

# کاربرد صافی گابور دوبعدی در تحلیل داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه خرم‌آباد و مغناطیس زمینی در منطقه کاشمر

احسان فولادی<sup>۱</sup> و محسن اویسی موخر<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲. استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(دریافت: ۹۸/۹/۱۸، پذیرش نهایی: ۹۹/۷/۸)

## چکیده

روش‌های پردازش تصویر در پردازش داده‌های میدان پتانسیل به‌منظور آشکارسازی لبه‌های توده‌های بی‌هنجار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق ابتدا صافی گابور دوبعدی معرفی می‌شود. سپس عملکرد صافی گابور بر داده‌های به‌دست آمده از سه منشور مغناطیبه که در سه عمق و جهت مختلف قرار گرفته‌اند مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس اثرات تغییر طول موج، انحراف معیار و جهت‌گیری توده‌ها در عملکرد صافی گابور بر روی داده‌های حاصل از مدل‌های مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که صافی گابور یک صافی پایین‌گذر بوده و می‌تواند لبه بی‌هنجاری‌های را آشکارسازی کند. در نهایت صافی گابور بر داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه خرم‌آباد در جنوب غرب ایران اعمال شده است. نتایج نشان می‌دهند که روند ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه خرم‌آباد عمدتاً شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشند که در تطابق با نتایجی است که از سایر صافی‌ها به‌دست آمده است. همچنین صافی گابور بر داده‌های زمینی یک توده معدنی در منطقه کاشمر اعمال و لبه توده بی‌هنجار در این منطقه هم توسط صافی گابور تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: صافی گابور، میدان پتانسیل، خرم‌آباد، مغناطیس هوابرد، صافی پایین‌گذر، تعیین لبه.

## ۱. مقدمه

عبارت‌اند از: مشتق افقی کل (ما و لی، ۲۰۱۲)، مشتق قائم مرتبه اول (آکرمن و هویت، ۲۰۰۲)، مشتق قائم مرتبه دوم (کوپر و کوان، ۲۰۰۴)، سیگنال تحلیلی (نیقیان، ۲۰۱۲)، (ما و دو، ۲۰۱۲)، زاویه تیلت (میلر و سینگ، ۱۹۹۴) و نقشه زاویه تتا (ویجنس و همکاران، ۲۰۰۵). در این مجموعه به‌جز صافی گابور، بیشتر صافی‌ها از مشتق‌گیری در ساختارشان استفاده می‌شود (سوبل، ۱۹۹۰ و ۱۹۷۰)، (پری ویت، ۱۹۷۰) و (رابرتز، ۱۹۶۵). بنابراین استفاده از صافی‌های پایین‌گذری که در آنها از مرتبه‌های مشتق استفاده نشود، می‌تواند در تعیین مرز بی‌هنجاری‌ها مفید واقع شوند. یکی از این صافی‌ها، صافی گابور می‌باشد. صافی گابور در مجموعه صافی‌هایی قرار می‌گیرد که از آنها در پردازش تصاویر دیجیتال استفاده می‌شود. کاربردهای صافی گابور در پردازش تصاویر دیجیتال عبارت‌است از: جداسازی بافت‌ها، تجزیه و تحلیل اسناد، آشکارسازی لبه‌ها (مهرتورا و همکاران، ۱۹۹۲)، تشخیص

مرز ساختارهای زمین‌شناسی و لبه توده‌های مدفون را می‌توان توسط پردازش داده‌های میدان‌های پتانسیلی با دقت بالایی تعیین کرد. به‌دلیل ویژگی‌های داده‌های مغناطیسی، تعیین مرز و لبه توده‌های مغناطیبه با دشواری‌هایی روبه‌رو می‌باشد. عمده‌ترین عامل در عدم تعیین دقیق مرز توده‌ها، وجود نوفه در داده‌های مغناطیسی است. نوفه‌ها در داده‌های مغناطیسی دارای بسامد بالا بوده و جزء ذات این داده‌ها می‌باشد. بی‌هنجاری‌های مغناطیسی اساساً دارای طول‌موج کوتاه می‌باشند که سبب می‌شود سیگنال‌ها و نوفه‌ها دارای طیف بسامدی نزدیک به یکدیگر باشند. در تعیین مرز توده‌ها، استفاده از صافی‌های که بر پایه مرتبه‌های متفاوت مشتق تعریف شده‌اند، سبب می‌شود که نوفه‌ها به‌شدت تقویت شده و تعیین مرز بی‌هنجاری‌ها دشوار شود. پژوهش‌های زیادی در ارتباط با استفاده از مشتقات میدان پتانسیلی برای تعیین مرز و عمق توده‌ها وجود دارند. مهم‌ترین صافی‌ها

صافی گابور زوج ضرب تابع گوسی در موج کسینوسی صفحه‌ای و صافی گابور فرد ضرب همان تابع گوسی در موج سینوسی صفحه‌ای است. در نتیجه تنها تفاوت صافی‌های زوج و فرد یک اختلاف فاز ۹۰ درجه‌ای بین آنهاست. توابع صافی‌های گابور متقارن زوج و فرد و همچنین عبارت صافی گابور مختلط در حوزه فضایی به ترتیب توسط روابط زیر بیان می‌شوند (سرچلیک و همکاران، ۲۰۱۳).

$$G_{even}(x, y, \theta, f) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2}\right)} \cdot \cos(2\pi f x_{\theta}) \quad (1)$$

$$G_{odd}(x, y, \theta, f) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2}\right)} \cdot \sin(2\pi f x_{\theta}) \quad (2)$$

$$G(x, y, \theta, f) = G_{even} + iG_{odd} = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2}\right)} \cdot e^{i(2\pi f x_{\theta})} \quad (3)$$

در روابط بالا  $\theta$  زاویه جهت گیری صافی را نشان می‌دهد که در واقع مشخص کننده جهت جزئیات موردنظر برای تعیین لبه و جزئیات تصویر است. مختصات  $[x_{\theta}, y_{\theta}]$  مختصات مکان‌های  $[x, y]$  هستند که با استفاده از ماتریس دوران به دست می‌آیند (سرچلیک و همکاران، ۲۰۱۳).

$$\begin{bmatrix} x_{\theta} \\ y_{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (4)$$

پارامتر  $f$  بسامد موج مسطح سینوسی یا کسینوسی می‌باشد. پارامترهای  $\sigma_x$  و  $\sigma_y$  را انحراف معیار استاندارد تابع گوسی در جهت‌های  $x$  و  $y$  می‌نامند. در واقع انحراف معیار، میزان کشیدگی یا پهن شدگی تابع گوسی را نشان می‌دهد. در برنامه‌های کاربردی  $\sigma_x$  را برابر  $\sigma_y$  در نظر می‌گیرند (سرچلیک و همکاران، ۲۰۱۳). اگر به جای  $x_{\theta}$  و  $y_{\theta}$  در معادله ۳ از رابطه ۴ استفاده کنیم، در این صورت رابطه صافی گابور بر حسب مختصات مکان  $x$  و  $y$  به صورت زیر به دست می‌آید.

شبکه، پردازش اثر انگشت، کدگذاری تصویری و نمایش تصویر صافی گابور یک صافی خطی است و هیچ عمل مشتق‌گیری در ساختار آن وجود ندارد. این صافی به خاطر وجود جمله گوسی در آن، یک صافی پایین‌گذر می‌باشد که باعث تضعیف نوفه در داده‌های میدان‌های پتانسیلی می‌شود در حالی که مرز بی‌هنجاری‌های میدان مغناطیسی را برجسته می‌کند (سرچلیک و همکاران، ۲۰۱۳). صافی گابور در ریاضیات در رده صافی‌های انتقالی قرار می‌گیرد و بر این اساس می‌تواند ویژگی‌های تصویر را در جهات و بسامدهای گوناگون پردازش کند (روسلان و جمیل، ۲۰۱۲). از صافی گابور دوبعدی در تعیین مناطقی که نهشته‌های رسوبی دارای رگه‌های طلا می‌باشند استفاده شده است (هولدن و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین از تابع گابور دوبعدی در تعیین مرز ساختارهای زمین‌شناسی و تشخیص گسل‌ها در کشور ترکیه استفاده شده است (سرچلیک و همکاران، ۲۰۱۳). این مقاله، ابتدا صافی گابور معرفی می‌شود و سپس این صافی بر داده‌های واقعی اعمال شده و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

## ۲. صافی گابور دوبعدی

### ۲-۱. مبانی صافی گابور

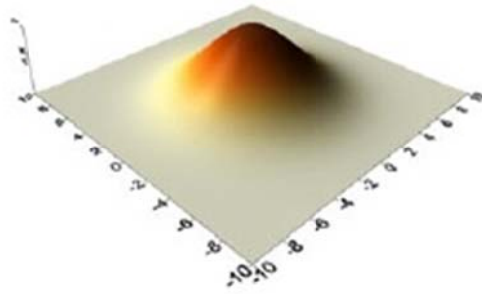
صافی گابور دوبعدی صافی باند عبور می‌باشد که توانایی انتخاب بسامد و جهت‌گیری را دارا می‌باشند (داگمن، ۱۹۸۸). صافی گابور دوبعدی را می‌توان هم در حوزه فضا و هم در حوزه بسامد به کار برد. صافی گابور از ضرب تابع گوسی و موج کسینوسی و سینوسی صفحه‌ای به دست می‌آید و حالت کلی این صافی مختلط است که از قسمت‌های زوج و فرد تشکیل شده است. این صافی توسط انتقال تابع گوسی به یک بسامد مرکزی شبیه به خاصیت شیفت بسامدی که در تبدیل فوریه رخ می‌دهد به دست می‌آید. به طور کلی، در برنامه‌های کاربردی، صافی گابور زوج به طور گسترده استفاده می‌شود. در واقع

$$G(x, y, \theta, f) = e^{\left( \frac{2xy \sin \theta \cos \theta - x^2 \cos^2 \theta - y^2 \sin^2 \theta}{2\sigma_x^2} - \frac{x^2 \sin^2 \theta + 2xy \sin \theta \cos \theta + y^2 \cos^2 \theta}{2\sigma_y^2} \right)} e^{2i\pi f(x \cos \theta - y \sin \theta)} \quad (5)$$

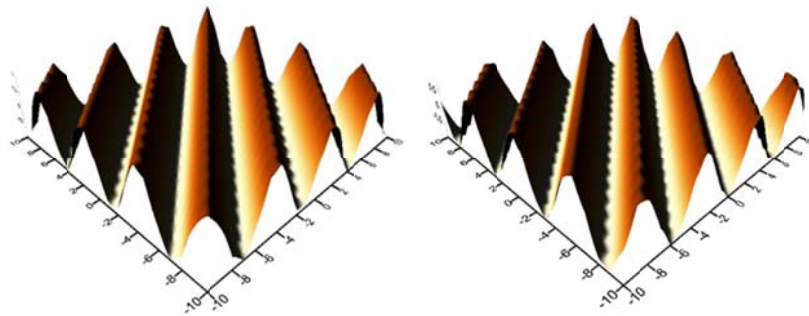
پارامتر انحراف معیار استاندارد تابع گوسی یک پارامتر اختیاری است. صافی‌های قوی که نوفه‌ها را تا حد زیادی حذف می‌کنند، در صورت انتخاب مقدار بزرگی از این پارامتر به دست می‌آیند. پهنای باند صافی با افزایش پارامتر انحراف معیار استاندارد کاهش می‌یابد. تصویر ماتریس هسته اصلی گابور برای بسامدها و جهت‌گیری‌های مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است (سرچلیک و همکاران، ۲۰۱۳).

برای درک بهتر صافی گابور، شکل تابع گوسی و موج مسطح سینوسی و کسینوسی و نیز شکل تابع گابور زوج و فرد در شکل ۱ ارائه شده است.

جهت اعمال صافی گابور بر روی داده‌های مغناطیسی، پارامترهای جهت‌گیری، بسامد (طول موج) و انحراف معیار استاندارد بایستی تعیین شوند. انتخاب بسامد و جهت‌گیری صافی بر اساس بسامد و جهت‌گیری بی‌هنجاری‌هایی که می‌خواهیم صافی را بر آنها اعمال کنیم انتخاب می‌شوند.

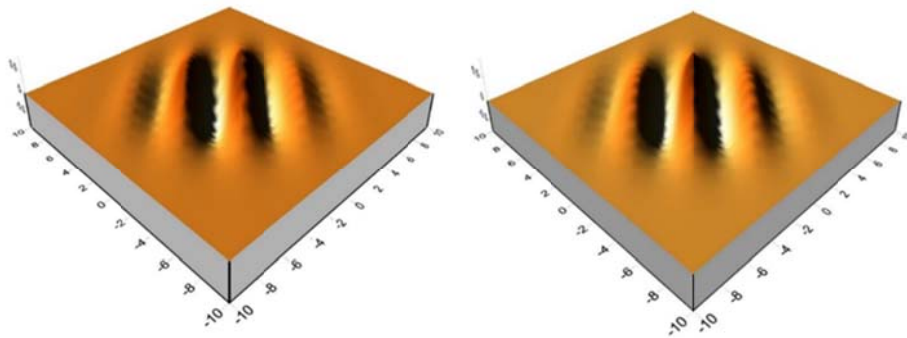


(الف)



(ج)

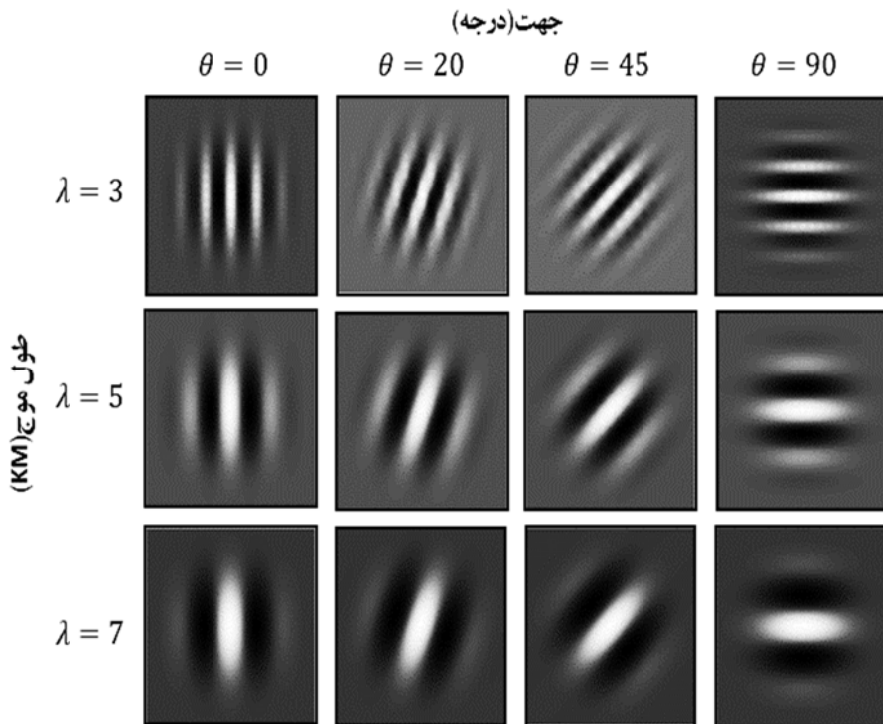
(ب)



(ه)

(د)

شکل ۱. (الف) شکل تابع گوسی، (ب) شکل تابع کسینوسی، (ج) شکل تابع سینوسی، (د) شکل صافی گابور زوج و (ه) شکل صافی گابور فرد.



شکل ۲. تصاویر ماتریس هسته گابور برای طول موج‌ها و جهت‌های مختلف.

در موقعیت‌ها، جهات و عمق‌های مختلف قرار دارند، اعمال می‌کنیم (جدول ۱). فرض بر این می‌باشد که این توده‌ها دارای مغناطیس پسماند نمی‌باشند. همچنین جهت و اندازه مغناطش این منشورها ثابت می‌باشند. زاویه میل را ۹۰ درجه در نظر می‌گیریم تا نیازی به اعمال صافی انتقال به قطب نباشد. هدف از صافی انتقال به قطب، تبدیل داده‌های مغناطیسی به داده‌های شبه‌گرانی است. شدت مغناطش در همه منشورها ۴۷۰ آمپر بر متر در نظر گرفته شده است. پاسخ مغناطیس حاصل از منشورها در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

صافی گابور در حوزه فضایی با کانولوشن داده‌ها در ماتریس هسته گابور به دست می‌آید (رابطه ۶).

$$F(x, y) = \int_{a=0}^{m-1} \int_{b=0}^{n-1} M(a, b) g(x-a, y-b) dx dy \tag{6}$$

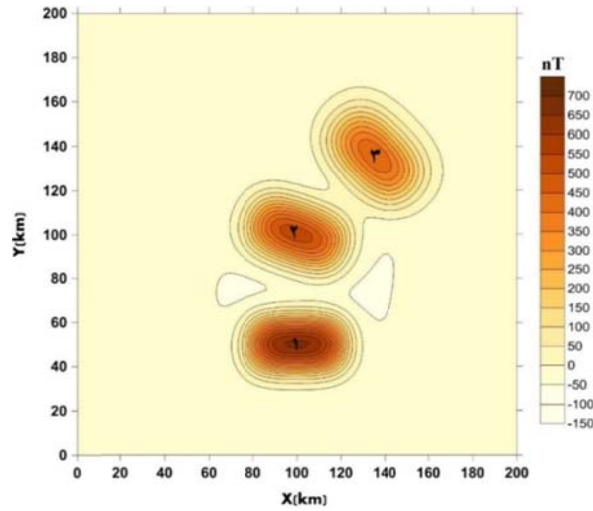
که در آن  $M(a, b)$  داده‌های میدان پتانسیل و  $g(x, y)$  ماتریس هسته گابور می‌باشند.

۲-۲. داده‌های مصنوعی

جهت بررسی عملکرد صافی گابور، این صافی را بر داده‌های حاصل از سه منشور مغناطیده که

جدول ۱. مشخصات منشورهای مدل مصنوعی.

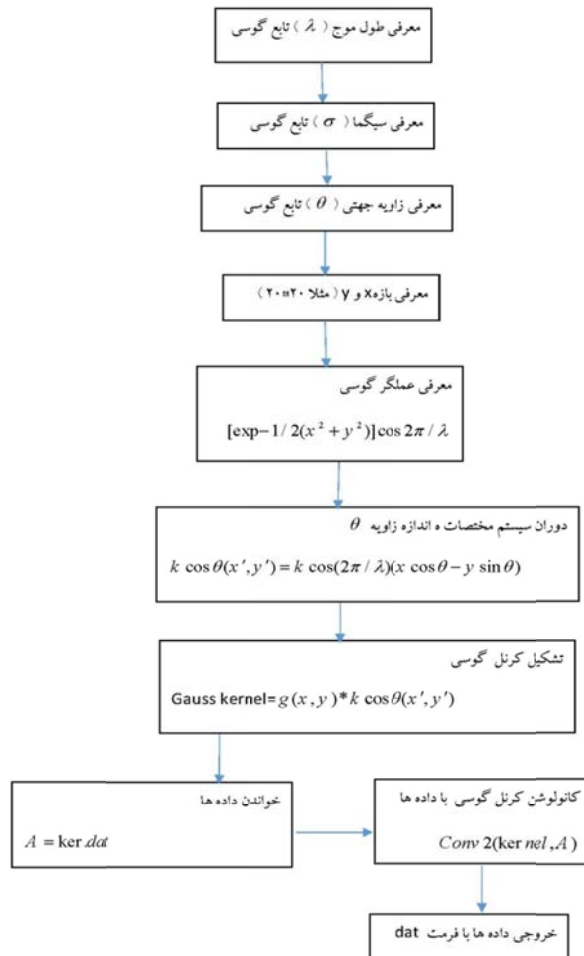
شماره مدل	پهنای طولی درجه X (km)	پهنای عرضی در جهت Y (km)	عمق لبه بالایی (km)	عمق لبه پایینی (km)	جهت‌گیری نسبت به محورهای مختصات	مختصات مرکز منشورها	
						X(km)	Y(km)
۱	۴۰	۲۰	۵	۱۰	۰	۱۰۰	۵۰
۲	۴۰	۲۰	۶	۱۱	۲۰	۱۰۰	۱۰۰
۳	۴۰	۲۰	۷	۱۲	۴۵	۱۴۰	۱۴۰



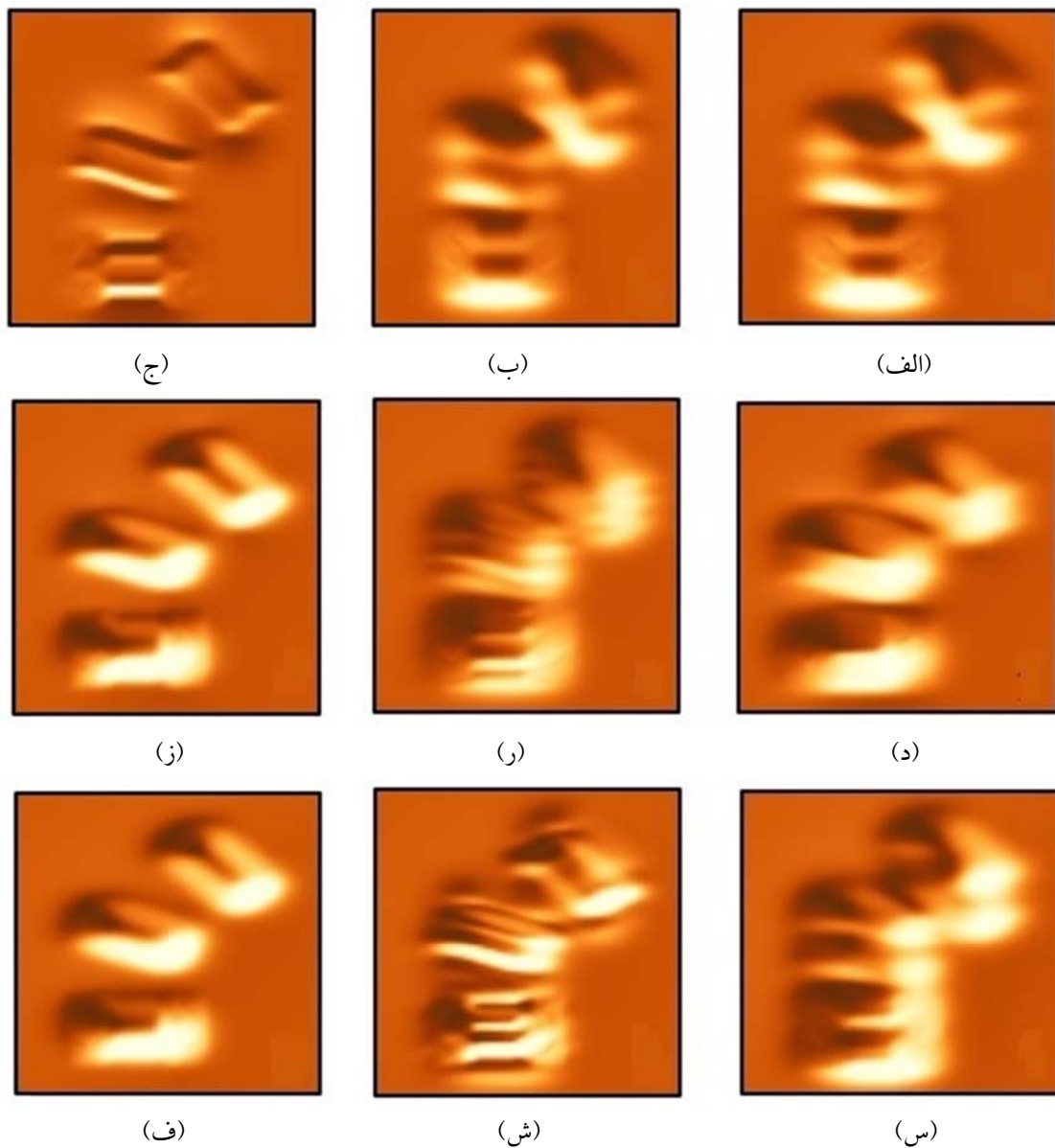
شکل ۳. نقشه پربندی بی‌هنجاری مغناطیسی حاصل از سه منشور.

۹ کیلومتر و طول موج‌های (۴، ۷ و ۹ کیلومتر و زاویه  $\theta=0$ ) را بر بی‌هنجاری مغناطیسی کل ناشی از مدل‌های مصنوعی اعمال می‌کنیم که خروجی‌های آن در شکل ۵ ارائه شده است.

۳-۲. پاسخ صافی گابور با انحراف معیار استاندارد و طول موج‌های مختلف فلوچارت نحوه عمل صافی گابور در شکل ۴ ارائه شده است. صافی گابور با انحراف معیار استاندارد (۳، ۵ و



شکل ۴. فلوچارت نحوه عمل صافی گابور.



شکل ۵. پاسخ صافی گابور با انحراف معیار استاندارد و طول موج‌های مختلف در جهت ( $\theta = 0$ ) بر روی بی‌هنجاری مغناطیسی مصنوعی. الف)  $\lambda = 4, \sigma = 9$  ب)  $\lambda = 4, \sigma = 5$  ج)  $\lambda = 4, \sigma = 3 \text{ km}$  د)  $\lambda = 7, \sigma = 9$  ر)  $\lambda = 7, \sigma = 5$  ز)  $\lambda = 7, \sigma = 3$  س)  $\lambda = 9, \sigma = 9$  ش)  $\lambda = 9, \sigma = 5$  و ف)  $\lambda = 9, \sigma = 3$ .

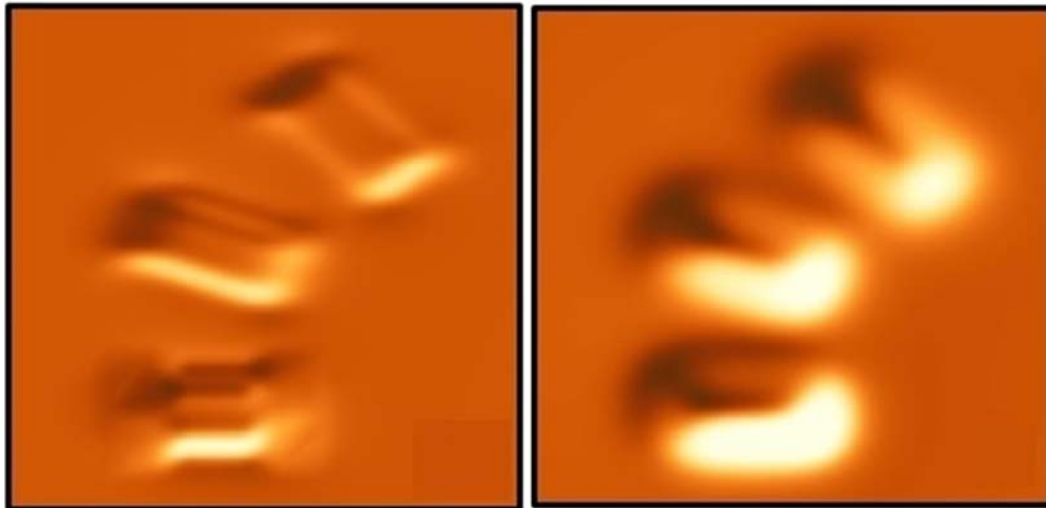
صافی گابور با انحراف معیارهای استاندارد و طول موج‌های مختلف می‌توان محدودده  $\sigma$  و  $\lambda$  را برای داده‌های مغناطیسی مورد نظر به دست آورد.

در شکل ۵ (ج، ز، ف) که در آنها  $\sigma = 3$  است موقعیت مکانی توده‌ها به خوبی مشخص شده و مشاهده می‌شود که لبه‌های بالایی و پایینی توده‌ای که دارای جهت‌گیری صفر است بهتر مشخص شده است. با افزایش انحراف معیار استاندارد تابع گوسی، به یکباره تعیین مرز

همان‌طور که در پاسخ‌های صافی گابور در شکل ۵ مشاهده می‌شود، پارامترهای انحراف معیار استاندارد و طول موج تأثیر زیادی بر عملکرد و پاسخ صافی گابور دارند. در واقع در انتخاب انحراف معیار استاندارد تابع گوسی و بسامد موج کسینوسی، صافی گابور دارای محدودیت است. انتخاب این دو پارامتر برای صافی تا حد زیادی به بی‌هنجاری‌های مورد مطالعه بستگی دارد. یعنی با استفاده از اطلاعات اولیه بی‌هنجاری‌های مورد نظر و اعمال

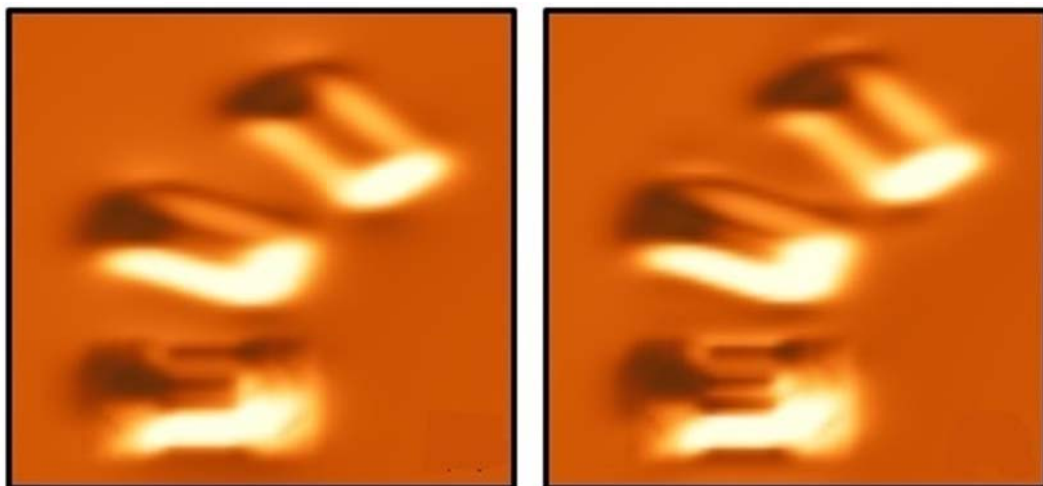
زیاد در تعیین مرز آنها می‌شود. در شکل ۶ پاسخ صافی گابور برای انحراف معیارهای استاندارد و طول موج‌های مختلف و زاویه ( $\theta = 0$ ) بی‌هنجاری مغناطیسی قبل از اعمال صافی (شکل ۶ الف) مقایسه شده است. با مقایسه تصاویر می‌توان گفت موقعیت مکانی توده‌ها و لبه‌ها تا حدی بهتر از حالت قبل از اعمال صافی مشخص شده‌اند (شکل‌های ۶ ب، ج و د). در واقع بعد از اعمال صافی گابور، مقطع مستطیل شکل توده‌های ایجاد کننده بی‌هنجاری به‌خوبی در خروجی صافی دیده می‌شود.

توده‌ها دچار مشکل می‌شود تا حدی که حتی نمی‌توان سه توده ایجاد کننده بی‌هنجاری را از همدیگر تفکیک کرد. همچنین شکل ۵ نشان می‌دهد که انتخاب انحراف معیار استاندارد برای این بی‌هنجاری می‌تواند در محدوده ۳ یا ۴ کیلومتر باشد و در انتخاب بسامد برای این بی‌هنجاری‌ها با محدودیت کمتری رو به‌رو هستیم. به عبارت دیگر تغییرات طول موج تأثیر کمتری بر بی‌هنجاری‌های صافی شده دارد. آنچه به‌وضوح در خروجی‌های شکل ۵ دیده می‌شود این است که، انتخاب اشتباه این دو پارامتر نه تنها مرز توده‌ها را مشخص نمی‌کند بلکه باعث خطای



(ب)

(الف)



(د)

(ج)

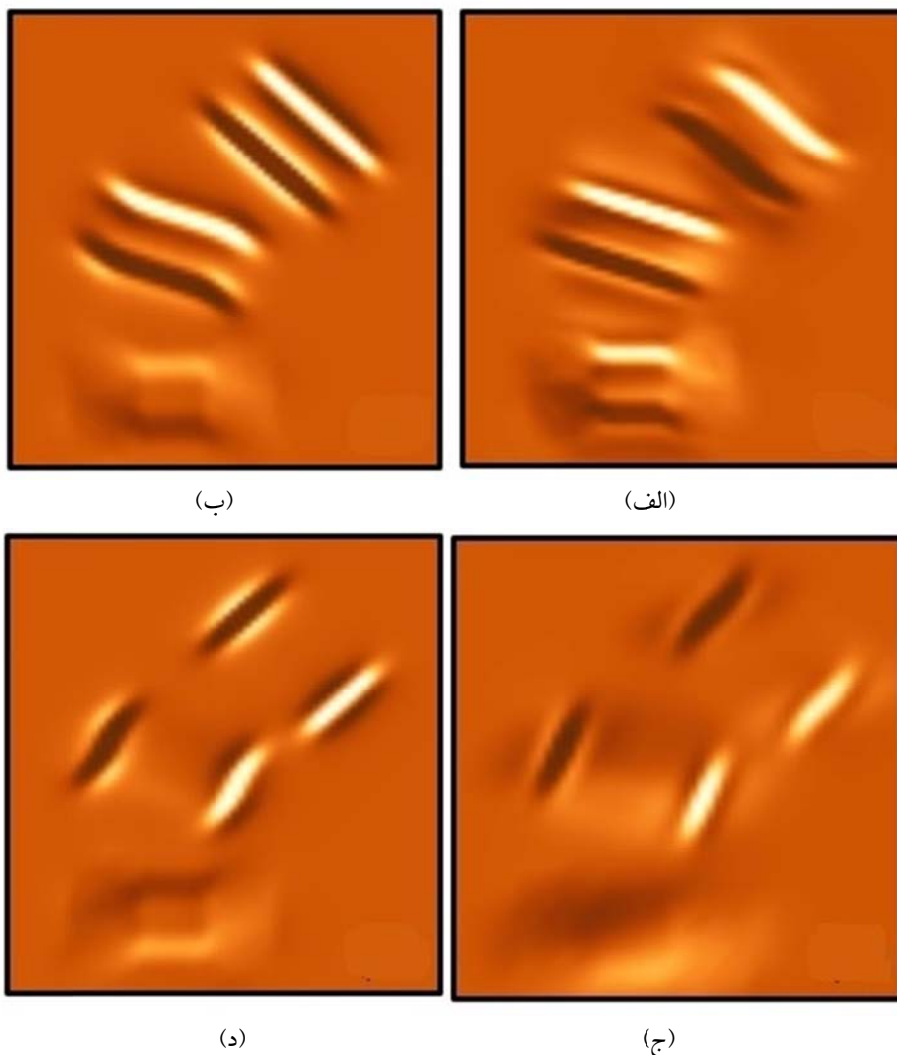
شکل ۶. الف) تصویر سایه‌دار بی‌هنجاری سه منشور قبل از اعمال صافی، ب) خروجی صافی برای ( $\sigma = 3km, \lambda = 5km, \theta = 0^\circ$ )، ج) ( $\sigma = 3km, \lambda = 6km, \theta = 0^\circ$ ) و د) ( $\sigma = 4km, \lambda = 8km, \theta = 0^\circ$ )

جهت‌گیری‌های ۲۰، ۴۵، ۱۱۰ و ۱۳۵ درجه اعمال شده است. نتایج حاصل از این بررسی با یافته‌های پیشین که از صافی گابور در پردازش تصویر مورد استفاده قرار گرفته بود یکسان است.

در شکل ۷-الف صافی گابور با انحراف معیار استاندارد ( $\sigma=3$ ) کیلومتر و طول موج ( $\lambda=4$ ) کیلومتر و جهت ۲۰ درجه اعمال شده است. با توجه به شکل ۷ به وضوح می‌توان دید که لبه‌های طولی جسمی که در جهت ۲۰ درجه قرار دارد یعنی مدل شماره ۲ به خوبی در تصویر خروجی صافی دیده می‌شود و لبه منشورهای دیگر که در جهت‌های دیگر هستند به میزان کمی و با خطا مشخص شده است. با نگاه کردن به تصویر می‌توان دید که لبه‌های عرضی منشور مشخص نشده است.

در شکل ۶ با توجه به این که صافی در جهت ( $\theta=0$ ) بر داده‌ها اعمال شده است، با دقت در شکل‌های ۶ ب، ج و د می‌توان دید که لبه‌های طولی توده‌هایی که در راستای افقی و ۲۰ درجه قرار دارند مشخص شده است و قسمت میانی لبه‌های طولی توده‌ای که به صورت افقی قرار دارد به خوبی مشخص شده است.

۲-۴. بررسی پارامتر جهت‌گیری ( $\theta$ ) در صافی گابور با اعمال صافی گابور با جهت‌های مختلف بر روی داده‌های مغناطیسی مصنوعی، پارامتر جهت‌گیری صافی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در شکل ۷ صافی گابور برای مقادیر قابل قبول انحراف معیار استاندارد و طول موج که در قسمت قبل به دست آمد و



شکل ۷. پاسخ صافی گابور برای  $\lambda = 4km$  و  $\sigma = 3km$  در جهت‌های الف) ۲۰ درجه، ب) ۴۵ درجه، ج) ۱۱۰ درجه و د) ۱۳۵ درجه.

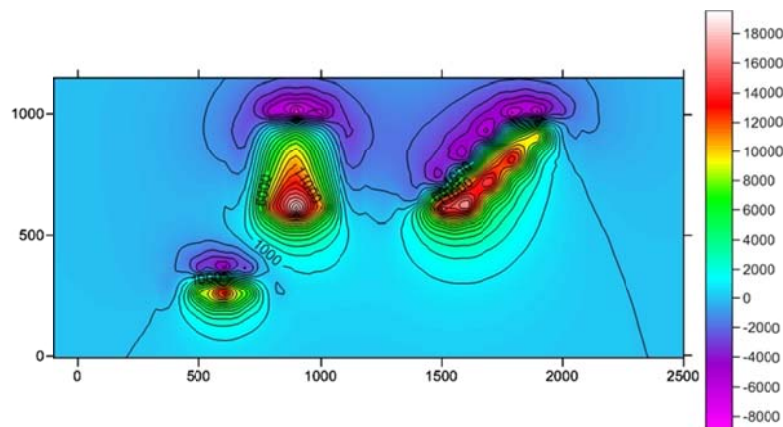


۳. بررسی عمیق‌تر پارامترهای طول‌موج، سیگما و زاویه جهت‌گیری مدل‌ها بر روی مدل‌های مصنوعی سه مدل در ابعاد متفاوت ( $200 \times 350$  در زاویه صفر درجه،  $200 \times 400$  در زاویه ۹۰ درجه و  $200 \times 400$  در زاویه ۴۵ درجه) و عمق و پذیرفتاری یکسان بترتیب در ۵۰ متر و  $0.1/SI$  را در نظر گرفتیم. زاویه انحراف صفر و زاویه ۵۳ میل درجه در نظر گرفته شده است. پاسخ میدان کل مغناطیسی در حالتی که انتقال به قطب صورت نگرفته است در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل مقادیر منفی به علت وجود زاویه میل متفاوت از ۹۰ درجه می‌باشد. در شکل ۹ داده‌ها به قطب انتقال داده شده‌اند. از مقایسه دو شکل ۸ و ۹ می‌توان نتیجه گرفت که در شکل ۹ به مقدار اندکی شکل‌ها جابه‌جا شده و به مکان واقعی خود انتقال می‌یابند. در زاویه‌های میل کمتر، این انتقال بیشتر و قابل ملاحظه‌تر است. حال عملکرد صافی گابور را بر هر دو حالت اعمال کرده و نتایج را مورد بررسی قرار می‌دهیم. ابتدا صافی گابور را بر داده‌های خام (بدون انتقال به قطب) اعمال می‌کنیم.

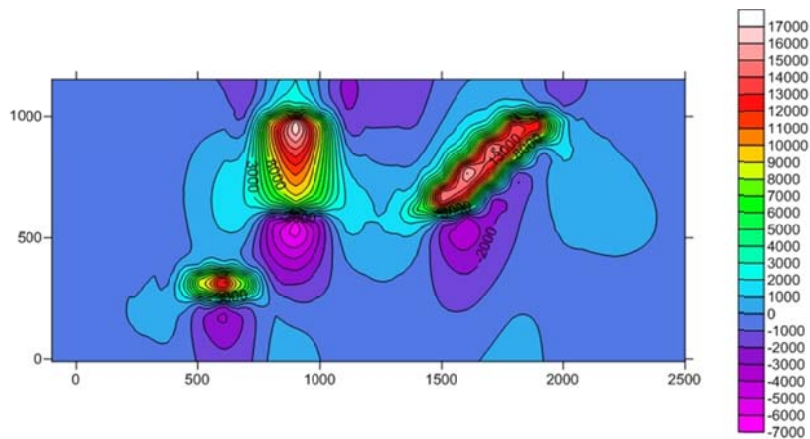
اعمال صافی گابور با زاویه سمتی  $0^\circ$ ، لبه‌های افقی مدل‌ها را آشکارسازی می‌کند (شکل ۱۰-الف). تغییر زاویه سمتی به ۹۰ درجه سبب آشکارسازی لبه‌های قائم می‌شود (شکل ۱۰-ب). کاهش طول‌موج سبب ایجاد لبه‌های اضافی می‌شود (شکل ۱۱-الف). در مرحله بعد سیگما را به نصف کاهش می‌دهیم. در این حالت تعیین لبه‌ها با مشکل مواجه می‌شود (شکل ۱۱-ب).

در شکل (۷-ب) صافی برای جهت ۴۵ درجه اعمال شده است. همان‌طور که می‌بینیم در اینجا لبه‌های طولی جسمی که در راستای ۴۵ درجه است یعنی مدل شماره ۳ به‌خوبی در خروجی صافی دیده می‌شود. در این شکل نیز صافی نمی‌تواند لبه‌های عرضی را تعیین کند.

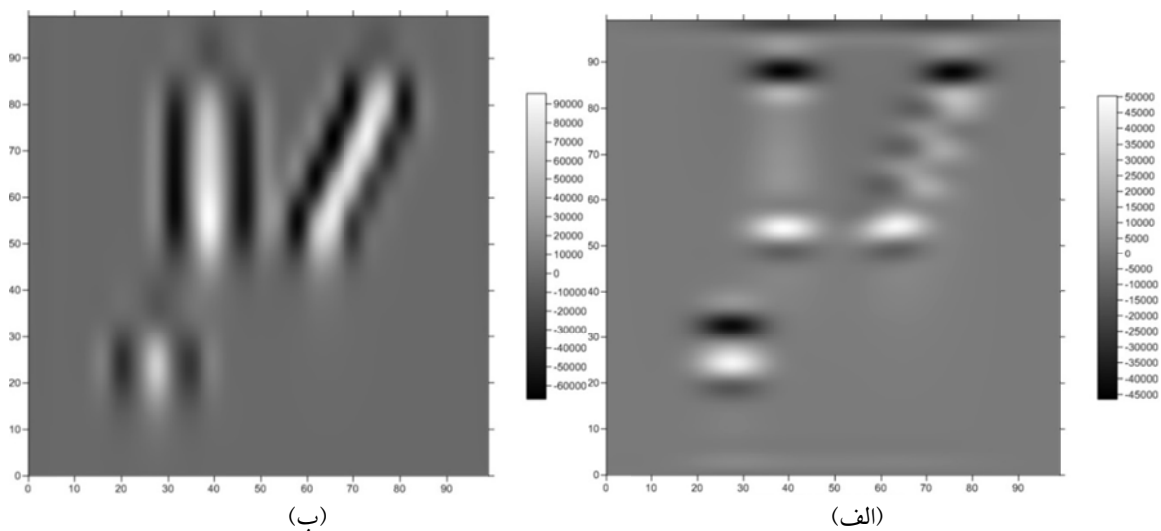
شکل‌های (۷ ج و ۷ د) به ترتیب صافی با همان ویژگی‌های قبلی البته این بار با جهت‌های ۱۱۰ و ۱۳۵ درجه اعمال شده است. در شکل ۷ (ج) لبه‌های عرضی منشوری که در جهت ۲۰ درجه قرار دارد به‌خوبی مشخص شده است اما لبه‌های طولی در تصویر خروجی دیده نمی‌شود. اگر با دقت به تصویر نگاه کنیم، به‌نظر می‌رسد لبه‌های عرضی منشور ۴۵ درجه با اندکی خطا مشخص شده است و لبه‌های توده افقی به‌طور کامل محو شده است. در شکل ۷ (د) نیز با توجه به اینکه صافی در جهت ۱۳۵ درجه اعمال شده است، به‌خوبی می‌توان لبه‌های عرضی منشور ۴۵ درجه را با وضوح بالا در تصویر مشاهده کرد. در اینجا برخلاف حالت قبل لبه‌های کناری منشور ۲۰ درجه با اندکی خطا مواجه شده است و مقداری تصویر بی‌هنجاری افقی بهبود یافته است. به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل از این تصاویر می‌توان گفت، صافی گابور لبه‌هایی را خوب مشخص می‌کند که در راستای جبهه‌های موج مسطح سینوسی و کسینوسی، یعنی در جهت زاویه صافی اعمال شده باشند. لازم به‌ذکر است که تمامی پاسخ‌ها توسط کدنویسی در محیط نرم‌افزار مطلب به‌دست آمده‌اند.



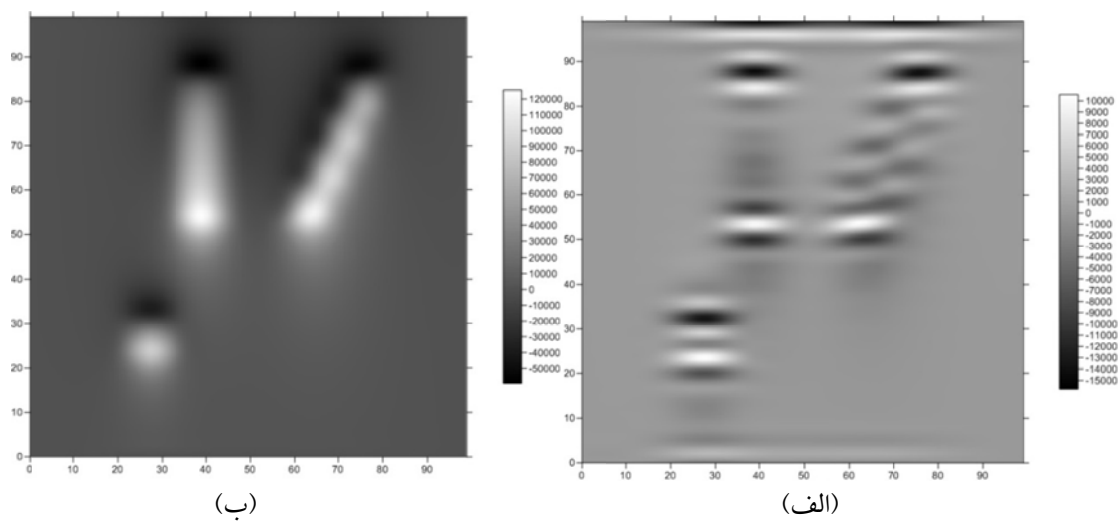
شکل ۸. پاسخ میدان کل مغناطیسی در حالت بدون انتقال به قطب.



شکل ۹. پاسخ میدان کل مغناطیسی در حالت انتقال به قطب.

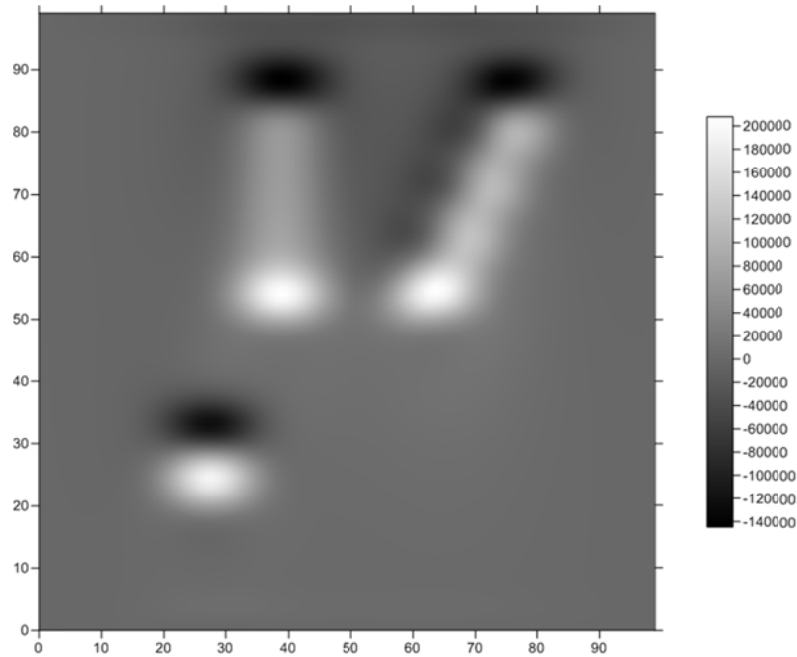


شکل ۱۰. پاسخ صافی گابور، الف) زاویه صفر درجه و  $\lambda = 8, \sigma = 4$ ، ب) زاویه ۹۰ درجه و  $\lambda = 8, \sigma = 4$  بر داده‌های میدان کل مغناطیسی.



شکل ۱۱. الف) کاهش طول موج از ۸ به ۴ ( $\alpha = 0^\circ, \sigma = 4$ )، ب) کاهش سیگما به ۲ ( $\alpha = 0^\circ, \lambda = 8$ ).

در مرحله آخر، طول موج را افزایش می‌دهیم (شکل ۱۲). افزایش طول موج، تعیین لبه‌ها را دچار مشکل می‌کند.



شکل ۱۲. افزایش طول موج به  $(\sigma = 4, \alpha = 0)$ .

شمال شرقی خرده‌ورقه قرار دارند، گرانیت و گرانودیوریت می‌باشند که توسط رسوبات شیلی و ماسه‌سنگ احاطه شده‌اند. در جنوب شرقی خرده‌ورقه، ارتفاعات بلندی وجود دارند که عمدتاً از کنگلومرای بختیاری مربوط به دوره پلیوسن تشکیل شده‌اند. در قسمت جنوبی منطقه برداشت مغناطیسی، آهک توده‌ای سفید رنگ مربوط به سازند آسماری دوره الیگوسن و میوسن وجود دارند که توسط مارن‌های قرمز سازند گچساران پوشیده شده‌اند. در قسمت میانی محل کاوش رسوبات مربوط به دوران کرتاسه وجود دارند. در شمال ناحیه برداشت سنگ‌های رادیولاریتی که قسمت عمده آن با آهک دولومیتی دوران کرتاسه پوشیده شده است مشاهده می‌شود (یوسفی، ۱۳۷۳).

روند ساختارهای زمین‌شناسی و گسل‌های اصلی این منطقه به صورت شمال غربی-جنوب شرقی است. در برخی موارد گسل‌های فرعی با طول محدود از روند اصلی منطقه تبعیت نمی‌کنند و جهت‌های آنها با روند عمومی منطقه تفاوت دارد.

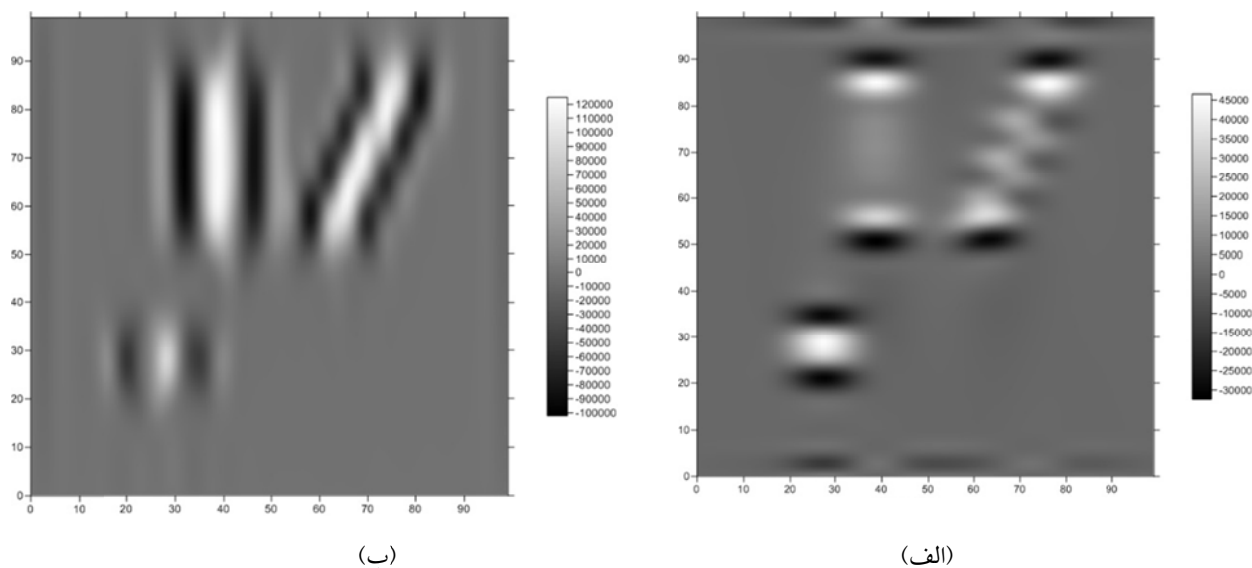
حال صافی گابور را بر داده‌های انتقال یافته به قطب اعمال می‌کنیم. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در عملکرد صافی گابور در تعیین لبه‌ها تغییری حاصل نمی‌شود فقط لبه‌ها یا مرکز مدل‌ها کمی جای‌جایی نشان می‌دهند. برای نمونه نتایج اعمال صافی گابور بر داده‌های به قطب انتقال یافته در دو حالت در دو زاویه جهت‌ی مختلف در شکل‌های ۱۳-الف و ۱۳-ب نشان داده شده‌اند.

### ۳. داده‌های واقعی

#### ۳-۱. منطقه خرم‌آباد

##### ۳-۱-۱. زمین‌شناسی منطقه برداشت

تشکیلات زمین‌شناسی منطقه خرم‌آباد شامل دو ناحیه زاگرس و سندج سیرجان است. امتداد پستی و بلندی‌های منطقه به صورت شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشد که همان روند کلی رشته کوه زاگرس است. مرتفع‌ترین مکان با ارتفاع حدود ۴۰۰۰ متر در جنوب شرقی خرده‌ورقه و کمترین ارتفاع در حدود ۱۰۰۰ متر در منتهی‌الیه جنوبی نقشه قرار دارد. مهم‌ترین سنگ‌های ناحیه که در



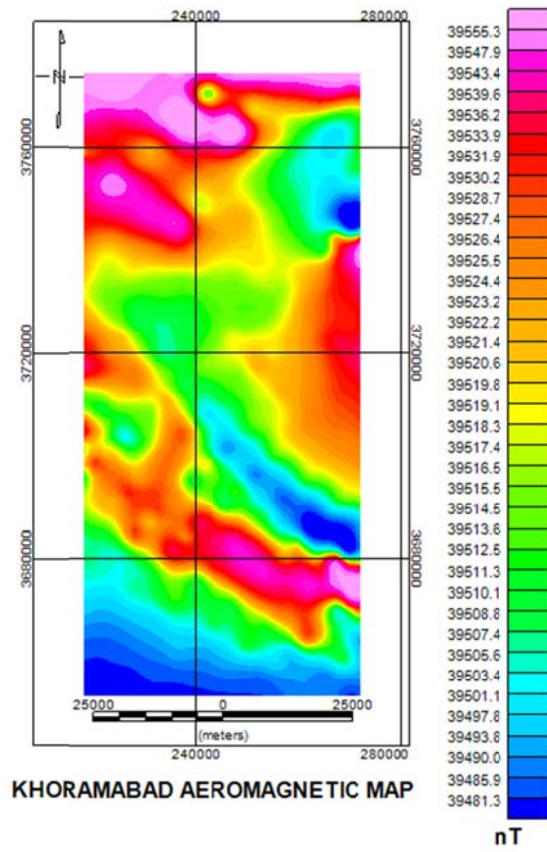
شکل ۱۳. اعمال صافی گابور در دو حالت، الف) ( $\alpha = 0^\circ, \lambda = 8, \sigma = 4$ ) و ب) ( $\alpha = 90^\circ, \lambda = 8, \sigma = 4$ ).

### ۳-۲-۱. اعمال صافی گابور

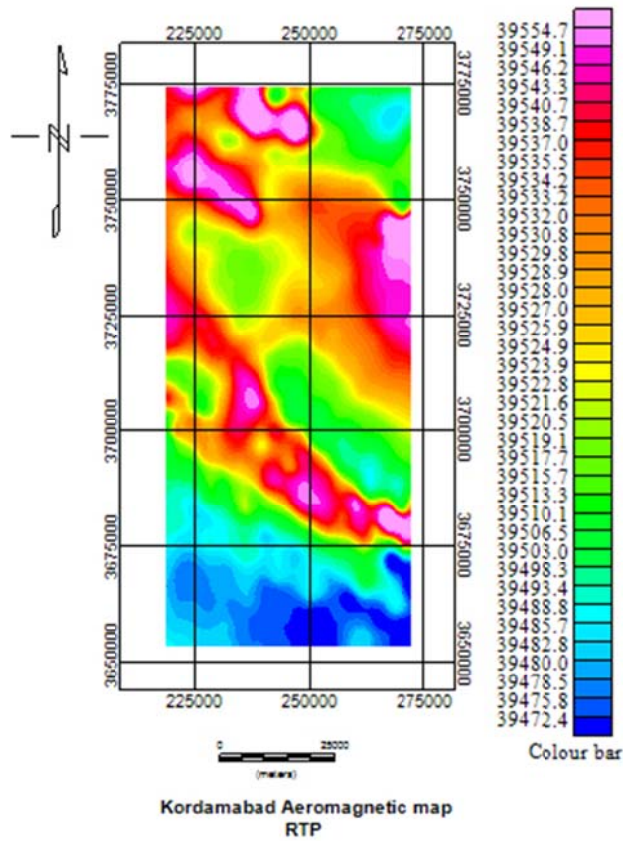
داده‌های مغناطیس هوابرد مربوط به بخش غربی خرده‌ورقه خرم‌آباد در سال ۱۹۷۸ زیر نظر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی برداشت شده‌اند. فاصله خطوط پرواز ۷/۵ کیلومتر و جهت پرواز ۴۵ درجه به صورت جنوب غربی- شمال شرقی می‌باشند که به طور کلی عمود بر روندهای زمین‌شناسی منطقه هستند. مختصات نقاط برداشت ۳۶۵۴۰۰۰ تا ۳۷۷۴۰۰۰ شمالی و ۲۱۹۰۰۰ تا ۲۷۱۵۰۰ شرقی در سیستم یو تی ام (UTM) می‌باشند. تصحیحات لازم بر روی داده‌های مغناطیسی اعمال شده است. نقشه میدان کل مغناطیسی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. به منظور حذف اثر طبیعت دو قطبی میدان ژئومغناطیسی زمین که باعث ایجاد خطا در تفسیر داده‌ها می‌شود، داده‌های میدان کل مغناطیسی به قطب انتقال می‌یابند (بارانوف و نودی، ۱۹۶۴) (شکل ۱۵). در

عمل تبدیل انتقال به قطب، محل و شدت بی‌هنجاری‌ها را به محل و مقدار واقعی انتقال می‌دهد. مقایسه نقشه‌های انتقال به قطب و اولیه مغناطیسی نشان می‌دهد که بعد از اعمال صافی انتقال به قطب بیشینه‌ها جابه‌جا شده و بیشینه‌های جدیدی به وجود آمده‌اند.

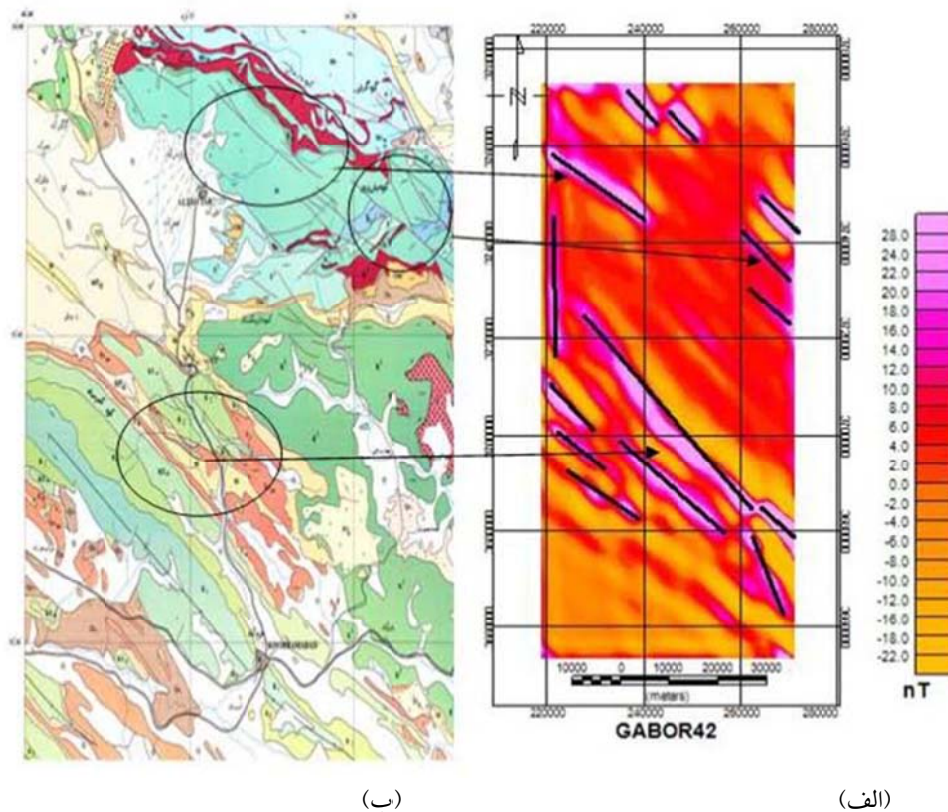
شکل ۱۶- الف نقشه مغناطیسی باقی‌مانده را بعد از اعمال صافی گابور نشان می‌دهد. این شکل گسل‌هایی را نمایش می‌دهد که در راستای ۴۵ درجه شمال غرب قرار دارند (خطوط سیاه رنگ). مشخص شدن امتداد روندهای زمین‌شناسی در یک زاویه مشخص صافی گابور باعث کاهش قدرت تفکیک سایر روندهایی می‌شود که با زاویه جهتی صافی گابور تطابق ندارند. در شکل ۱۶- ب، روندهای به دست آمده از صافی گابور در نقشه زمین‌شناسی هم نشان داده شده‌اند (دایره‌های سیاه رنگ).



شکل ۱۴. شدت میدان کل مغناطیسی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۱۵. نقشه میدان کل مغناطیسی انتقال داده شده به قطب شمال مغناطیسی.

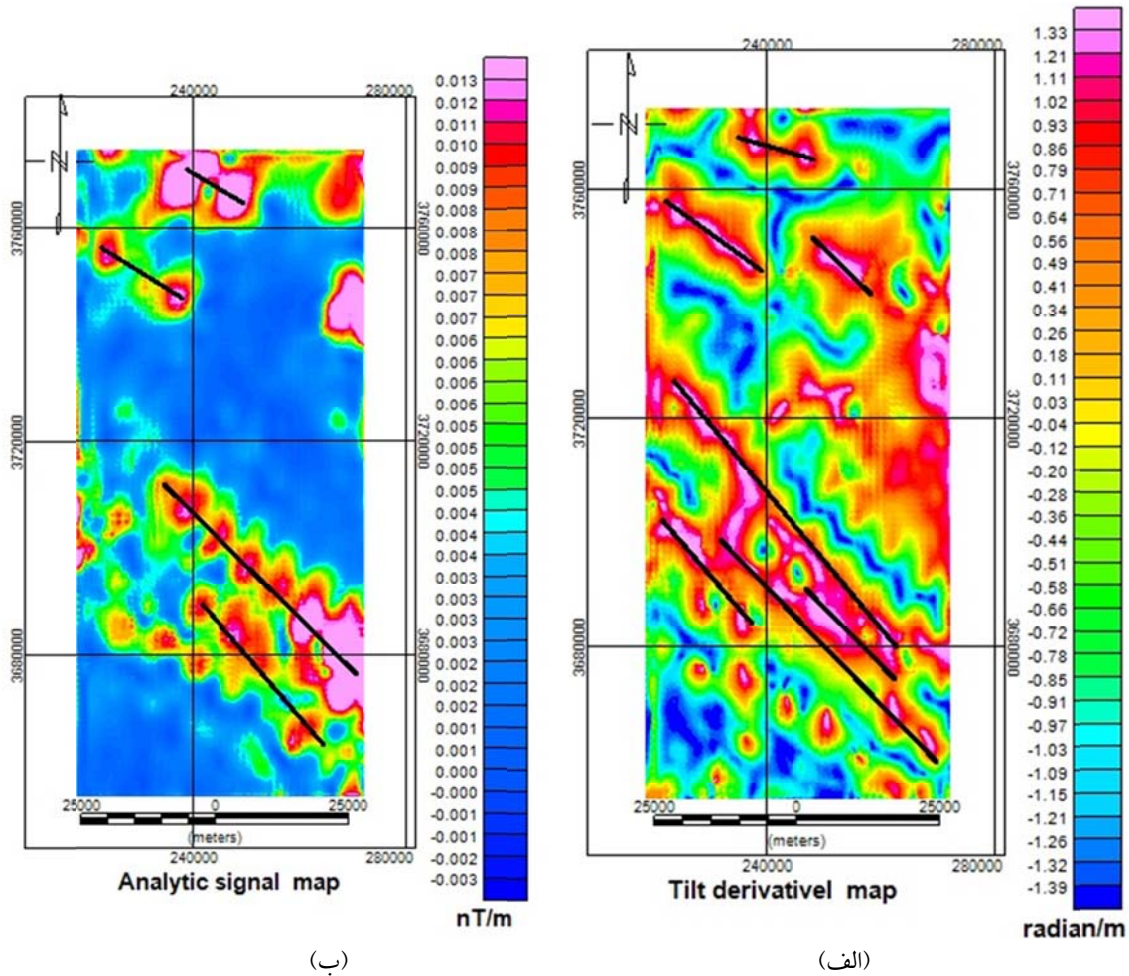


شکل ۱۶. الف) نقشه میدان مغناطیسی کل باقی مانده انتقال داده شده به قطب بعد از اعمال صافی گابور ( $\lambda = 6\text{ km}$ ،  $\sigma = 2\text{ km}$  و  $\theta = 45^\circ$ ). خطوط سیاه ساختارهای زمین شناسی را نشان می دهند، ب) مقایسه روندهای به دست آمده از صافی گابور و روندهای نقشه زمین شناسی.

تطابق دارند. البته مزیت نقشه های مغناطیسی این هست که ساختارهای مدفون و سنگ کف آذرین را هم نمایش می دهند. مقایسه صافی سیگنال تحلیلی نسبت به دو صافی دیگر نشان می دهد که این صافی از قدرت شناسایی کمتری برخوردار می باشد. مقایسه نقشه مشتق زاویه تیلت (شکل ۱۷-الف) با نقشه حاصل از صافی گابور (شکل ۱۶-الف) نشان می دهد که صافی گابور تعداد بیشتری از روندها را نشان می دهد در حالی که نقشه مشتق زاویه تیلت تعداد کمتری از روندها را با جزئیات بیشتری از نظر تعیین لبه بی هنجاری ها نمایش می دهد. البته نقشه مشتق زاویه تیلت نسبت به نقشه زاویه گابور دارای نوفه بیشتری می باشد. بنابراین جهت تشخیص بی هنجاری های طول موج کوتاه و بلند در یک منطقه، بایستی صافی گابور همراه با سایر صافی ها مانند صافی مشتق زاویه تیلت به کار گرفته شود.

بنابراین با استفاده از صافی گابور در امتدادها و طول موج های مختلف می توان روندها و شکستگی های منطقه مورد مطالعه را مشخص کرد. از آنجاکه صافی گابور یک صافی پایین گذر می باشد، این صافی بی هنجاری های طول موج بلند را آشکار سازی می کند. با توجه به اینکه گسل های اصلی منطقه خرم آباد در جهت شمال غربی-جنوب شرقی می باشند، این صافی توانایی آشکار سازی این نوع ساختارها را دارا می باشد. همچنین سایر گسل ها و روندهای زمین شناسی نیز توسط این صافی قابل آشکار سازی می باشد. مقایسه نقشه های حاصل از اعمال صافی های گابور، مشتق زاویه تیلت و سیگنال تحلیلی (شکل های ۱۶-الف، ۱۷-الف و ۱۷-ب) نشان می دهد که روند گسل ها و ساختارهای زمین شناسی شمال غربی-جنوب شرقی می باشد که با روند گسل ها و توده های زمین شناسی منطقه (شکل ۱۶-ب)





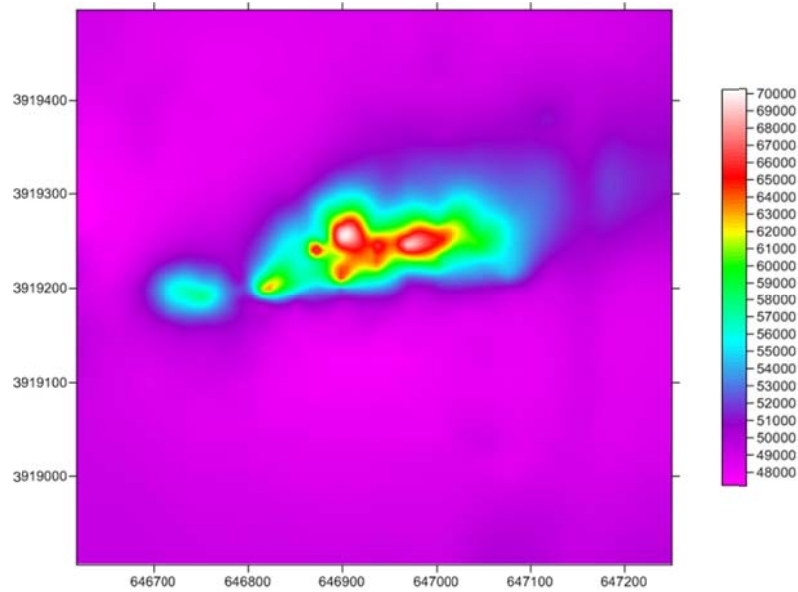
شکل ۱۷. الف) نقشه صافی زاویه تیلت و ب) سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی منطقه خرم‌آباد.

بر داده‌ها در شکل ۱۹-الف نشان داده شده است. مقایسه صافی‌های گابور و سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های منطقه کاشمر نشان می‌دهد که صافی گابور در تعیین لبه‌ها موفق عمل کرده در حالی که صافی سیگنال تحلیلی محدوده بی‌هنجاری را نشان می‌دهد. مشکلی که صافی سیگنال تحلیلی داراست این است که به حضور نوفه حساس می‌باشد، در حالی که در صافی گابور نوفه‌ها نقشی ندارند. وجود نوفه در صافی زاویه تیلت و مشتقات آن هم از اهمیت خاصی برخوردار است.

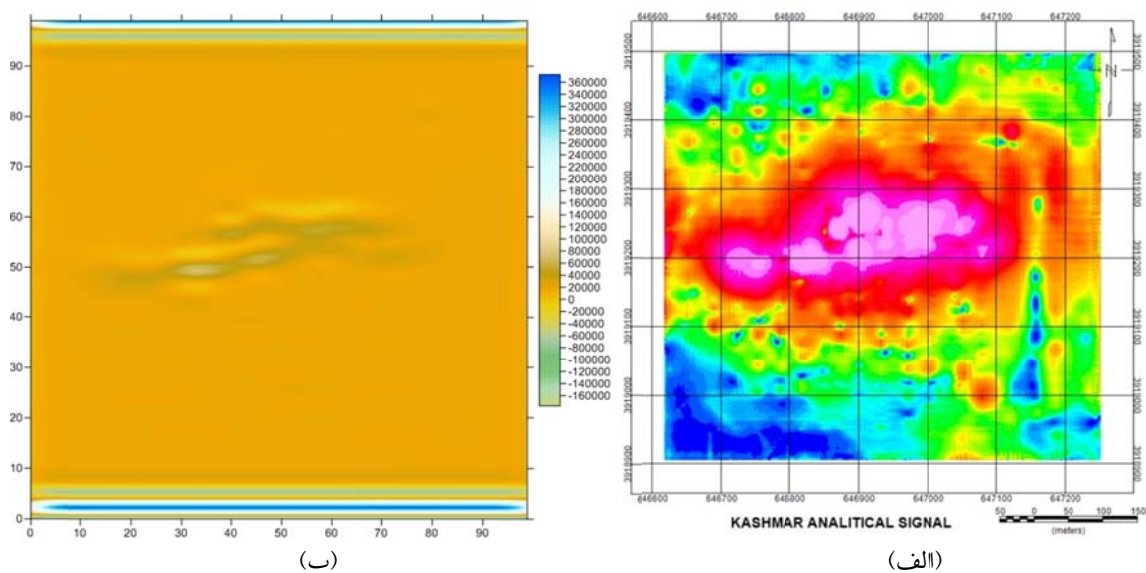
### ۳-۲. منطقه کاشمر

در شمال شرق شهرستان کاشمر در نزدیکی روستای ریوایش توده معدنی آهن‌دار در تشکیلات رسوبی کائولینیت به صورت سطحی قرار دارد. برداشت مغناطیس‌سنجی زمینی بر روی این توده معدنی انجام گرفته است. نقشه میدان کل مغناطیسی در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

اعمال صافی گابور بر داده‌ها محل لبه‌های توده معدنی را نشان می‌دهد (شکل ۱۹-ب). اعمال صافی سیگنال تحلیلی



شکل ۱۸. نقشه میدان کل مغناطیسی انتقال یافته به قطب در محل برداشت.



شکل ۱۹. اعمال صافی سیگنال تحلیلی بر داده‌ها انتقال یافته به قطب منطقه کاشمر، (ب) اعمال صافی گابور بر داده‌های انتقال یافته به قطب یافته  $(\alpha = 0^\circ, \lambda = 6, \sigma = 3)$ .

#### ۴. نتیجه گیری

که انتخاب بهینه پارامترهای فوق‌الذکر به تعیین بهتر لبه توده‌های بی‌هنجار منجر می‌شود. انتخاب مناسب زاویه جهت صافی سبب آشکارسازی لبه مدل‌هایی می‌شود که در آن جهت قرار دارد. سپس صافی گابور بر داده‌های مغناطیس هواپرد منطقه خرم‌آباد و کاشمر اعمال شد. نقشه حاصل از اعمال صافی نشان می‌دهد که امتداد ساختارهایی با این صافی قابل شناسایی می‌باشند

در این مطالعه توانایی صافی گابور بر داده‌های مغناطیسی به منظور تعیین امتداد ساختارهای زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا صافی گابور بر داده‌های میدان کل مغناطیسی حاصل از سه منشور در دو گروه جداگانه اعمال شده و عملکرد آن به طول موج، انحراف معیار و جهت توده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان می‌دهد



روندهای ساختارهای زمین‌شناسی که از صافی گابور به‌دست آمده‌اند با روندهای موجود در نقشه زمین‌شناسی و صافی‌های سیگنال تحلیلی و مشتق زاویه تیلت همخوانی دارند. اعمال صافی گابور بر داده‌های مغناطیسی منطقه شمال کاشمر، لبه‌های توده بی‌هنجار را آشکارسازی کرده است.

### مراجع

یوسفی، ا.، ۱۳۷۳، نقشه  $\frac{1}{250000}$  خطواره‌های مغناطیسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

- Ackerman, H. A. and Hewitt Dix, C., 2002, The first vertical derivative of gravity. *Geophysics*. 20. 148-154.
- Baranov, V. and Naudy, H., 1964, Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, 29. 67-69.
- Cooper, G. R. J. and Cowan. D. R., 2004, Filtering using variable order vertical derivatives. *Computers and Geosciences*. 30. 455-459.
- Daugman, J. G., 1988, Complete discrete 2-D Gabor transforms by neural networks for image analysis and compression. *signal processing*. 36. 1169-1179.
- Holden, E., Dentith, M. and Kovesi, P., 2008, Toward the automated analysis of regional aeromagnetic data to identify regions prospective for gold deposits, *Computers and Geosciences*. 34. 1505-1513.
- Ma, G. and Li, L., 2012, Edge detection in potential fields with the normalized total horizontal derivative. *Computers and Geosciences*. 41. 83-87.
- Ma, G. and Du, X., 2012, An improved analytic signal technique for the depth and structural index from 2D magnetic anomaly data. *Pure and Applied Geophysics*. 169. 2193-2200.
- Mehrotra, R., Namuduri, K. R. and Ranganathan, N., 1992, Gabor filter –based edge detection, *Pattern Recognition*. 25. 1479-1494.
- Miller, H. G. and Singh, V., 1994, Potential field tilt- a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*. 32. 213-217.

که با پارامتر جهت ( $\theta$ ) در صافی تطابق داشته باشند. بنابراین جهت شناسایی زون‌های مختلف زمین‌شناسی یک منطقه، اعمال صافی در جهت‌های مختلف بر داده‌ها ضروری می‌باشد. البته حدود مرزها را می‌توان توسط دیگر صافی‌ها مشخص کرد، سپس از صافی گابور برای آشکارسازی تمامی مرزها اقدام کرد. ویژگی اصلی صافی گابور، خاصیت پایین‌گذری آن می‌باشد. اعمال صافی گابور بر داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه خرم‌آباد نشان می‌دهد که یک سلسله خطواره‌های مغناطیسی با امتداد شمال‌غربی-جنوب‌شرق در منطقه وجود دارند که با گسل اصلی منطقه همسویی دارند.

- Nabighian, M. N., 2012, The analytic signal of two - dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section : its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*. 37. 507-517.
- Prewitt, J., 1970, Object enhancement and extraction , in Lipkin, B.S., Rosenfeld, A. Eds. picture processing and psychopictorics: Academic press. NY. 75-149.
- Roberts, L. G., 1965, Machine perception of three dimensional solids, in Tippet, J.T., Eds., Optical and electro-optical information processing: MIT press. MA. 159-197.
- Roslan, R. and Jamil, N., 2012, Texture feature extraction using 2D Gabor filters, International symposium on computer applications and industrial electronics. IEEE. DOI: 10.1109/ISCAIE.2012.6482091.
- Sertcelik, I., Kafadar, O. and Kurtulus, C., 2013, Use of the two dimensional Gabor filter to interpret magnetic data over the Marmara sea Turkey, *Pure and Applied Geophysics*. 170. 887-894.
- Sobel, I., 1970, Camera model and perception: Ph.D. thesis . Stanford University. Stanford. California.
- Sobel, I., 1990, An isotropic 3\*3 gradient operator, in Freeman, H., Eds., machine vision for three dimensional scenes: Academic press. NY. 376-379.
- Wijns, C., Perez, C. and Kowalczyk, P., 2005, Theta map: Edge detection in magnetic data, *Geophysics*. 70. L39-L43.

## Application of 2D Gabor filter in analysis of the aeromagnetic data at Khoram Abad and ground magnetic data at Kashmar regions

Fouladi, E.<sup>1</sup> and Oveysy Moakhar, M.<sup>2\*</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Physics, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran  
2. Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: 9 Dec 2019, Accepted: 29 Sep 2020)

### Summary

Image processing techniques have been used in processing of potential fields data in order to delineate the edges of the anomalous sources. In this research, firstly the 2D Gabor filter was introduced. Then its operation was investigated on the three magnetized prisms which were at the three different depths and orientations. The effects of body wavelength, standard deviation and body orientation in the Gabor filter on the detection of edge bodies were studied. Investigations showed that the Gabor filter is a low pass filter. Afterwards, the Gabor filter was applied on the aeromagnetic data of Khoram Abad region in the southwest and ground magnetic data from Kashmar region in the northeast of Iran. The results show that the trend of geological structures is NW-SE which is in concordance to those obtained from other filters as well as geological map of the region.

### 1 2D Gabor filter

The boundary of the geological structures can be determined by processing of potential field spectrums. Most filters which have been used for edge detection are based on the different degree of derivatives. The derivatives cause noises and signals amplify together which decrease resolution of edges. Therefore, using filters without any derivative terms is a prime objective. The Gabor filter has not any derivative terms in its mathematical structure. Denis Gabor first introduced the filter for image processing. This filter is linear and has been used for analyzing details of an image or its texture. The characteristics of the Gabor filter is to obtain special frequencies in a certain point or a region. Mostly this filter has been used for analyzing human vision system. The Gabor filter has two parts, real and imaginary in exponential forms which are multiplied with a Gaussian function. The real part has been used for data filtering. The Gabor filter response in spatial domain is defined by convolution of data in the Gabor matrix. The Gabor filter is a low pass filter which attenuates noises while it detects the edges of the deep anomalies in a certain direction. The Gabor filter in mathematics is in the group of filter transformation. On this basis, this filter can process images in different directions and frequencies. The Gabor filter has many applications in image processing such as texture analysis, fingerprint detection, edge detection, document processing and so on. The 2D Gabor filter was also used for identification of the edges of the geological structures and faults. For determination of the geological trends and faults, we must apply the Gabor filter in different directions and frequencies and standard deviations. In this article, we first introduce the Gabor filter and its characteristics. Afterwards this filter is applied on the aeromagnetic data from Khoram Abad and ground magnetic from an iron mine at Kashmar regions in the the southwest and northeast of Iran respectively.

### 2 The real data

We prepared the following maps from the real data in Khoram Abad region: the map of the total magnetic intensity, the reduction to the pole of aeromagnetic map and the map resulted from the application of the Gabor filter on the residual aeromagnetic map of the region. From the latter map, the trend and edges of the geological structures were identified. The other trends may be detected by changing the various parameters of the filter specially its direction. The trend of the geological structures which is revealed by the Gabor filter is northwest- southeast. If the Gabor filter is applied with the other edge filters such as derivative of tilt angle, analytic signal filters, we can identify the boundaries better. The Gabor filter on the data from Kashmar region, delineates the boundary of the iron ore body at the studied area.

**Keywords:** Gabor filter, potential field, Khoram Abad, aeromagnetic, low pass filters, edge detection.

\* Corresponding author:

moveisy9@gmail.com