دارد و تقریباً دارای راستای شمال‌شرق-جنوب‌غرب است و بی‌هنجاری در جنوب در زیر رسوبات قرار دارد. در ضمن نقشه‌های مربوط به پالایه ادامه فراسو در صفحه‌های انتهایی نشان‌دهنده پیوستگی بیشتر این توده در راستای مورد اشاره در اعماق بیشتر است.



شکل ۵. (الف)، (ب)، (ج)، (د)، (و) به‌ترتیب روندهای جداسازی شده به روش تحلیل برازش چندجمله‌ای برای درجه‌های یک تا پنج (خطوط خط‌چین سرخ)، خط آبی توپ‌رود افزوده شده اولیه و (ه)، روند جداسازی شده توسط روش EMD است.

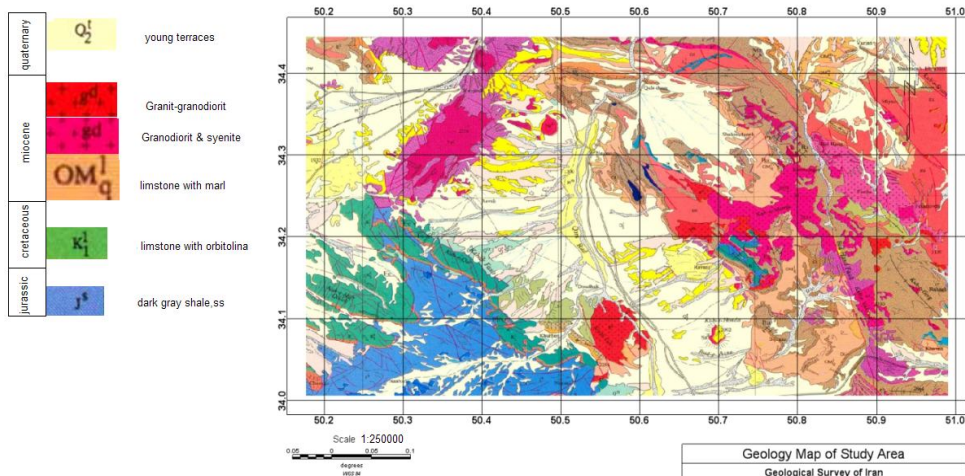


شکل ۶. نمایش شکل ۳ (د) بعد از حذف نوفه به روش EMD

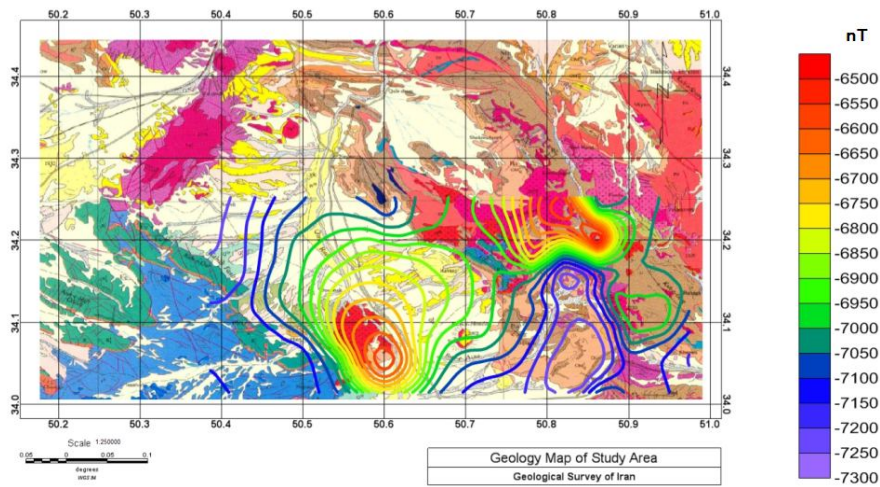
پیش گفته پالایه ادامه فراسو با ارتفاع ۳۰۰۰، ۵۰۰۰، ۷۰۰۰ و ۹۰۰۰ متر اعمال شده و از داده‌های حاصل از پالایه ادامه فراسو با ارتفاع ۷۰۰۰ متر نیم‌رُخ‌ی تهیه شد که در شکل ۱۰-ح با رنگ آبی نشان داده شده است. بی‌هنجاری محلی از کسر بی‌هنجاری منطقه‌ای به دست آمده از روش‌های برازش چندجمله‌ای، ادامه فراسو و EMD از داده‌های مغناطیس هوایی تبدیل به قطب شده به دست آمد که در شکل ۱۰ هم‌مقیاس با نقشه زمین‌شناسی رسم شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود بی‌هنجاری محلی به دست آمده با استفاده از دو روش ادامه فراسو و EMD تا حدود زیادی با یکدیگر مطابقت دارند. در شکل ۱۲ نتایج حاصل از پالایه ادامه فراسو با ارتفاع‌های متفاوت نشان داده شده است.

در شکل ۹ داده‌های مغناطیس هوایی تبدیل به قطب شده (RTP) منطقه مورد بررسی نشان داده شده است. به‌منظور جداسازی بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای از باقی‌مانده، یک نیم‌رُخ مطابق شکل ۹ (نیم‌رُخ A-B) انتخاب شد که در شکل ۱۰-الف موقعیت نیم‌رُخ روی نقشه زمین‌شناسی و در شکل ۱۰-ب داده‌های تبدیل به قطب شده مربوط به نیم‌رُخ مورد بررسی نمایش داده شده است. بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای به دست آمده از روش EMD در شکل ۱۱ منحنی سرخ رنگ و بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای به دست آمده از درجات متفاوت روش برازش چندجمله‌ای نشان داده شده است.

به‌منظور سنجش درستی آزمایش و مقایسه روش EMD و تحلیل برازش چندجمله‌ای روی داده‌های واقعی



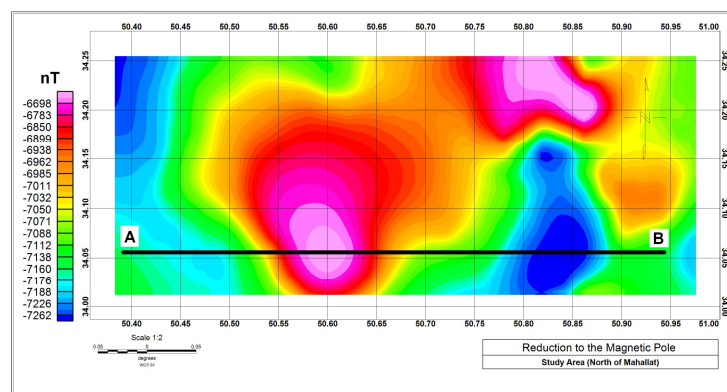
شکل ۷. نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد بررسی (شمال محلات).



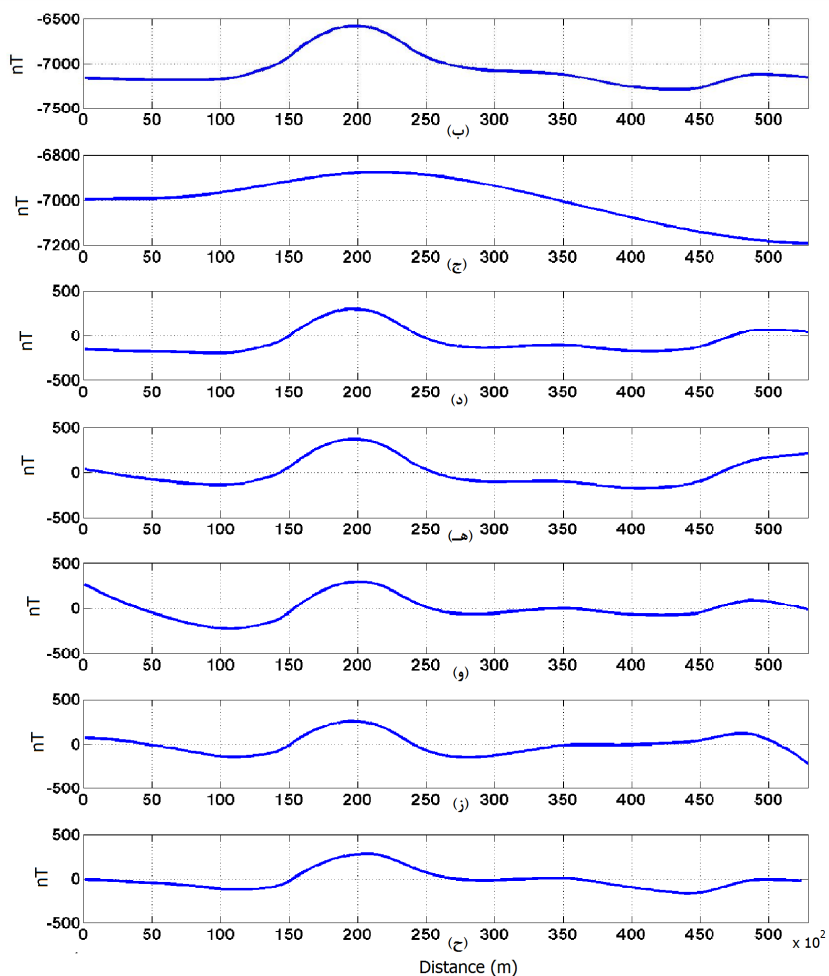
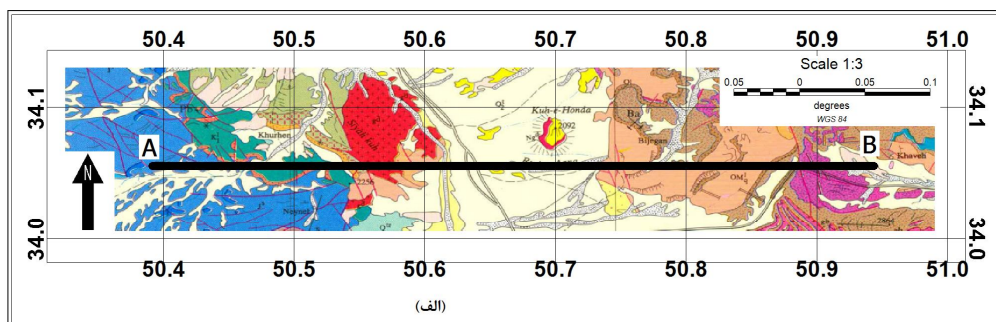
شکل ۸. نقشه هم‌پوشانی ساختارهای زمین‌شناسی و منحنی‌های هم‌تراز مغناطیسی.

همان‌طور که در شکل‌های ۱۰-د تا ۱۰-ح نشان داده شده است با کم کردن مقادیر روند ناحیه‌ای به‌دست آمده با روش EMD و برازش چندجمله‌ای و ادامه فراسو از داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی تبدیل به قطب شده نیم‌رخ AB مقادیر بی‌هنجاری محلی منطقه مورد بررسی به‌دست می‌آید. با توجه به شکل ۱۰ و نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌توان این شکل‌ها را این‌گونه تفسیر کرد که مقادیر مغناطیسی کم در سمت چپ شکل‌های پیش‌گفته، مرتبط با سنگ‌های کربناته سمت چپ نقشه زمین‌شناسی، مقادیر مغناطیسی با دامنه زیاد مشخص شده مرتبط با توده اصلی

سپس RMS‌های حاصل از روش ادامه فراسو با روش EMD و تحلیل برازش چندجمله‌ای محاسبه شد. RMS‌های به‌دست آمده نسبت به روش ادامه فراسو برای روش EMD و تحلیل برازش چندجمله‌ای درجه ۲، ۳ و ۴ در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان‌دهنده مشابهت بیشتر بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای به‌دست آمده از روش EMD با روش پالایه ادامه فراسو است. تعیین ارتفاع بهینه برای جداسازی در روش پالایه ادامه فراسو نیازمند محاسبات وقت‌گیر و پیچیده‌ای است که در روش EMD دیگر نیازی به تعیین این ارتفاع نیست.



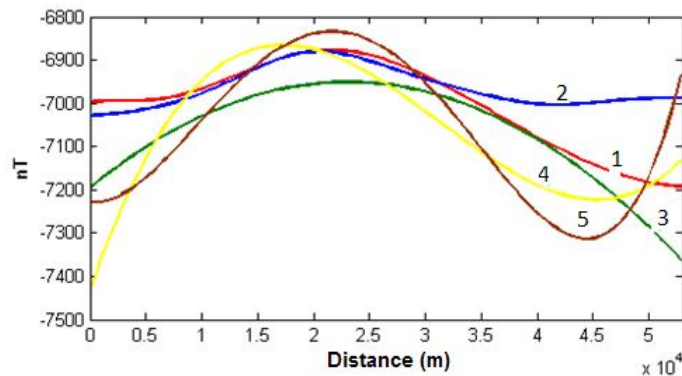
شکل ۹. داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی مربوط به ناحیه محلات به همراه نیم‌رخ انتخابی.



شکل ۱۰. (الف) نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد بررسی به همراه موقعیت نیم‌رخ A-B، (ب) داده مغناطیس‌سنجی تبدیل به قطب شده در موقعیت نیم‌رخ A-B، (ج) بی‌هنجاری منطقه‌ای به‌دست آمده از الگوریتم EMD، (د) بی‌هنجاری باقی‌مانده به‌دست آمده از روش EMD حاصل کسر بی‌هنجاری منطقه‌ای از مشاهده داده RTP، (هـ)، (و) و (ز) بی‌هنجاری باقی‌مانده به‌دست آمده از روش تحلیل برازش چندجمله‌ای درجه ۲، ۳ و ۴ و (ح) بی‌هنجاری باقی‌مانده به‌دست آمده از پالایه ادامه فراسو.

و عهدحاضر و درنهایت سنگ‌های آذرین سمت راست نقشه است. با توجه به نتایج حاصل از روند ناحیه‌ای به‌دست آمده با روش EMD و پالایه ادامه فراسو، مشاهده

آذرین نفوذی منطقه است. در ادامه شکل، کاهشی در دامنه مغناطیسی و پس از آن صعود این دامنه مشاهده می‌شود که به‌ترتیب نمایان‌گر رسوبات آبرفتی دوران کوتاه‌تر



شکل ۱۱. بی‌هنجاری ناحیه‌ای به‌دست آمده از روش EMD (منحنی سرخ (۱)) و روش برازش چندجمله‌ای با درجه ۲، ۳ و ۴ (به ترتیب منحنی‌های سبز (۳)، زرد (۴) و قهوه‌ای (۵)) و بی‌هنجاری ناحیه‌ای به‌دست آمده با استفاده از روش ادامه فراسو (منحنی آبی (۲)).

خواهد داشت. این درحالی است که روش EMD برای هر نوع سیگنال کاربست‌پذیر است و درضمن چون جداسازی بر مبنای خصوصیات ذاتی و فیزیکی داده‌ها صورت می‌گیرد، نیازی به تعیین هیچ پارامتری از قبل نیست و پردازش داده‌ها کاملاً به‌صورت خودکار و بدون نظر مفسر صورت می‌پذیرد.

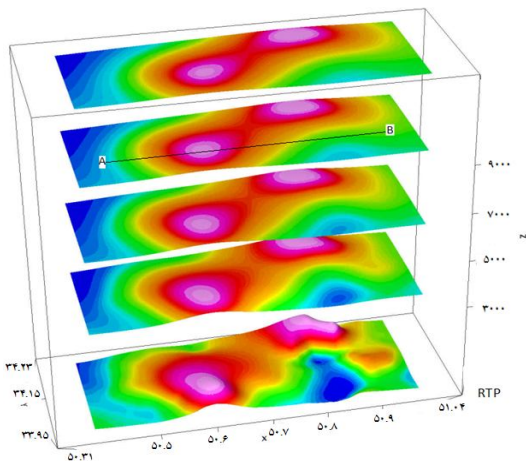
می‌شود که بی‌هنجاری مثبت کوچک موجود در سمت راست نیم‌رخ شکل ۱۰ سطحی است و در اعماق بیشتر ادامه ندارد، به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع پالایه فراسو بی‌هنجاری‌های سطحی جنوب‌شرقی منطقه از بین می‌رود. این امر نشان‌دهنده سطحی بودن این بی‌هنجاری‌ها است.

جدول ۲. RMS به‌دست آمده از روش‌های گوناگون نسبت به پالایه ادامه فراسو.

RMS نسبت به ادامه فراسو	روش
۷/۶	EMD
۱۲/۲	برازش درجه ۲
۱۳/۶	برازش درجه ۳
۱۴/۶	برازش درجه ۴

۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله از روش EMD به‌منظور جداسازی بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای و باقی‌مانده استفاده شده است. روش‌های جداسازی مانند روش‌های مبتنی بر تبدیل فوریه برای هر نوع سیگنالی قابل استفاده نیستند. در روش‌هایی مانند روش تحلیل روند نیز پارامترهایی مانند درجه برازش چندجمله‌ای می‌باید از قبل تعیین شود که انتخاب پارامترهای متفاوت تاثیر مستقیم در نتایج جداسازی



شکل ۱۲. اعمال پالایه ادامه فراسو با ارتفاع‌های متفاوت، روی داده‌های مغناطیسی منطقه و نیم‌رخ AB روی پالایه ادامه فراسو با ارتفاع ۷۰۰۰ متر.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، جداسازی بی‌هنجاری‌ها با استفاده از روش EMD در مقایسه با روش متداول برازش چندجمله‌ای به مقادیر نظری نزدیک‌تر است و

- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. L., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N. C., Tung C. C., and Liu, H. H., 1998, The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis: Proc. Roy. Soc. London A, **454**, 903–995.
- Nunes, J. C., Niang, O., and Bouaoune, Y., 2003, Bidimensional empirical mode decomposition modified for texture analysis: 13th Scandinavian Conference on Image Analysis, Extended Abstracts, 171-177.
- Qinqin, Z. and Tianyou, L., 2009, potential field separation based on the empirical mode decomposition and its application: 2nd International Congress on Image and Signal Processing, Extended Abstracts, 1-4.
- Skeels, D. C., 1947, Ambiguity in gravity interpretation: Geophysics, **12**, 43–56.
- Zhou, W. N., Zeng, S. F., and Du, X. J., 2010, Gravity anomaly separation based on empirical mode decomposition: Global Geol., **29**, 495-502.

عمل جداسازی با دقت بیشتری صورت گرفته است. از این گذشته این روش نوفه موجود در داده را نیز در اولین مولفه‌های imf تفکیک می‌کند. همچنین نتایج حاصل از روش EMD با نتایج به دست آمده از اعمال پالایه فراسو با ارتفاع‌های متفاوت دارای بیشترین مشابهت و کمترین RMS است. همان‌طور که ذکر شد، تعیین ارتفاع بهینه برای جداسازی در روش پالایه ادامه فراسو، نیازمند محاسبات وقت گیر و پیچیده است که در روش EMD دیگر نیازی به تعیین این ارتفاع نیست.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از آقای مهندس محمد رضایی، دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شاهرود، به خاطر در اختیار گذاشتن داده‌ها و راهنمایی‌هایی در مورد زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی، تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

رضایی، م. کاربرد فن‌آوری داده‌های ماهواره‌ای در اکتشاف مناطق انرژی زمین‌گرمایی در بخش مرکزی ایران (مجلات) و اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی و ژئوشیمیایی: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهربور

۹۰

- Blakely, R. J., 1995, Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications: Cambridge University Press.
- Cooper, G. R. J., and Cowan, D. R., 2003, Sunshading geophysical data using fractional order horizontal gradients: The Leading Edge, **22**, 204-205.
- Griffin, W. R., 1949, Residual gravity in theory and practice: Geophysics, **14**, 39–56.
- Guspi, F., and Introcaso, B., 2000, A sparse spectrum technique for gridding and separating potential field anomalies: Geophysics, **65**, 1154–1161.
- Huang, N. E., and Shen, S. S. P., 2005, Hilbert-Huang Transform and its Applications: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.