

کاربرد روش دوقطبی‌های مغناطیسی معادل چشمه (ESMD) در تخمین عمق کوری با استفاده از مدل میدان مغناطیسی ماهواره‌ای MF5

آزاده حجت^(۱*)، ناصر حسین زاده گویا^۲ و کومار همانت سینگ^۳

۱. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. دانشیار گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳. دانشیار پژوهش، دانشگاه مریلند، بالتیمور

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۴

چکیده

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد نیاز برای تفسیرهای تکتونیکی فعالیت‌های پوسته زمین، آشنایی از وضعیت درجه حرارت در درون زمین می‌باشد. تا کنون مطالعات کمی جهت کسب اطلاع از پارامتر مذکور انجام گرفته است. یکی از شرایط مرزی درجه حرارت در اعماق پوسته قاره‌ای را می‌توان با تعیین عمق کوری (که بستر پوسته مغناطیسی را تشکیل می‌دهد) به دست آورد. در این مطالعه، نحوه تخمین عمق هم‌دمای کوری با استفاده از مدل‌های میدان مغناطیسی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و روش دوقطبی‌های مغناطیسی معادل چشمه ارائه شده است. در حقیقت، روشی جدید و متفاوت جهت استفاده از میدان مغناطیسی بی‌هنجار به منظور محاسبه عمق کوری مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق، عمق هم‌دمای کوری برای منطقه‌ای واقع در محدوده عرض جغرافیایی ۲۸-۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶-۶۴ درجه شرقی با استفاده از مدل میدان MF5 حاصل از شش سال ماموریت ماهواره CHAMP محاسبه شده است. ابتدا میدان مغناطیسی القایی پوسته با استفاده از مدل میدان MF5 تهیه گردید. سپس میدان مغناطیسی حاصل از یک مدل اولیه مغناطیدگی پوسته در ارتفاع ماهواره محاسبه و با مدل میدان القایی محاسبه شده، مقایسه شد. با توجه به نتایج حاصل، هم‌دمای کوری در کل منطقه مورد مطالعه، بالاتر از موهو و درون پوسته قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: ایران، عمق کوری، روش دوقطبی‌های مغناطیسی معادل چشمه، مدل میدان مغناطیسی MF5.

مقدمه

عمق هم‌دمای کوری در مقیاس جهانی و استفاده از داده‌های قابل اعتماد با دقت بالا را نشان می‌دهد. گرمای درون زمین پیوسته از بخش داغ زمین و از میان سطح جامد سیاره به محیط اطراف انتقال می‌یابد. شار حرارتی زمین‌گرایی در مناطق مختلف متفاوت است. با معین بودن درجه حرارت در یک عمق خاص در پوسته، می‌توان پروفیل درجه حرارت را در پوسته تعیین نمود و بر اساس آن، شار حرارت

عمق کوری تا حدی به فرایندهای تکتونیکی و زمین‌شناسی بستگی داشته و با تعیین این عامل مهم می‌توان اطلاعات با ارزشی از فرایندهای درون زمین به دست آورد. اغلب تفسیرها و مدل‌سازی نقشه‌های جهانی مغناطیسی، بدون در نظر گرفتن مدل درجه حرارت و به جای آن با در نظر گرفتن موهو به عنوان مرز پائین مغناطیسی انجام گرفته است. این امر لزوم محاسبه دقیق

* نویسنده مرتبط

مغناطیسی را تعیین نمود. رابطه اصلی در روش ESMD، معادله میدان مغناطیسی یک دوقطبی است.

در این تحقیق، با استفاده از روش دوقطبی‌های مغناطیسی معادل چشمه، به تفسیر یکی از جدیدترین و دقیق‌ترین مدل‌های میدان مغناطیسی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای (مدل MF5) پرداخته شده است. همچنین الگوریتم مربوط به تخمین عمق هم‌دمای کوری و شار حرارتی زمین‌گرایی ارائه شده است.

الگوریتم محاسبه عمق کوری

گرمای درون زمین همواره از قسمت‌های داغ اعماق به سطح زمین و اتمسفر جریان دارد. شار حرارتی زمین‌گرایی با توجه به موقعیت، متغیر است. به‌عنوان مثال، شار حرارتی در طول پشته‌های میان اقیانوسی و در مناطق آتشفشانی بالاست. به‌طور کلی، شار حرارتی زمین‌گرایی در اقیانوس‌ها بیشتر از قاره‌ها می‌باشد، اما تغییرات شار هم در اقیانوس‌ها و هم در قاره‌ها بسیار زیاد است.

میدان پوسته که توسط ماهواره‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از مدل‌های میدان توصیف می‌شود، در اثر مغناطیس القایی و بازماند سنگ‌های پوسته به‌وجود می‌آید. مغناطیس القایی سنگ‌های پوسته، به ضخامت پوسته مغناطیسی (عمق کوری)، مغناطیس‌پذیری سنگ‌های پوسته و قدرت میدان القایی بستگی دارد. بنابراین، به‌منظور تعیین ضخامت پوسته مغناطیسی، باید بخش القایی میدان پوسته مشخص گردد. با توجه به این که اندازه‌گیری مستقیم این بخش میدان امکان‌پذیر نمی‌باشد، میدان القایی پوسته در این تحقیق با کم کردن یک مدل میدان بازماند پوسته از میدان مشاهده‌شده پوسته، به‌دست آمد. برای میدان بازماند پوسته اقیانوسی، مدل تهیه شده توسط Dyment and Arkani-Hamed (1998) مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل، مغناطیس بازماند لیتوسفر اقیانوسی با استفاده از سن کف اقیانوس‌ها و حرکت صفحات، تعیین شده است. متأسفانه هیچ مدل جهانی و حتی ناحیه‌ای برای مغناطیس بازماند پوسته قاره‌ای وجود ندارد. به‌طور کلی مغناطیس القایی در پوسته قاره‌ای بر مغناطیس بازماند غالب است و مغناطیس بازماند پوسته قاره‌ای قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد. با کم کردن میدان بازماند از میدان مشاهده‌شده پوسته، میدان مشاهده‌شده مربوط به پوسته القایی به‌دست آمد. بر اساس آن، عمق کوری با استفاده از روش دوقطبی‌های مغناطیسی معادل چشمه، تخمین زده شد.

الگوریتم ارائه شده برای تخمین عمق کوری با استفاده از مدل‌های میدان مغناطیسی ماهواره‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است.

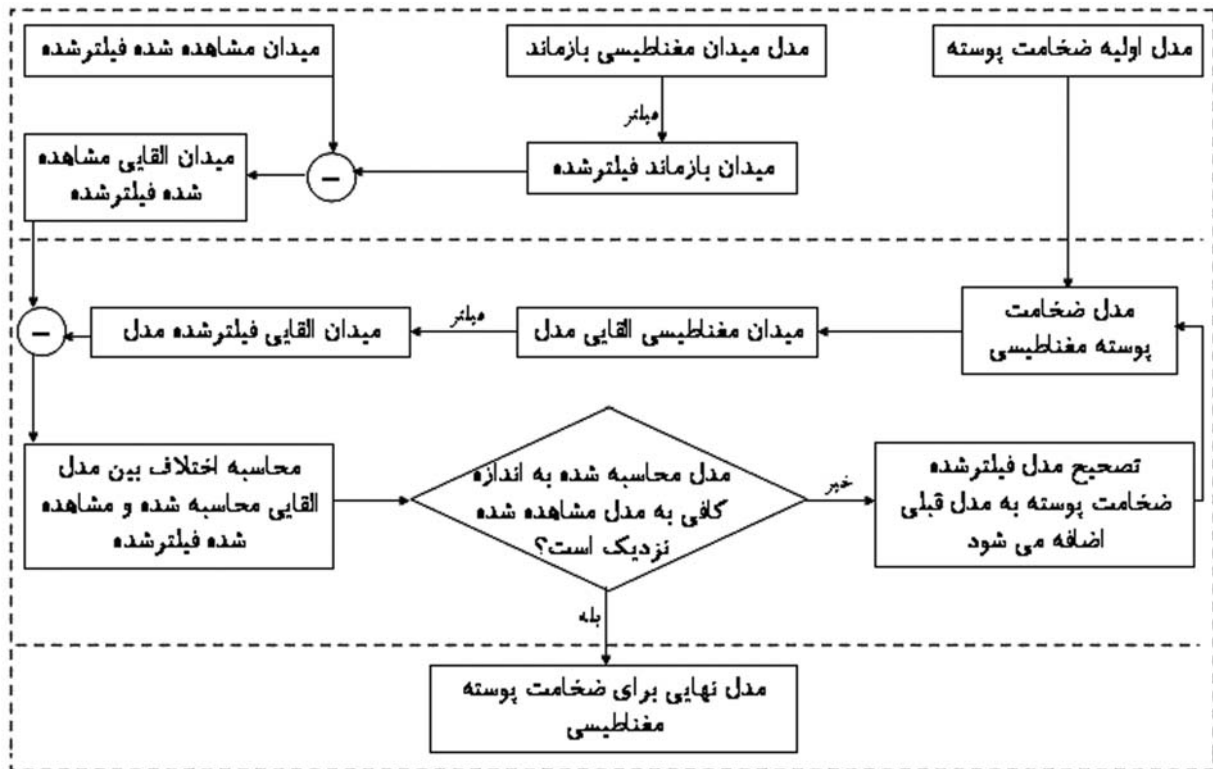
ابتدا، میدان مغناطیسی القایی مدل اولیه ضخامت پوسته، برای ضرایب هارمونیک کروی معادل با بسط مدل میدان مورد استفاده، محاسبه می‌شود (حجت و گویا، ۱۳۸۶). میدان محاسبه شده با میدان مغناطیسی القایی مشاهده‌شده توسط ماهواره، مقایسه

را تخمین زد. پوسته و بخشی از گوشته فوقانی، متعلق به لیتوسفر حرارتی هستند و به‌عنوان بخش خارجی زمین که سازوکار غالب انتقال حرارت در آن به‌صورت هدایت گرمایی است، تعریف می‌شود. مرز لیتوسفر حرارتی و گوشته واقع در زیر آن، تدریجی است، اما برای اهداف متعدد، مرز پایینی لیتوسفر حرارتی حدود ۱۳۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، پوسته مغناطیسی که به هم‌دمای ۵۸۰ درجه سانتی‌گراد محدود می‌شود، همواره درون لیتوسفر حرارتی و ناحیه هدایت گرمایی واقع است (Maule et al., 2005). با معین بودن درجه حرارت در عمق معینی از لیتوسفر، می‌توان گرادیان حرارت و شار سطحی حرارت را با استفاده از معادله هدایت گرما (در صورتیکه هدایت سنگ‌ها، درجه حرارت سطح سنگ بستر و تولید حرارت در پوسته مشخص باشد) تخمین زد.

بی‌هنجاری‌های مغناطیسی، عمق هم‌دمای کوری و جریان سطحی حرارت با یکدیگر تطابق دارند. (Okubo et al., 1985; Tanaka et al., 1999; Stampolidis and Tsokas, 2002) شار حرارتی یکسان، کانی‌های با درجه حرارت کوری بالاتر نسبت به کانی‌های با درجه حرارت کوری پایین‌تر، می‌توانند تا عمق بیشتری گسترش داشته باشند. کانی‌های با درجه حرارت کوری یکسان، در مناطق با شار حرارتی بیشتر، در اعماق کمتر و در مناطق با شار حرارتی کمتر، در اعماق بیشتری از نظر مغناطیسی پایدار خواهند بود. کانی‌های فرومغناطیس در درجه حرارت‌های بالاتر از درجه حرارت کوری خود، خاصیت پارامغناطیسی پیدا می‌کنند. بنابراین، بی‌هنجاری‌های مغناطیسی اعماق پوسته، به عمق هم‌دمای کوری محدود می‌شوند.

داده‌های مغناطیس هوایی، کاربرد گسترده‌ای در تخمین عمق هم‌دمای کوری داشته‌اند. اخیراً مدل‌های مغناطیسی ماهواره‌ای در تخمین عمق هم‌دمای کوری مورد استفاده قرار گرفته و نتایج حاصله با جریان سطحی حرارت مطابقت داشته است (Hamoudi et al., 1998; Mayhew, 1982). با افزایش روزافزون حجم و دقت داده‌های ماهواره‌ای، مطالعات دقیق‌تر پوسته زمین امکان‌پذیر شده است. مدل‌های میدان مغناطیسی پوسته حاصل از داده‌های ماهواره‌ها، نمایش مناسبی از میدان پوسته فراهم می‌آورند. این مدل‌ها کاربرد گسترده‌ای در تفسیرهای زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی داشته و ارائه روش‌های جدید مطالعات پوسته با استفاده از مدل‌های میدان مغناطیسی حاصله را ایجاب کرده است (حجت و همکاران، ۱۳۸۶).

در روش دوقطبی‌های مغناطیسی معادل چشمه، مغناطیدگی پوسته توسط دوقطبی‌هایی که در سراسر منطقه مورد مطالعه پخش شده‌اند، نشان داده می‌شود. هدف، تعیین گشتاورهای مغناطیسی این دوقطبی‌های پوسته به‌نحوی است که مجموع میدان مغناطیسی حاصل از آن‌ها در فاصله‌ای معین در بالای سطح زمین، مشابه با میدان مغناطیسی مشاهده‌شده باشد. با مشخص بودن مغناطیس‌پذیری سنگ‌های پوسته، می‌توان ضخامت پوسته



شکل ۱- الگوریتم تعیین عمق کوری و شار حرارتی زمین‌گرایی با استفاده از مدل‌های میدان مغناطیسی ماهواره‌ای.

شرایط بی‌نظیری را برای داده‌های جمع‌آوری شده و تفکیک میدان مغناطیسی لیتوسفر فراهم آورده است. علاوه بر این، دوربین‌های ستاره دووجه ماهواره CHAMP، جمع‌آوری داده‌های برداری مغناطیسی با کیفیتی بسیار بالا را در مقایسه با داده‌هایی که تا کنون در مدارهای زمین تهیه شده‌اند، امکان‌پذیر ساخته است.

محاسبه میدان القایی مشاهده شده محاسبه میدان مشاهده شده

به‌منظور حذف میدان هسته، ضرایب هارمونیک کروی برای $n < 16$ برابر با صفر قرار داده شد (Mauersberger, 1956; Lowes, 1966; Langel and Estes, 1982; Hemant, 2003; Sabaka et al., 2004; حجت و گویا، ۱۳۸۶) نقشه جهانی مؤلفه عمودی میدان مشاهده شده که با استفاده از ضرایب هارمونیک کروی مدل MF5، در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتر محاسبه شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

محاسبه میدان بازماند فیلتر شده

در این مرحله، بسط هارمونیک کروی میدان بازماند با فیلتر بالاگذر (تمام ضرایب مربوط به درجه‌های کمتر از ۱۶ برابر با صفر در نظر گرفته شد) محاسبه شد. نقشه جهانی مؤلفه عمودی میدان بازماند که با استفاده از ضرایب هارمونیک کروی مدل مذکور، در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتر محاسبه شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

می‌شود. در صورتی که اختلاف بین این دو بیشتر از حد قابل قبول باشد، مدل ضخامت پوسته مغناطیسی تصحیح می‌شود. در ادامه میدان القایی مدل تصحیح یافته محاسبه و مجدداً با میدان القایی مشاهده شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد. این امر ادامه می‌یابد تا زمانی که میدان مغناطیسی مربوط به مدل ضخامت پوسته مغناطیسی به اندازه کافی به میدان القایی مشاهده شده توسط ماهواره نزدیک شود.

مدل MF5

مجموعه مدل‌های MF5 که توسط Maus و همکارانش (به‌عنوان مثال، ۲۰۰۶) توسعه یافته‌اند به‌منظور جداسازی و نمایش میدان لیتوسفر، با دقت کافی برای تفسیرهای زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی ساخته شده‌اند. بعد از گذشت ۶ سال اندازه‌گیری مغناطیسی دقیق توسط ماهواره مدار کوتاه CHAMP، منبع بی‌نظیری از داده‌های میدان مغناطیسی با کیفیت استثنایی، برای مدل‌سازی و تفسیر میدان مغناطیسی لیتوسفر فراهم آمده است (Maus et al., 2006). در این تحقیق، پنجمین نسل مدل میدان مغناطیسی لیتوسفر که فقط با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای توسعه یافته (مدل MF5)، مورد استفاده قرار گرفته است.

مدل MF5، بر اساس داده‌های اسکالر و برداری مربوط به ۶ سال ماموریت ماهواره CHAMP و با بسط هارمونیک کروی تا درجه و مرتبه ۱۰۰ ساخته شده است (Maus et al., 2007). ارتفاع کم ماهواره در دوران کمترین فعالیت‌های خورشیدی،

میدان القایی مشاهده شده فیلتر شده

با کم کردن میدان بازماند از میدان مشاهده شده، میدان القایی مشاهده شده در ارتفاع مورد نظر به دست آمد. با استفاده از این میدان القایی می‌توان به تفسیرهای زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی برای مناطق مورد نظر پرداخت. مؤلفه عمودی میدان القایی مشاهده شده فیلتر شده در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتر، در شکل ۴ نشان داده شده است.

مدل اولیه ضخامت پوسته مغناطیسی

به منظور شروع مدل‌سازی، یک مدل اولیه برای ضخامت پوسته مغناطیسی لازم است. مدل اولیه مورد استفاده در این تحقیق، مدل 3SAMC می‌باشد (Nataf and Ricard, 1996). این مدل بر اساس داده‌های لرزه‌ای و غیرلرزه‌ای (داده‌های سایر روش‌های ژئوفیزیکی، اطلاعات زمین‌شناسی و ...) ساخته شده است. در مدل 3SMAC، پوسته در یک شبکه ۰۲×۰۲، به لایه‌های آب، یخ، رسوبات و سنگ‌های آذرین تقسیم شده است. درحقیقت، مدل 3SMAC دارای ۹۰ المان در عرض جغرافیایی و ۱۸۰ المان در طول جغرافیایی است که مجموعاً از ۱۶۲۰۰ المان تشکیل می‌شود.

در این تحقیق، ضخامت پوسته آذرین مدل 3SMAC، به عنوان مدل اولیه ضخامت پوسته مغناطیسی (عمق کوری) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، با استفاده از یک مدل ساده، مقدار مغناطیس‌پذیری در پوسته قاره‌ای $\kappa = 0.035$ و در پوسته اقیانوسی $\kappa = 0.040$ در نظر گرفته شد. مدل اولیه در مقیاس جهانی در شکل ۵ نشان داده شده است.

روش دوقطبی‌های مغناطیسی معادل چشمه

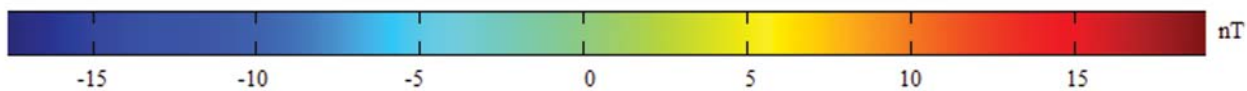
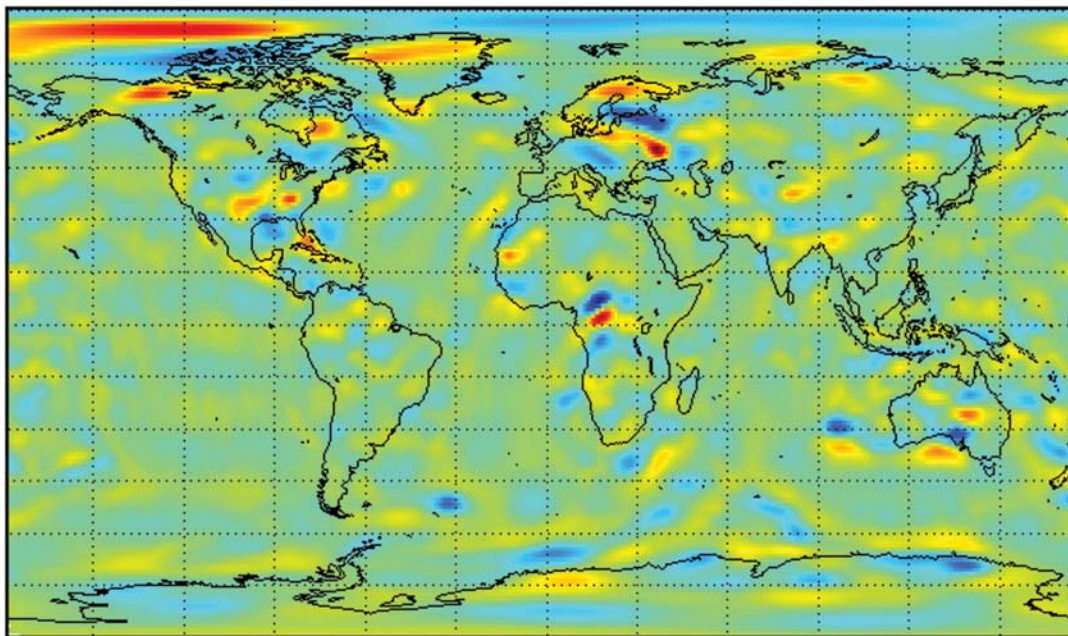
در روش ESMD، مغناطیدگی پوسته توسط دوقطبی‌هایی که در سراسر منطقه مورد مطالعه پخش شده‌اند، نشان داده می‌شود. هدف، تعیین گشتاورهای مغناطیسی دوقطبی‌های پوسته به نحوی است که مجموع میدان مغناطیسی حاصل از آن‌ها در فاصله‌ای معین در بالای سطح زمین، مشابه با میدان مغناطیسی مشاهده شده باشد. بدین منظور، معادله‌ای جهت نشان دادن رابطه بین گشتاور تمام دوقطبی‌ها و مجموع میدان مغناطیسی حاصل از آن‌ها نیاز است. رابطه اصلی در روش ESMD، معادله میدان مغناطیسی یک دوقطبی است. محاسبات مربوط به گشتاور دوقطبی‌های معادل در سیستم مختصات کروی صورت گرفته است. با استفاده از روش دوقطبی‌های مغناطیسی معادل، میدان مغناطیسی حاصل از مدل مربوط به ضخامت پوسته مغناطیسی ضربدر مغناطیس‌پذیری محاسبه شد.

پتانسیل ناشی از یک المان حجمی مغناطیده ($d\tau'$) واقع در نقطه $r=(r, \theta, \phi)$ برابر است با رابطه؛

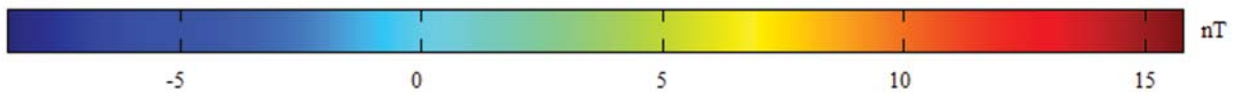
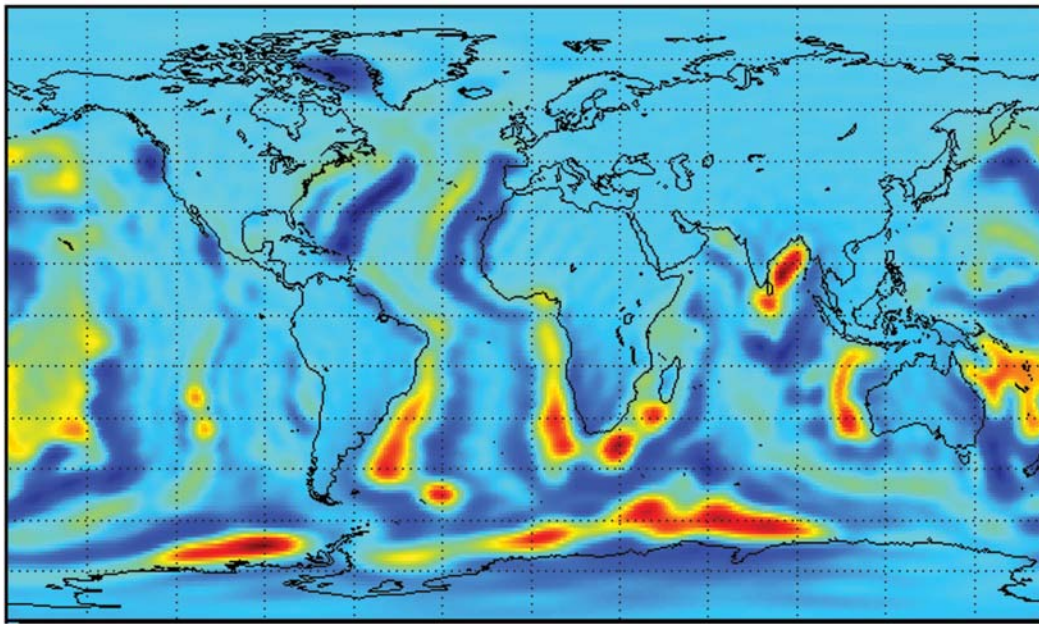
$$dV(r, r') = \frac{\mu_0}{4\pi} dm(r') \cdot \nabla' \frac{1}{R} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، μ_0 نفوذپذیری مغناطیسی خلاء و $R = \left| \frac{\rho}{r-r'} \right|$ می‌باشد.

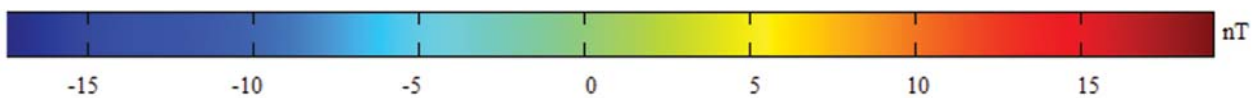
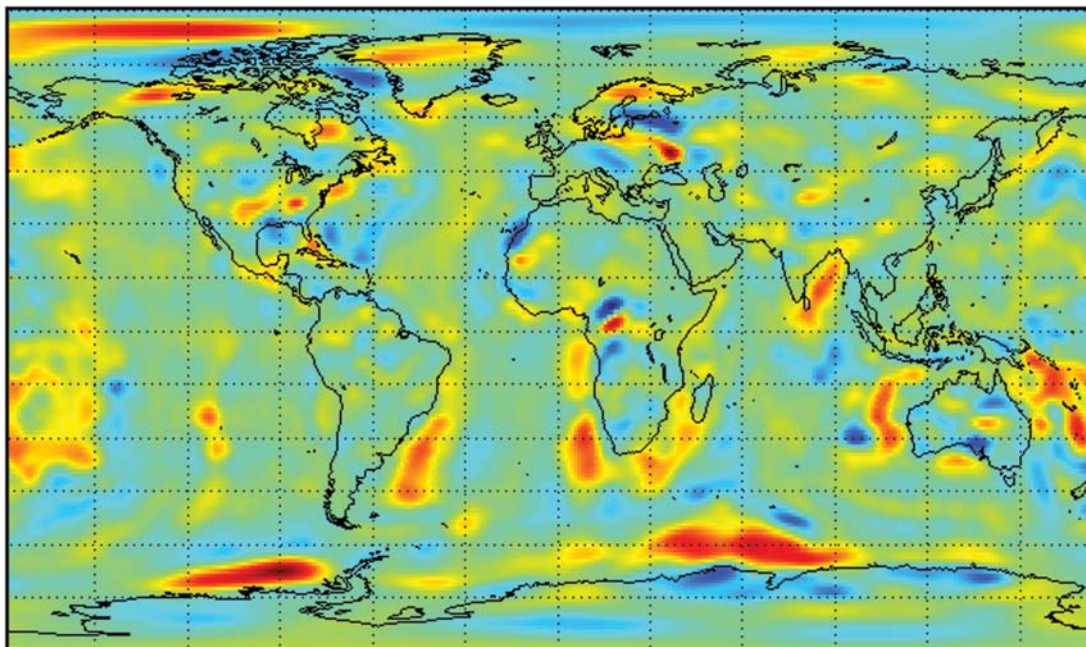
در پایان، ضخامت پوسته مغناطیسی را می‌توان از روی گشتاور دوقطبی‌ها محاسبه نمود. کلیه روابط مورد نیاز و روند انجام



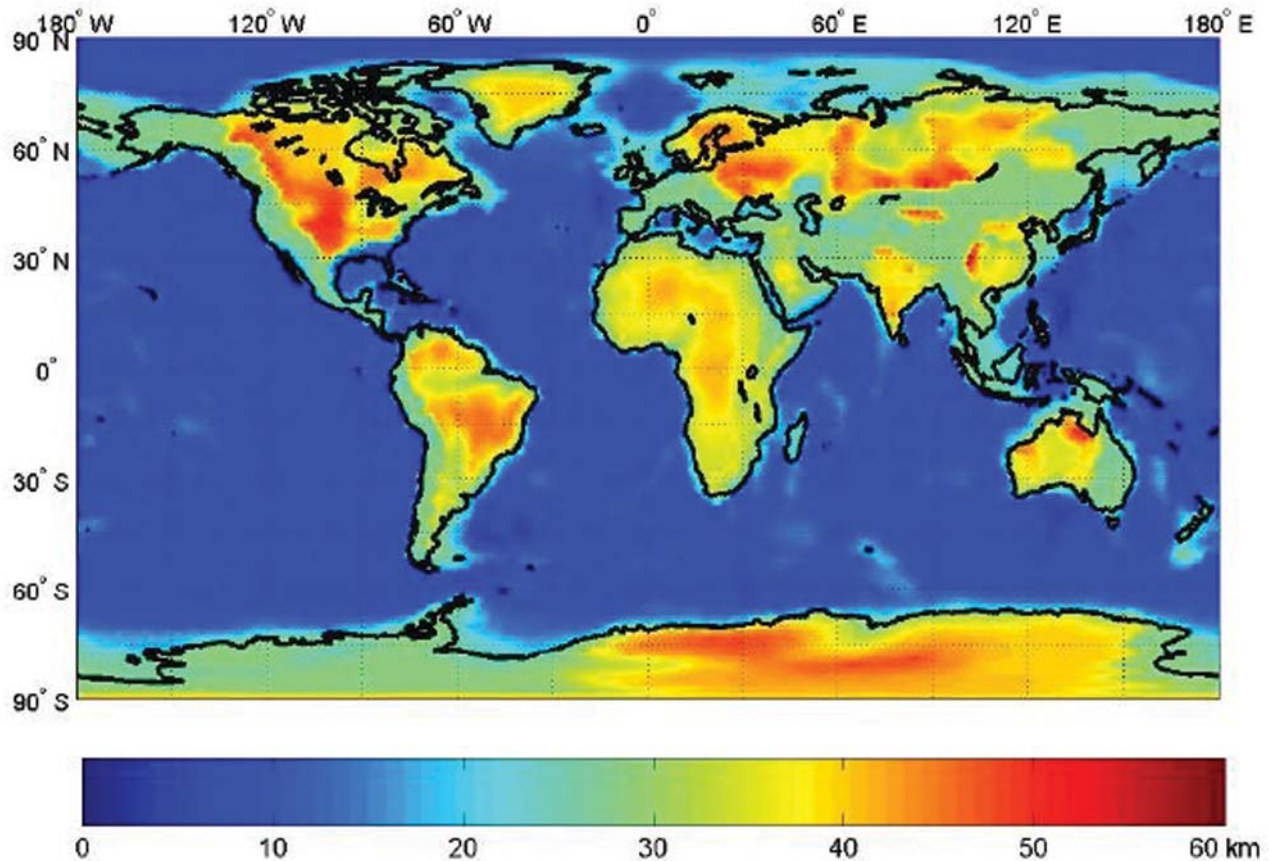
شکل ۲- مؤلفه عمودی میدان مغناطیسی مشاهده شده در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتری از سطح زمین که با استفاده از مدل MF5 تهیه شده است (درجه و مرتبه ۱۶ تا ۱۰۰).



شکل ۳- مؤلفه عمودی میدان مغناطیسی بازماند در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتر (Dyment and Arkani-Hamed, 1998).



شکل ۴- مؤلفه عمودی میدان القایی مشاهده شده پوسته، در ارتفاع ۴۰۰ کیلومتر (ضرایب هارمونیک کروی ۱۶-۱۰۰).



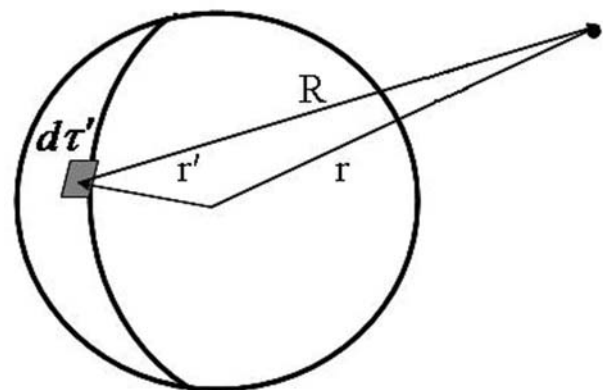
شکل ۵- مدل اولیه ضخامت پوسته مغناطیسی برای کل زمین.

تفسیر نتایج

به منظور مقایسه میدان القایی مربوط به مدل ضخامت پوسته مغناطیسی با میدان القایی مشاهده شده، فیلتر بالاگذر به میدان محاسبه شده نیز اعمال گردید. سپس این میدان با میدان القایی مشاهده شده مورد مقایسه قرار گرفت. در صورتی که اختلاف میان این دو میدان بیشتر از حد قابل قبول باشد، مدل ضخامت پوسته مغناطیسی بهبود یافته و مقایسه مجدد انجام می‌شود. این مقایسه تا زمانی که مدل ضخامت پوسته مغناطیسی باعث تولید میدان القایی شود که به اندازه کافی با مشاهدات منطبق باشد، ادامه می‌یابد. این مدل نهایی، به‌عنوان پاسخ در نظر گرفته خواهد شد.

در این تحقیق، عمق کوری برای منطقه واقع در محدوده عرض جغرافیایی ۲۸-۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶-۶۴ درجه شرقی، محاسبه شد. مدل اولیه ضخامت پوسته مغناطیسی برای این محدوده، در شکل ۷- الف نشان داده شده است. اگرچه میدان محاسبه شده حاصل از مدل اولیه ضخامت پوسته مغناطیسی، شباهت زیادی به میدان مشاهده شده داشت، اما بخشی از ناهنجاری به خوبی بازسازی نشده بود و میدان محاسبه شده کمتر از میدان مشاهده شده بود. یک دلیل می‌تواند این باشد که مقدار خودپذیری مغناطیسی این ناحیه کمتر از مقدار فرضی اولیه است. با توجه به فرضیات تحقیق، این مطلب رد خواهد شد. دلیل دیگر،

محاسبات، در حجت و گویا (۱۳۸۶) ارائه شده و به همین دلیل از تکرار این مطالب اجتناب شده است. برای محاسبه گشتاور دوقطبی‌ها، مشخص بودن میدان اصلی در محل دوقطبی‌ها لازم می‌باشد. بدین منظور، مدل میدان IGRF2005 در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۶- نمای شماتیک از یک المان تولیدکننده پتانسیل مغناطیسی در نقطه‌ای خارجی.

نتیجه گیری

در این تحقیق، عمق همدمای کوری با استفاده از یکی از دقیق ترین مدل های میدان مغناطیسی ماهواره ای (مدل MF5) و با استفاده از الگوریتم دوقطبی های مغناطیسی معادل چشمه، برای محدوده ای از کشور ایران مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، از تغییرات جانبی خودپذیری مغناطیسی صرف نظر شده و ضخامت پوسته آذرین مدل 3SMAC، به عنوان مدل اولیه ضخامت پوسته مغناطیسی مورد استفاده قرار گرفت.

با استفاده از روش دوقطبی های مغناطیسی معادل چشمه، عمق همدمای کوری برای محدوده واقع در عرض جغرافیایی ۲۸ تا ۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ تا ۶۴ درجه شرقی تخمین زده شد.

در این تحقیق، الگوریتم محاسبه عمق کوری با استفاده از مدل های میدان پوسته حاصل از داده های مغناطیسی ماهواره ای ارائه گردید. روش دوقطبی مغناطیسی معادل چشمه، روشی دقیق را برای انجام محاسبات در مقیاس جهانی فراهم آورده است. روش دوقطبی مغناطیسی معادل چشمه، روشی جدید و کارآمد برای مدل سازی داده های ماهواره ای می باشد. با پیشرفت روزافزون حجم و دقت داده های ماهواره ای و ارسال ماهواره های Swarm به فضا، روش ESMD قادر به استفاده در محدوده وسیعی از مطالعات ماهواره ای، با اهداف مختلف می باشد.

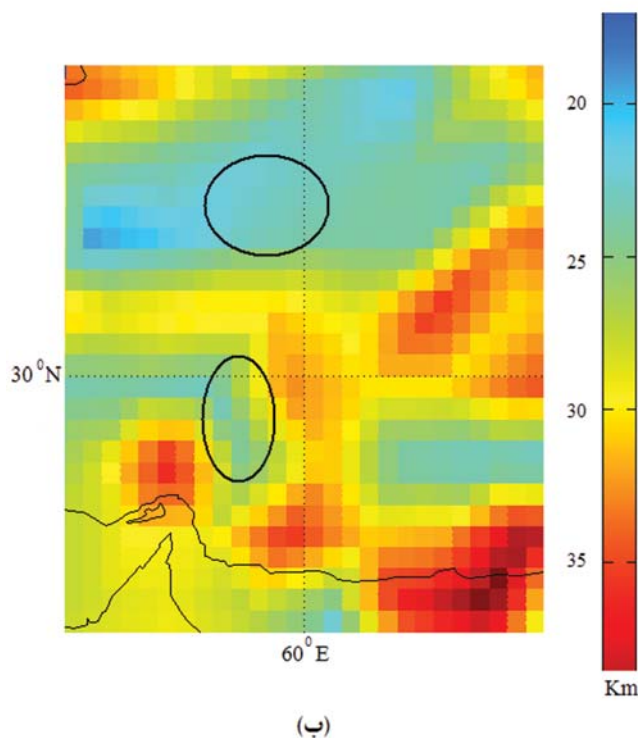
یکی از مهم ترین کاربردهای نتایج حاصل از این تحقیق، تخمین شار سطحی حرارت، به عنوان یک پارامتر اصلی در شناسایی مناطق با پتانسیل ژئوترمال می باشد.

کم عمق بودن همدمای کوری می باشد. با بهبود مدل ضخامت پوسته مغناطیسی، تطبیق بهتری بین میدان محاسبه شده و میدان مشاهده شده صورت گرفت.

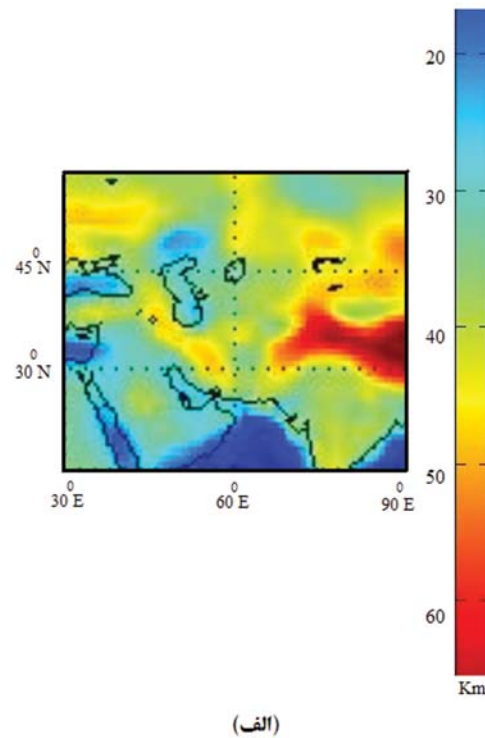
با توجه به نتایج به دست آمده، همدمای کوری در منطقه مورد مطالعه، بالاتر از موهو قرار گرفته است. درحقیقت، همدمای کوری برای منطقه مذکور درون پوسته قرار دارد. بر اساس مطالعه انجام شده، عمق همدمای کوری در قسمت مرکزی این منطقه کمتر از سایر قسمت ها و به طور متوسط حدود ۲۶ کیلومتر می باشد. عمق همدمای کوری به دست آمده از این تحقیق، در محدوده ۲۴-۳۶ کیلومتر متغیر می باشد (شکل ۷-ب).

با توجه به اینکه عمق کوری کم، نشانه شار حرارتی بالا در یک منطقه می باشد، در نقشه عمق کوری به دست آمده برای محدوده مورد مطالعه، دو منطقه با احتمال زیاد برای وجود پتانسیل زمین گرمایی مشخص شده است.

لازم به ذکر است که هدف از این تحقیق، تخمین عمق همدمای کوری با استفاده از مدل میدان مغناطیسی MF5 و با استفاده از روش دوقطبی های مغناطیسی معادل چشمه بوده است. همچنین محاسبه شار حرارت با استفاده از مقادیر عمق کوری به دست آمده، فراتر از اهداف این تحقیق می باشد. علاقه مندان می توانند جهت آشنایی با ادامه این محاسبات و کاربرد این روش به عنوان یک روش شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین گرمایی به حجت و گویا (۱۳۸۹) مراجعه کنند.



(ب)



(الف)

شکل ۷- الف) مدل اولیه ضخامت پوسته مغناطیسی (3SMAC) و ب) مدل نهایی ضخامت پوسته مغناطیسی (عمق کوری) برای منطقه واقع در محدوده عرض جغرافیایی ۲۸-۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶-۶۴ درجه شرقی.

منابع

- Maule, C. F., Purucker, M. E., Olsen, N., and Mosegaard, R., 2005. Heat flux anomalies in Antarctica revealed by satellite magnetic data, *Science*, 309, 464-467.
- Maus, S., Lühr, H., Rother, M., Hemant, K., Balasis, G., Ritter, P., and Stolle, C., 2007. Fifth generation lithospheric magnetic field model from CHAMP satellite measurements (available at CHAMP homepage).
- Maus, S., Martin, R., Hemant, K., Claudia, S., Luehr, H., Kuvshinov, A., and Olsen N., 2006. Earth's crustal magnetic field determined to spherical harmonic degree 90 from CHAMP satellite measurements, *Geophysical Journal International*, 164, 319-330.
- Mayhew, M.A., 1982. Application of satellite magnetic anomaly data to Curie isotherm mapping, *Journal of Geophysical Research*, 87, 6, 4849-4854.
- Nataf, H.-C., and Ricard, Y., 1996. 3SMAC: an a priori tomographic model of the upper mantle based on geophysical modeling, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 95, 101-122.
- Okubo, Y., Graf, R., Hansen, R., Ogawa, K., and Tsu, H., 1985. Curie point depths of the island of Kyushu and surrounding areas, Japan. *Geophysics*, 53, 3, 481-494.
- Sabaka, T. J., Olsen, N., and Purucker, M. E., 2004. Extending comprehensive models of the Earth's magnetic field with Ørsted and CHAMP data, *Geophysical Journal International*, 159, 521-547.
- Stampolidis, A., and Tsokas, G.N., 2002. Curie point depths of Macedonia and Thrace, N. Greece, *Pure and Applied Geophysics*, 159: 2659-2671.
- Tanaka, A., Okubo, Y., and Matsubayashi, O., 1999. Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in east and southeast Asia, *Tectonophysics*, 306, 461-470.
- حجّت، آ.، حسین‌زاده گویا، ن. و ماول، ک. ف.، ۱۳۸۹. ارائه روشی جدید برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین‌گرمایی (ژئوترمال) با استفاده از مدل‌های ماهواره‌ای میدان مغناطیسی پوسته، *مجله علمی - پژوهشی ژئوفیزیک ایران*، ۱ (۴)، ۳۳-۳۴.
- حجّت، آ. و حسین‌زاده گویا، ن.، ۱۳۸۶. بررسی کاربرد مدل‌های میدان مغناطیسی حاصل از داده‌های ماهواره‌ها در تخمین ضخامت پوسته مغناطیسی، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۳ (۲)، ۸۵-۹۳.
- حجّت، آ.، حسین‌زاده گویا، ن. و Hemant, K.، ۱۳۸۶. آماده‌سازی مدل‌های ماهواره‌ای میدان مغناطیسی پوسته برای تفسیر جهانی آنومالی‌های مغناطیسی زمین، *یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران*.
- Dyment, J., and Arkani-Hamed, J., 1998. Contribution of lithospheric remanent magnetization to satellite magnetic anomalies over the world's oceans, *Journal of Geophysical Research*, 103, B7, 15, 423-15, 441.
- Hamoudi, M., Cohen, Y., and Achache, J., 1998. Can the thermal thickness of the continental lithosphere be estimated from Magsat data, *Tectonophysics*, 284: 19-29.
- Hemant, K., 2003. Modelling and Interpretation of Global Lithospheric Magnetic Anomalies, Ph.D. Thesis, Geowissenschaften an der Freien Universität Berlin.
- Langel, R.A., and Estes, R.H., 1982, A geomagnetic field spectrum, *Geophysical Research Letters*, 9, 250-253.
- Lowes, F.J., 1966. Mean square values on sphere of spherical harmonic vector fields, *Journal of Geophysical Research*, 71, 2179.
- Mauersberger, P., 1956. Das mittel der energiedichte des geomagnetischen hauptfeldes an der erdoberfläche und seine sakulare Änderung, *Gerlands Beitr, Geophysics*, 65, 207-215.