



بررسی قابلیت روش واریانس ناهمسانگردی نرمال شده در تعیین مرز توده های گرانی

بهمن صادقی عزیزلو^{۱*} و وحید ابراهیمزاده اردستانی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۲- استاد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران / قطب علمی مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی، تهران

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۰۵؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۴

* نویسنده مسئول مکاتبات: bsadeghi1989@ut.ac.ir

چکیده

برای تعیین موقعیت افقی اجسام زیرسطحی از روی نقشه های میدان پتانسیل، روش های تعیین مرز مورد استفاده قرار می گیرند. در این روش ها عمدتاً از مشتقات میدان پتانسیل استفاده می شود. از رایج ترین این روش ها می توان به سیگنال تحلیلی، زاویه تمایل، مشتق افقی کل زاویه تمایل و مشتق افقی کل نرمال شده اشاره کرد؛ که در تفسیرهای ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار می گیرند. در این مقاله، قابلیت روش واریانس ناهمسانگردی نرمال شده در تعیین مرز آنومالی های گرانی بررسی و با روش های ذکر شده مقایسه شده است. عدم استفاده مستقیم از مشتقات درجات بالا و مشتق قائم در محاسبات، از مزایای این روش است؛ که موجب شده نتایج به دست آمده برای داده های همراه با نوفه از پایداری بیشتری برخوردار باشند. یکی از پارامترهای تأثیرگذار در محاسبات مربوط به این روش، عدد پنجره است. این عدد برای داده های بدون نوفه مقدار بهینه سه در نظر گرفته شده است و برای داده های حاوی نوفه، این مقدار بهینه از طریق محاسبه تغییرات بیشینه های واریانس ناهمسانگردی نرمال شده برحسب عدد پنجره های مختلف انجام گرفته است. به منظور بررسی کارایی این روش در تعیین مرز توده های گرانی و مقایسه نتایج آن با نتایج سایر فیلترهای ذکر شده، از مدل های مکعبی در دو حالت مختلف استفاده شده است. در حالت اول از مکعب های در کنار هم و در حالت دوم از دو مکعب هم مرکز که با یک فاصله عمودی روی یکدیگر قرار دارند، بهره گرفته شده است. فیلترهای عنوان شده قادر به شناسایی مرز مکعب ها در حالت دوم نبوده اند. این در صورتی است که مرز مکعب ها در هر دو حالت توسط روش واریانس ناهمسانگردی نرمال شده به خوبی آشکار سازی شده است. همچنین، قابلیت این روش در حالتی که داده ها همراه نوفه هستند؛ نیز بررسی شده است. در نهایت، این روش بر روی داده های واقعی معدن منگنز صفو اعمال شده است؛ که نتایج قابل قبولی به دست آمده است.

واژگان کلیدی

تعیین مرز
میدان پتانسیل
گرادیان افقی و قائم
واریانس ناهمسانگردی نرمال شده
معدن منگنز صفو

۱- مقدمه

شناسایی مرز ساختارهای زمین شناسی مختلف و موقعیت افقی چشمه های آنومال از طریق داده های میدان پتانسیل یکی از اهداف تفسیرهای ژئوفیزیکی است. فیلترهای تعیین لبه معمولاً به منظور آشکارسازی لبه های منابع آنومال به کار می روند (Oruç and selim, 2011). بیشتر روش های مورد استفاده برای این منظور، بر اساس مشتقات افقی و عمودی داده های میدان پتانسیل پایه ریزی شده اند (Cooper and Cowan, 2008). نقشه های گرادیان اول و دوم قائم در تفسیرهای کیفی کاربرد دارند. این نقشه ها به طور کلی آنومالی های سطحی با عمق کم را بهتر از آنومالی بوگه نشان می دهند (اردستانی، ۱۳۸۹). سیگنال تحلیلی یکی از فیلترهایی است که در آن از گرادیان های افقی و قائم برای تعیین مرز آنومالی ها استفاده می شود. رابطه سیگنال تحلیلی برای اجسام دوبعدی به صورت ترکیب گرادیان افقی و عمودی با رابطه زیر بیان می شود (Nabighian, 1972).

شناسایی مرز ساختارهای زمین شناسی مختلف و موقعیت افقی چشمه های آنومال از طریق داده های میدان پتانسیل یکی از اهداف تفسیرهای ژئوفیزیکی است. فیلترهای تعیین لبه معمولاً به منظور آشکارسازی لبه های منابع آنومال به کار می روند (Oruç and selim, 2011). بیشتر روش های مورد استفاده برای این منظور، بر اساس مشتقات افقی و عمودی داده های میدان پتانسیل پایه ریزی شده اند (Cooper and Cowan, 2008). نقشه های گرادیان اول و دوم قائم در تفسیرهای کیفی کاربرد دارند. این نقشه ها به طور کلی آنومالی های سطحی با عمق کم را بهتر از آنومالی بوگه نشان می دهند (اردستانی، ۱۳۸۹). سیگنال تحلیلی یکی از فیلترهایی است که در آن از گرادیان های افقی و قائم برای تعیین مرز آنومالی ها استفاده می شود. رابطه سیگنال تحلیلی برای اجسام دوبعدی به صورت ترکیب گرادیان افقی و عمودی با رابطه زیر بیان می شود (Nabighian, 1972).

$$A(x) = \frac{\partial f}{\partial x} - i \frac{\partial f}{\partial z} \quad (1)$$

که در آن i ، نماد عدد مختلط، f میدان پتانسیل و $\frac{\partial f}{\partial x}$

$\frac{\partial f}{\partial z}$ به ترتیب گرادیان های افقی و قائم میدان می باشند. مقدار گرادیان قائم می تواند با تبدیل هیلبرت از گرادیان افقی به دست آید. دامنه سیگنال تحلیلی توسط رابطه (۲) محاسبه می شود (Roest et al., 1992).

$$|A(x)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \quad (2)$$

برای میدان پتانسیل f ، سیگنال تحلیلی و دامنه سیگنال تحلیلی را در سه بُعد با ترکیب گرادیان افقی و تبدیل هیلبرت آن به صورت رابطه (۳) می توان نوشت (Roest et al., 1992).

$$A(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{y} + i \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z} \quad (3)$$

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}$$

در رابطه (۳)، $\hat{x}$ و $\hat{y}$ و $\hat{z}$ به ترتیب بردارهای یکه در جهت محورهای x و y و z می باشند. مقدار بیشینه دامنه سیگنال تحلیلی لبه های آنومالی ها را نشان می دهد.

فیلترهای فاز محلی (Local phase) که در پردازش داده های ژئوفیزیکی کاربرد دارند؛ توابعی برحسب گرادیان های افقی و قائم میدان پتانسیل هستند. یکی از فیلترهای فاز محلی رایج، زاویه تمایل (tilt angle) است؛ که اولین بار (Miller and Singh, 1994) از این فیلتر برای تعیین لبه آنومالی ها از طریق داده های میدان پتانسیل

در این رابطه، T مقدار زاویه تمایل و f میدان پتانسیل است.

مقدار زاویه تمایل بین $[-\frac{\pi}{2}, +\frac{\pi}{2}]$ متغیر است و بر روی توده های زیرسطحی مقدار آن مثبت و در لبه ها مقدار صفر و خارج از ناحیه جسم مقدار منفی دارد (Cooper and Cowan, 2006). همان طور که از رابطه بالا مشخص است، زاویه تمایل نرمال شده گرادیان قائم داده های میدان پتانسیل است.

(Verduzco et al., 2004)، مشتق افقی کل زاویه تمایل را که

با THDR بیان می شود و با رابطه (۵) نشان داده می شود؛ معرفی کردند.

$$THDR_T = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \quad (5)$$

از آنجایی که در این رابطه از مشتق زاویه تمایل که خود فیلتری بر پایه مشتق است، استفاده می شود؛ لذا برای منابع عمیق به دلیل این که نوفه را افزایش می دهد، کمتر مؤثر است. دامنه بیشینه گرادیان افقی که مشتق افقی کل (Total Horizontal Derivative) نیز گفته می شود، از رابطه بعد قابل محاسبه است (Cooper and Cowan, 2006).

$$THD = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad (6)$$

که در آن f ، میدان پتانسیل است. شکل نرمال شده رابطه (۶)

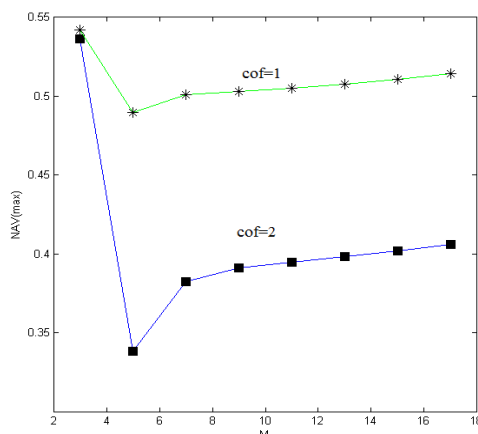
به صورت رابطه (۷) است (Cooper and Cowan, 2006).

$$TDX = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}}{\left| \frac{\partial f}{\partial z} \right|} \right) \quad (7)$$

نسبت به رابطه (۴)؛ در رابطه (۷) مقدار گرادیان افقی کل توسط گرادیان قائم میدان پتانسیل نرمال شده است. در واقع جای صورت و مخرج کسر عوض شده است. بیشینه رابطه (۷) بر روی لبه های منابع آنومال است.

در این مقاله روش واریانس ناهمسانگردی نرمال شده (normalized anisotropy variance) بیان می شود و با فیلترهای بیان شده مورد مقایسه قرار می گیرد.

که مقادیر بیشینه NAV داده‌های گرانی به ازای M های مختلف محاسبه و رسم می‌شود. محل کمینه نمودار به عنوان حدود مناسب برای عدد پنجره انتخاب می‌شود. در شکل ۱ **Error! Reference source not found.** تغییرات بیشینه واریانس ناهمسانگردی نرمال شده برحسب اندازه پنجره‌های مختلف برای ۲ و ۱ cof برای مدل جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است؛ برای عدد پنجره خاصی، نمودار دچار تغییرات محسوسی شده است؛ که از این ویژگی برای به دست آوردن مقدار بهینه عدد پنجره در حالتی که داده حاوی نوفه باشد، می‌توان استفاده کرد.



شکل ۱: تغییرات مقدار بیشینه NAV برحسب عدد پنجره مختلف برای مدل تعریف شده در جدول ۱.

۴- مدل‌های مصنوعی

۴-۱- دو منشور مجاور هم

برای بررسی کارایی فیلترهای ذکر شده در تعیین مرز آنومالی‌ها و نیز میزان توانمندی روش واریانس نرمال‌شده، از دو منشور با تباين چگالی مثبت و منفی در عمق‌های به ترتیب ۱۰ و ۲۰ متر، به عنوان مدل مصنوعی استفاده شده است؛ که مشخصات هرکدام از این منشورها در جدول ۱ آمده است. اثر گرانی منشورها با استفاده از روش (1975) plouff محاسبه شده است.

در شکل ۲ اثر گرانی حاصل از منشورهای جدول ۱ و نیز نتایج حاصل از اعمال فیلترهای مختلف بیان‌شده بر روی داده‌های گرانی نشان داده شده است. در این شکل، مرزهای منشورها با خطوط تیره مشخص شده است.

جدول ۱: مشخصات منشورهای بکار رفته به‌عنوان مدل مصنوعی مجاور هم.

شماره مدل	عمق بالا (متر)	ابعاد (متر)	تباين چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱	۲۰	۸۰×۳۰×۱۰	-۱۰۰۰
۲	۱۰	۶۰×۲۰×۱۰	+۱۰۰۰

۲- روش واریانس ناهمسانگردی نرمال‌شده

برای داده‌های روی شبکه، رابطه واریانس ناهمسانگردی نرمال‌شده (NAV) برای میدان پتانسیل f ، به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود (Zhang et al., 2014).

$$NAV(x, y) = \frac{\sum_{i,j=1}^{i,j=M} \{ [f(x_i, y_j) - \overline{f(x, y)}] Q(i, j) \}}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{i,j=M} [f(x_i, y_j) - \overline{f(x, y)}]^2} \sqrt{\sum_{i,j=1}^{i,j=M} Q(i, j)^2}} \quad (8)$$

$$\overline{f(x, y)} = \frac{1}{M^2} \sum_{i,j=1}^{i,j=M} f(x_i, y_j)$$

در این رابطه x و y نقاط روی شبکه، x_i و y_j نقاط مشاهده‌ای در درون پنجره مربعی داده‌ها به ابعاد M و Q تابع گوسین ناهمسانگرد با جهت θ می‌باشند؛ که بر اساس تابع دوبعدی گوسین به‌صورت زیر بیان می‌شود (Zhang et al., 2014).

$$Q(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(w_1 + \text{cof}^2 w_2)\right]$$

$$w_1 = \left[\left(i - \frac{M+1}{2}\right)\cos\theta + \left(j - \frac{M+1}{2}\right)\sin\theta\right]^2 \quad (9)$$

$$w_2 = \left[\left(\frac{M+1}{2} - i\right)\sin\theta + \left(j - \frac{M+1}{2}\right)\cos\theta\right]^2$$

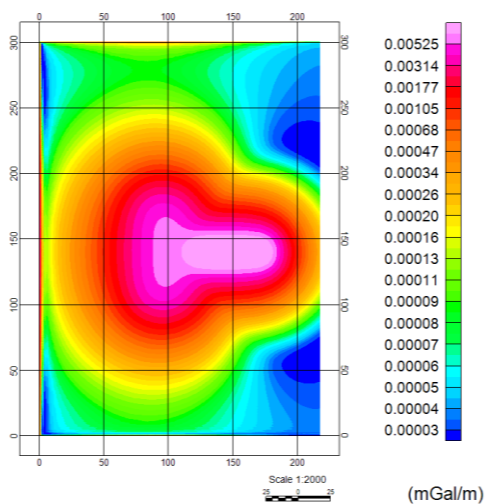
عبارت cof ، مقیاس ناهمسانگردی و σ انحراف معیار تابع گوسین است؛ که رابطه تجربی برحسب اندازه پنجره به صورت $\sigma = \frac{M-1}{6}$ دارد. مقدار رابطه (۸) بر روی مرز توده‌ها صفر است؛ که می‌توان از این ویژگی برای تعیین مرز اجسام زیرسطحی استفاده کرد.

یکی از پارامترهای تأثیرگذار در محاسبات مربوط به این روش، مقدار عدد پنجره (M) است؛ که به کیفیت داده‌ها وابسته است. در صورتی که داده‌ها بدون نوفه باشند؛ این مقدار معمولاً ۳ در نظر گرفته می‌شود (Zhang et al., 2014). برای داده‌های حاوی نوفه لازم است مقدار عدد پنجره را افزایش داد؛ تا نتیجه مطلوب به دست آید.

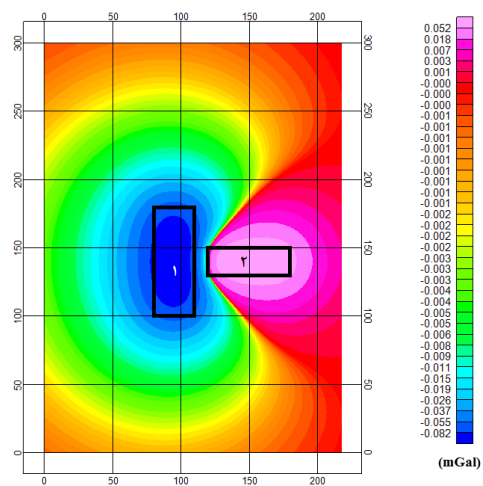
پارامتر بعدی ضریب cof است؛ که در جداسازی آنومالی‌هایی که در مجاورت هم قرار دارند، مؤثر است. مقدار این پارامتر به صورت تجربی تعیین می‌شود. به این صورت که برای داده‌های بدون نوفه معمولاً $\text{cof}=2$ و برای داده‌های حاوی نوفه، $\text{cof}=5$ انتخاب می‌شود (Zhang et al., 2014).

۳- انتخاب عدد پنجره بهینه

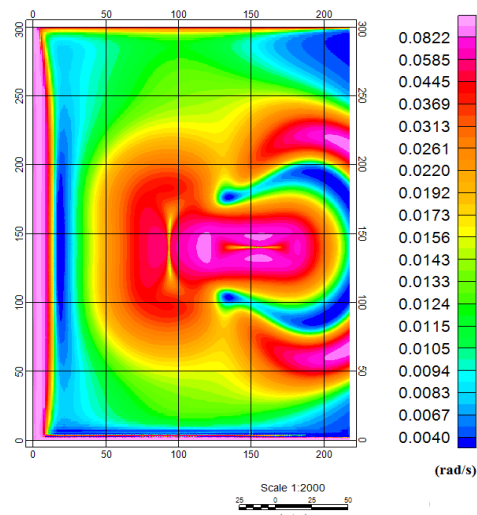
هنگامی که داده‌ها حاوی نوفه باشند، انتخاب عدد پنجره مناسب حائز اهمیت است. در این مقاله به منظور انتخاب حدود مناسب برای عدد پنجره، از بیشینه‌های نسبی NAV استفاده شده است. به این ترتیب



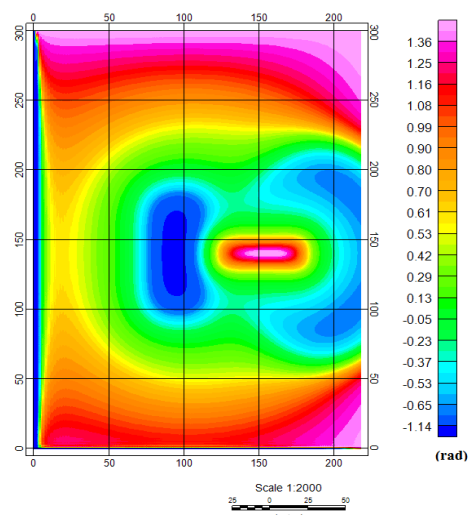
(ب)



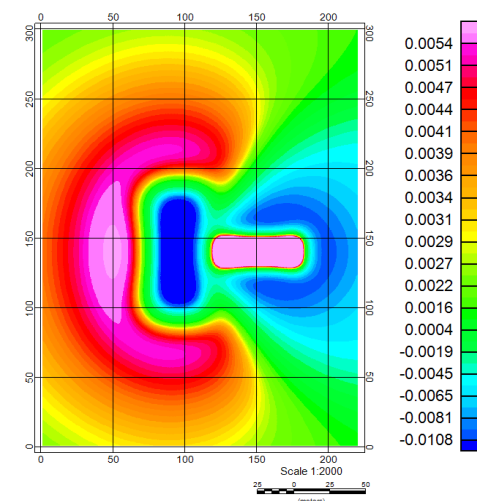
(الف)



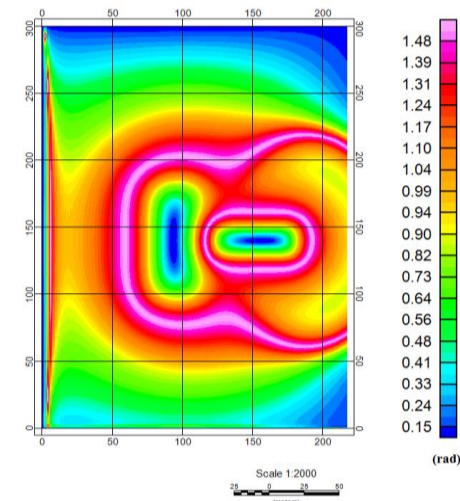
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۲: مقایسه نتایج فیلترهای ذکر شده روی داده های گرانی حاصل از مدل مصنوعی متشکل از دو منشور با تباین چگالی مثبت و منفی. الف) اثر گرانی تولید شده از دو منشور در عمق های ۱۰ و ۲۰ متر با تباین چگالی به ترتیب +۱۰۰۰ و -۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب با فاصله جانبی ۱۰ متر. ب) نقشه سیگنال تحلیلی. ج) نقشه زاویه تمايل. د) نقشه مشتق افقی کل زاویه تمايل. ه) نقشه TDX. و) نقشه NAV برای پنجره ۳×۳ و مقیاس ناهمسانگردی ۲.

جدول ۲: مشخصات منشورهای به کار رفته به عنوان مدل مصنوعی

روی هم				
مدل	حدود x	حدود y	حدود z	تباين چگالي (کيلوگرم بر مترمکعب)
۱	$x_1 = -100$	$y_1 = -100$	$z_1 = -15$	۱۰۰۰
	$x_2 = 100$	$y_2 = 100$	$z_2 = -45$	
۲	$x_1 = -20$	$y_1 = -20$	$z_1 = -5$	۱۰۰۰
	$x_2 = 20$	$y_2 = 20$	$z_2 = -10$	

برای نشان دادن قابلیت روش NAV بر روی داده‌های حاوی نوفه، به داده‌های گرانی شکل ۲- الف، ۵ درصد نوفه گوسی با میانگین صفر اضافه شده؛ که در شکل ۴- الف نشان داده شده است. بیشینه این فیلتر برحسب عدد پنجره‌های مختلف برای این مدل حاوی نوفه رسم شد؛ که عدد بهینه پنجره ۱۷ به دست آمد. شکل ۴- ب، نتیجه اعمال فیلتر NAV با مقیاس ناهمسانگردی ۵ و پنجره 17×17 را نشان می‌دهد.

سایر فیلترهای ذکر شده در این تحقیق نیز بر روی داده‌های حاوی نوفه شکل ۴- الف اعمال شد؛ ولی به دلیل کیفیت پایین نتایج به دست آمده، از ارائه آن‌ها خودداری شد.

۵- داده‌های واقعی

داده‌های گرانی‌سنجی استفاده‌شده در این مقاله، مربوط به عملیات گرانی‌سنجی در منطقه چالدران استان آذربایجان غربی است (شکل ۵)؛ که به بررسی معدن منگنز صفو در مجتمع معدنی کانسار مینای اسپادانا پرداخته است. بافت غالب این منطقه افیولیت‌های خوی- ماکو است. در این منطقه رسوبات کرتاسه زیرین که عمدتاً از آهک اریتولین‌دار تشکیل شده است با دگرشیبی روی رسوبات ژوراسیک قرار گرفته است. رخنمون اصلی در سایت موردنظر نیز آهک‌های پلاژیک با رخنمون‌هایی از کانسار منگنز به رنگ خاکستری تا سیاه است. محل موردنظر پیرامون یکی از بیرون‌زدگی‌های معادن منگنز صفو و در مستطیلی که گوشه منتهالیه جنوب غربی آن به مختصات 438276 و 4342971 و گوشه شمال شرقی آن به مختصات 438609 و 4343187 در سیستم تصویر UTM هستند، قرار دارد. البته در این محدوده در گوشه شمال شرقی شبکه به علت عوارض توپوگرافی؛ داده‌های گرانی کمتری برداشت شده است. شکل ۶- الف، نقشه آنومالی بوگه را برای این منطقه نشان می‌دهد. نماد (+) نشان‌دهنده نقاط برداشت داده‌های گرانی است. برای انجام محاسبات بعدی، ناحیه‌های خالی از داده‌ها با بستن پریندها پر شده است. نقشه آنومالی باقیمانده با کم کردن یک سطح درجه اول از آنومالی بوگه به دست آمده که در شکل ۶- ب، نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نیز دیده می‌شود، آنومالی‌های کم‌عمق و به

شکل ۲- الف اثر گرانی منشورهای به کار گرفته شده به عنوان مدل مصنوعی را نشان می‌دهد. در شکل ۲- ب، نقشه سیگنال تحلیلی داده‌های قسمت (الف) نشان داده شده است. از آنجایی که بیشینه سیگنال تحلیلی بر روی مرزهای اجسام آنومال است، انتظار می‌رفت که برای این مدل مرزها را آشکارسازی کند؛ که این امر صورت نگرفته است. همچنین تفکیک دو منشور از هم نیز مطلوب نیست.

در شکل ۲- ج کاربرد فیلتر زاویه تمایل بر روی داده‌های گرانی مدل نشان داده شده است؛ علی‌رغم اینکه عمق منشور شماره ۱ نسبت به منشور دیگر بیشتر است، با این حال مرزهای هر دو منشور با دقت خوبی نسبت به مرز واقعی آن‌ها تعیین شده است. در شکل ۲- د نقشه مشتق افقی کل زاویه تمایل نشان داده شده است. مقدار این فیلتر بر روی لبه‌های منابع آنومال بیشینه است. با توجه به این‌که در محاسبات مربوط به این فیلتر از مشتق زاویه تمایل استفاده می‌شود که خود فیلتری بر پایه مشتق است؛ لذا برای منشوری که در عمق بیشتر قرار دارد برآورد لبه‌ها به خوبی صورت نگرفته است.

شکل ۲- ه نتیجه اعمال فیلتر TDX را بر روی داده‌های گرانی قسمت الف نشان می‌دهد. بیشینه مقادیر این فیلتر متناظر با لبه‌های مدل است. همان‌طور که در شکل مشخص است، برای منشور با عمق کمتر لبه‌ها به مرز واقعی نزدیک‌تر است؛ ولی در مقایسه با فیلتر زاویه تمایل، برآورد به خوبی صورت نگرفته است.

فیلتر NAV با ابعاد پنجره 3×3 و مقیاس ناهمسانگردی ۲ بر روی داده‌های گرانی حاصل از مدل، اعمال شده که نتیجه آن در شکل ۲- و نشان داده شده است. مرز تعیین شده با استفاده از این روش با دقت بالایی برآورد شده است و جدایش دو منشور به نسبت سایر فیلترهای مورد بحث در این مقاله به نحو مطلوب صورت پذیرفته است.

۴-۲- دومنشور روی هم

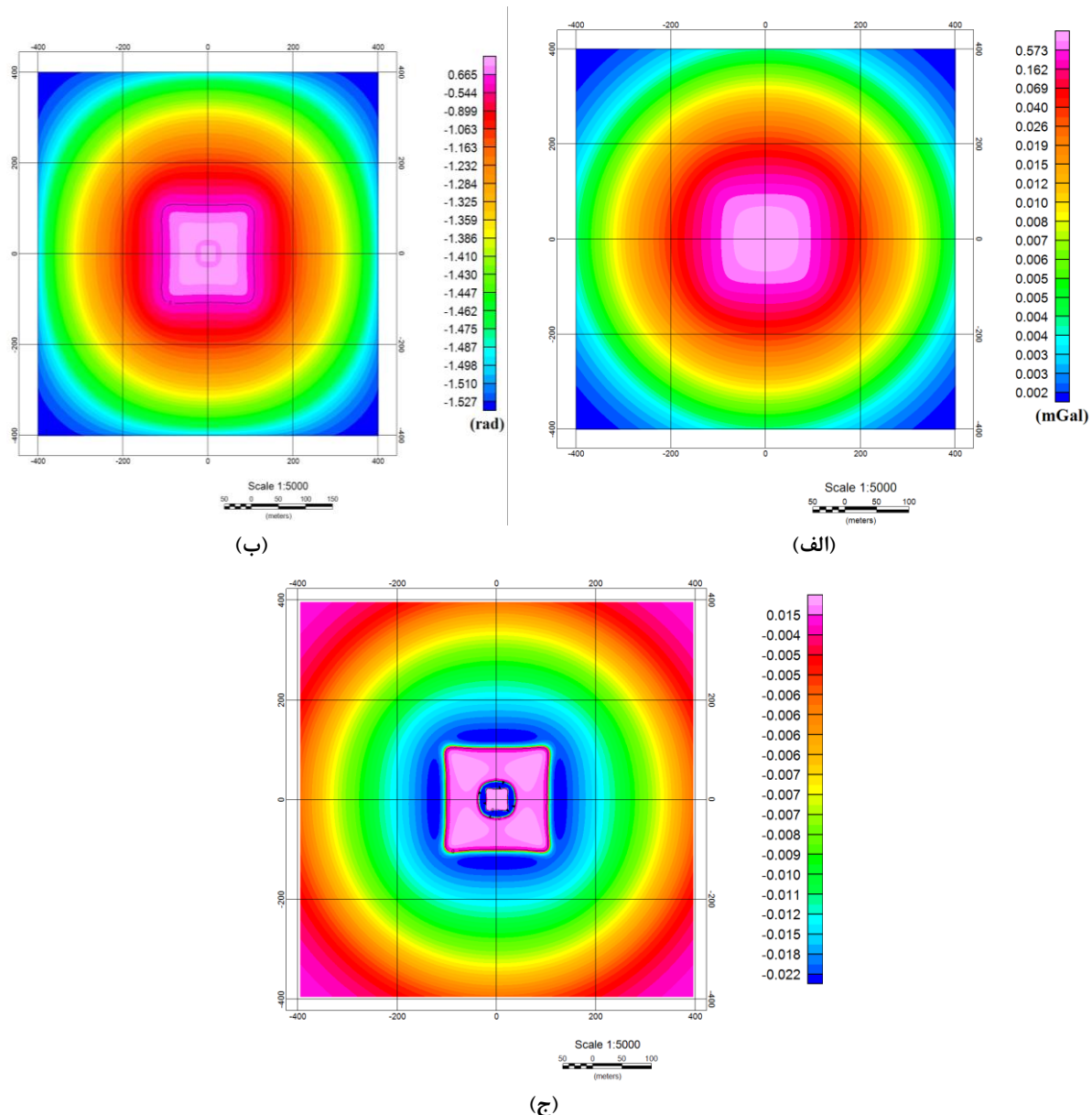
در این قسمت، از دو منشور هم‌مرکز بر روی هم که منشور بالایی کوچک‌تر از منشور زیرین است و به فاصله ۵ متر بالاتر از آن قرار دارد، استفاده شده است. مشخصات این منشورها در جدول ۲ آمده است. اثر گرانی این منشورها مطابق روش (1975) plouff محاسبه شده؛ که در شکل ۳- الف نشان داده شده است. شکل ۳- ب نقشه فیلتر زاویه تمایل برای داده‌های گرانی حاصل از منشورهای جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است، مرزهای مکعب زیرین آشکارسازی شده است؛ ولی مکعب بالایی با این فیلتر شناسایی نشده است (کانتورهای صفر نشان‌دهنده مرزهاست). نقشه فیلتر NAV با ابعاد پنجره 3×3 و ضریب ناهمسانگردی ۲ به همراه کانتور صفر آن، برای داده‌های گرانی حاصل از منشورهای جدول ۲ در شکل ۳- ج نشان داده شده است. در مقایسه با فیلتر زاویه تمایل، فیلتر NAV توانسته است مرز مکعب بالایی را با دقت بسیار بالایی شناسایی کند؛ همچنین مرزهای مکعب زیرین نسبت به فیلتر زاویه

شکل ۸ (الف و ب)، به ترتیب نقشه های زاویه تمایل و مشتق افقی کل نرمال شده را نشان می دهند. کانتورهای صفر زاویه تمایل مرزهای برآورد شده را نشان می دهند.

نقشه واریانس ناهمسانگردی نرمال شده با انتخاب عدد پنجره مناسب از طریق محاسبه بیشینه NAV برای پنجره های مختلف بر اساس شکل ۷ و مقیاس ناهمسانگردی ۵ به دست آمده که در شکل ۸-ج نشان داده شده است. همانند نقشه زاویه تمایل، کانتورهای صفر برای این فیلتر روی نقشه به دست آمده رسم شده است که مرز توده ها را نشان می دهد. نتایج به دست آمده برای این فیلتر، با نتایج حفاری های انجام شده در منطقه مطابقت قابل قبولی دارد.

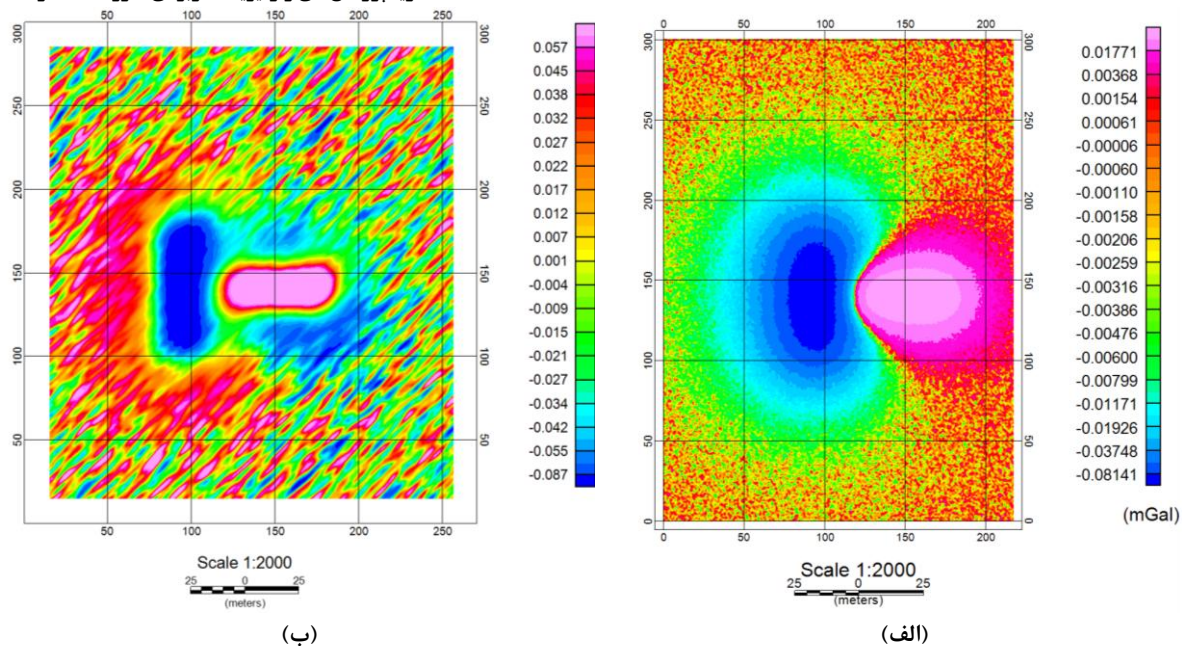
خصوص آنومالی مثبت (کانسار منگنز) با وضوح بیشتری دیده می شوند.

همانند شکل ۱، می توان مقدار بیشینه NAV را برای عدد پنجره های مختلف محاسبه کرده و با استفاده از نمودار حاصل، مقدار بهینه عدد پنجره را تعیین نمود. با توجه به شکل ۷، $M=5$ انتخاب می شود و محاسبات با این مقدار انجام می گیرد. از بین فیلترهای بیان شده در این پژوهش، فیلتر زاویه تمایل و مشتق افقی کل نرمال شده به همراه فیلتر واریانس ناهمسانگردی نرمال شده بر روی داده های گرانی سنجی معدن منگنز صفو اعمال شده که نتایج آن در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۳: (الف) اثر گرانی مدل های مصنوعی به کار رفته با مشخصات جدول ۲. (ب) نقشه زاویه تمایل. (ج) نقشه NAV با ابعاد پنجره 3×3 و ضریب ناهمسانگردی ۲.

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۳، شماره ۲، ۱۳۹۶.

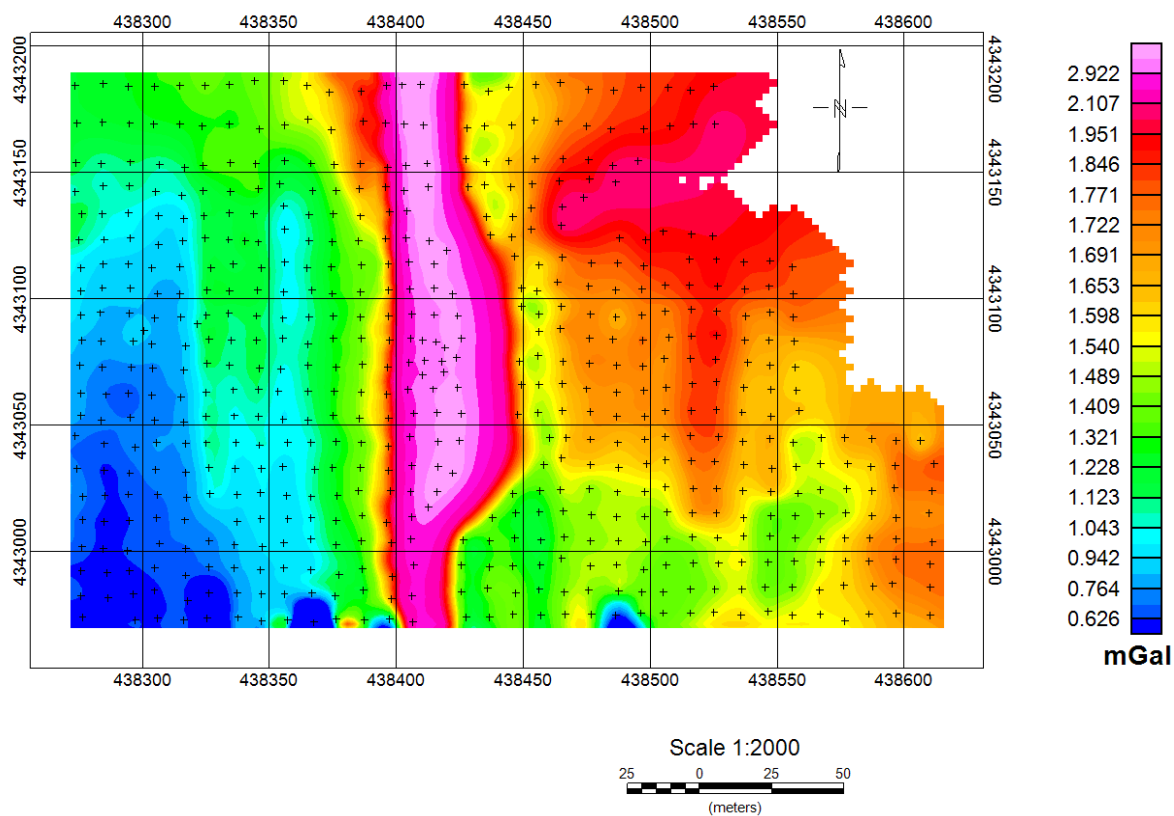


شکل ۴: الف) اثر گرانی منشورهای جدول ۱ به همراه ۵ درصد نوفه گوسی با میانگین صفر. ب) نقشه NAV با مقیاس ناهمسانگردی ۵ و پنجره 17×17 .

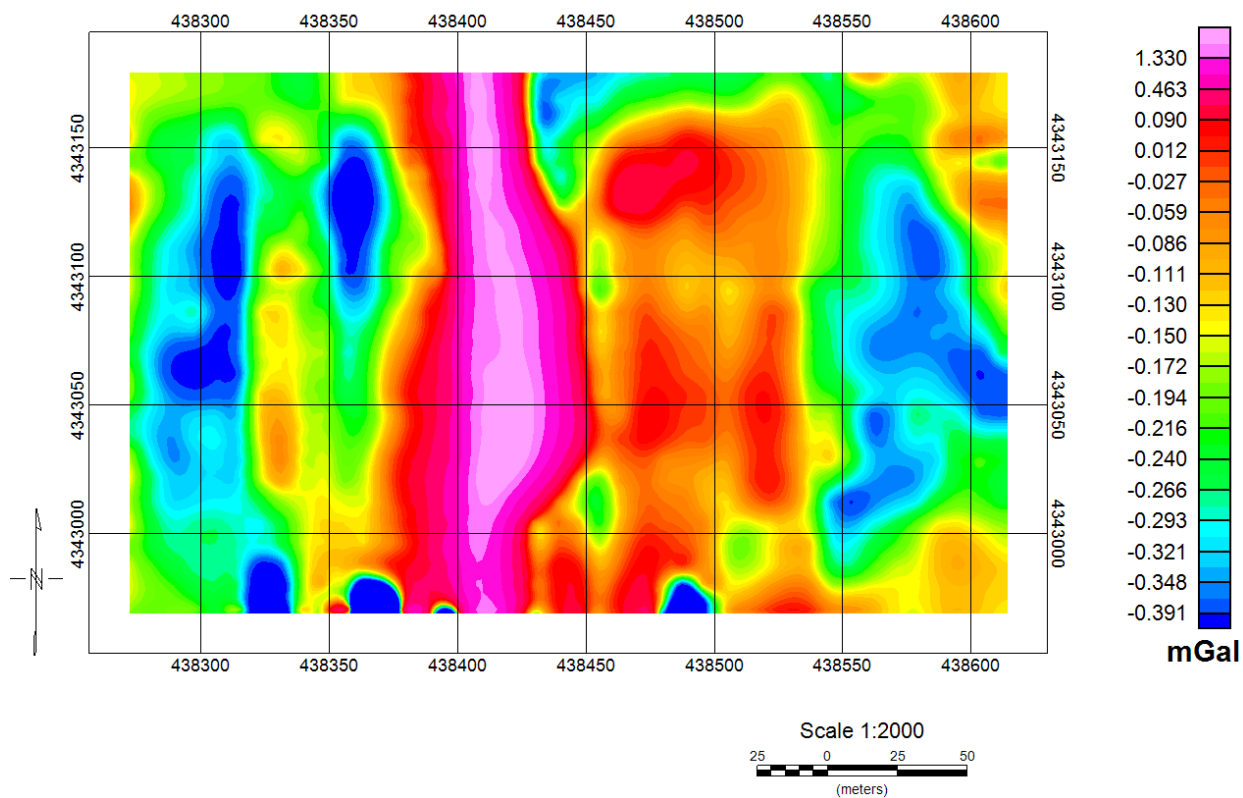


شکل ۵: نقشه ناحیه مورد اکتشاف (چالدران).

صادقی عزیزلو و ابراهیمزاده اردستانی، بررسی قابلیت روش واریانس ناهمسانگردی نرمال شده در تعیین مرز توده های گران، صفحات ۲۰۱-۱۸۹.

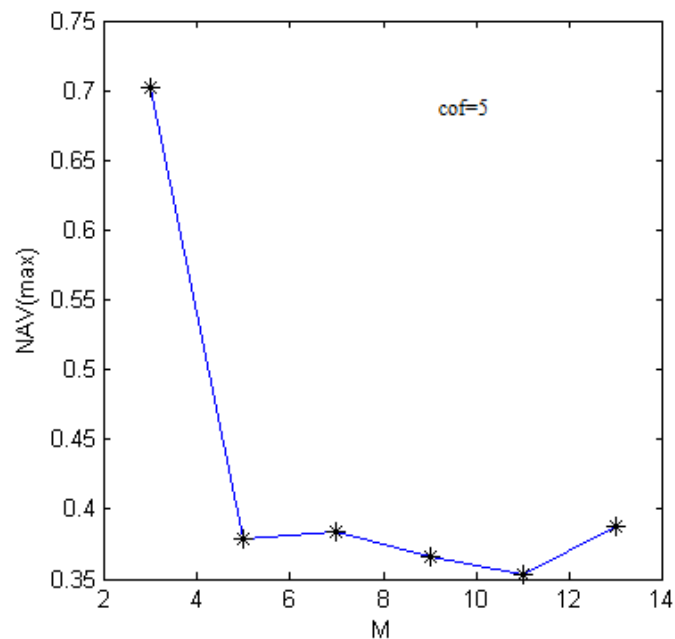


(الف)

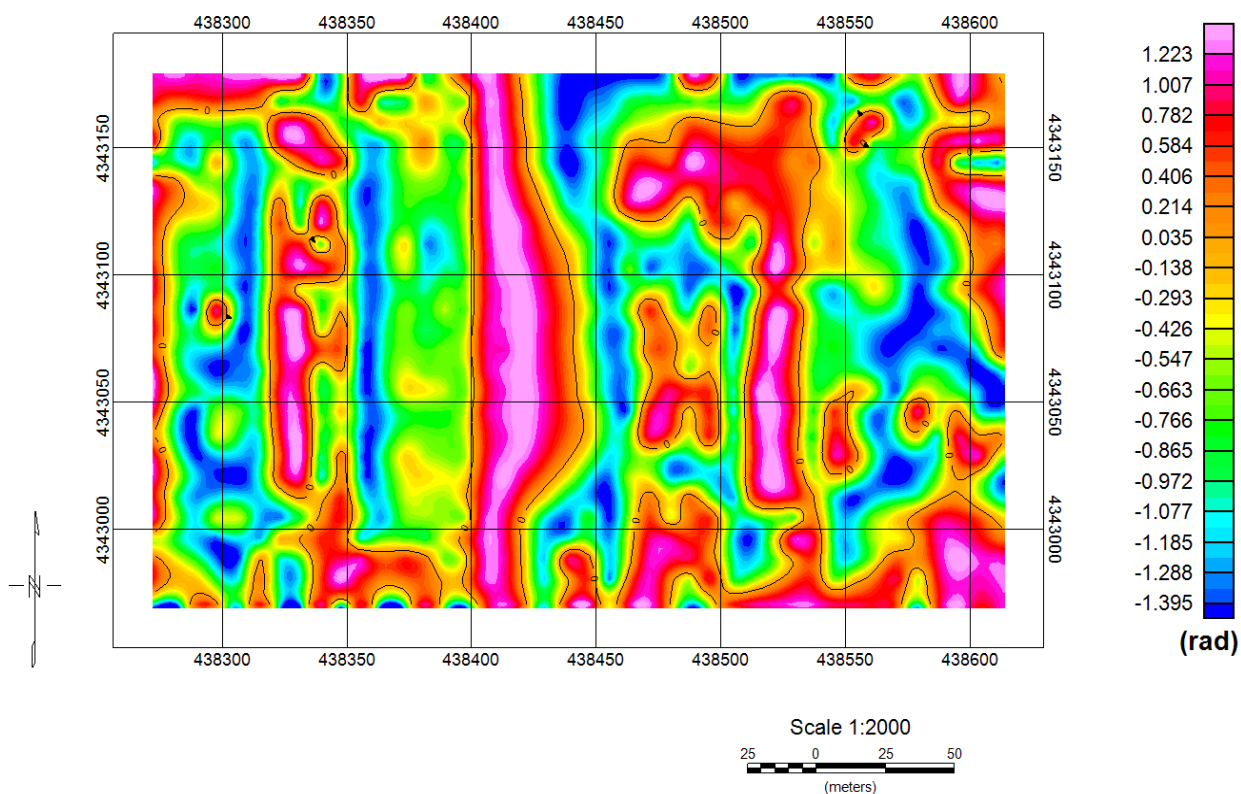


(ب)

شکل ۶: (الف) آنومالی بوگه. (ب) آنومالی باقی مانده، برای داده های گران سنجی معدن منگنز صفو.



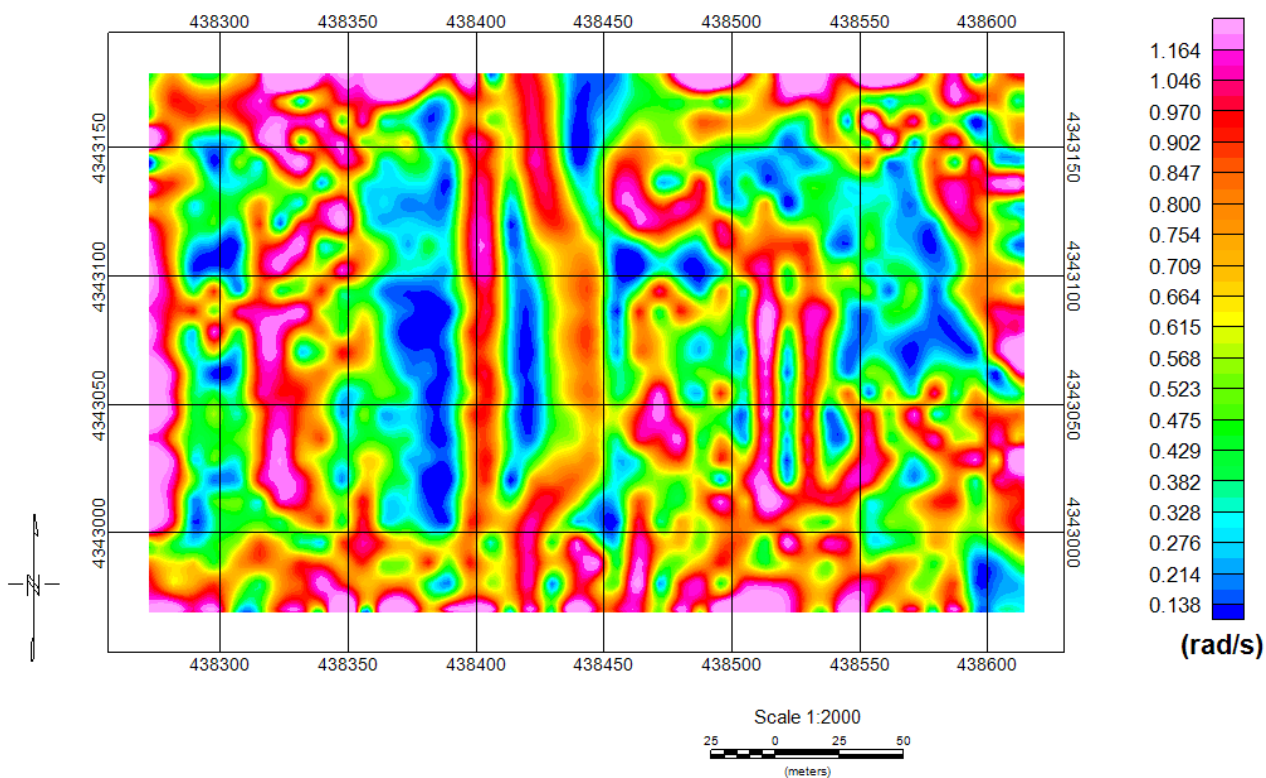
شکل ۷: تغییرات مقدار بیشینه NAV بر حسب عدد پنجره مختلف برای داده‌های معدن منگنز صفو.



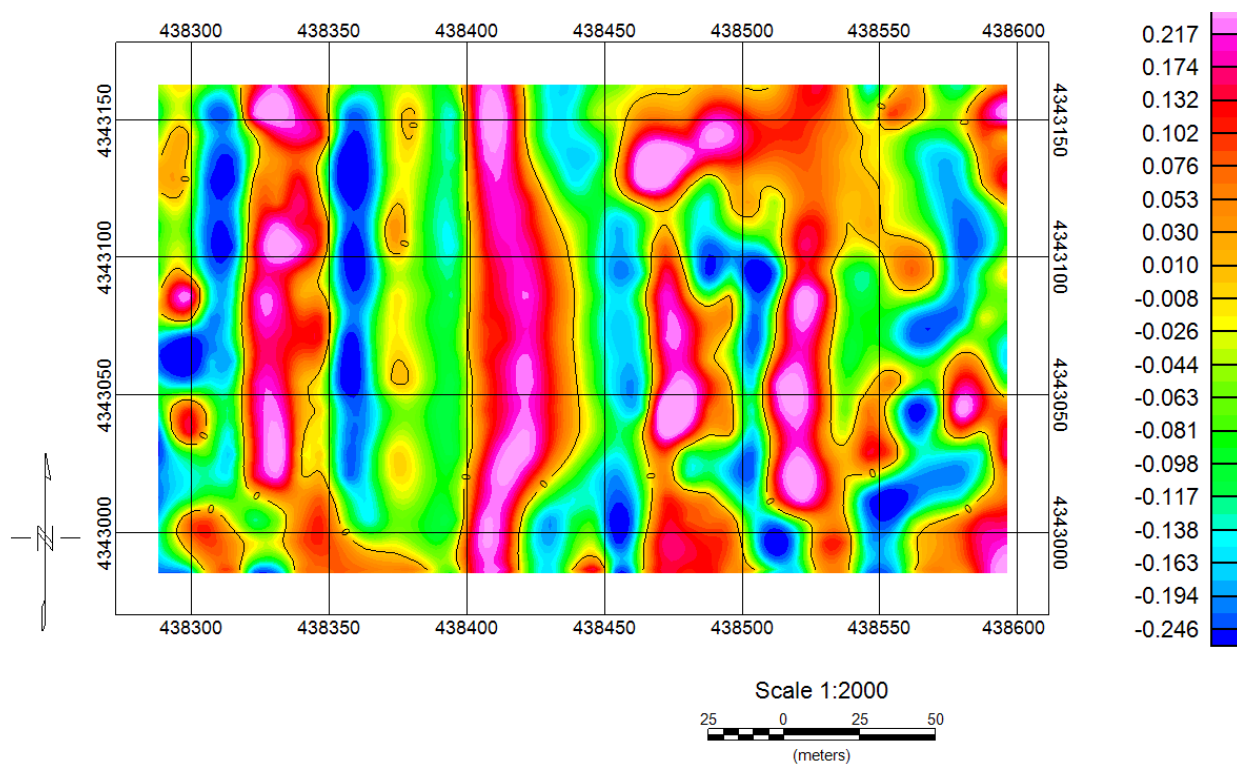
(الف)

شکل ۸: نتایج اعمال فیلترهای تعیین مرز بیان‌شده بر روی داده‌های واقعی گرانی معدن منگنز صفو. الف) نقشه زاویه تمایل. ب) نقشه TDX. ج) نقشه واریانس ناهمسانگردی نرمال‌شده با مقیاس ناهمسانگردی ۵ و ابعاد پنجره ۵×۵.

صادقی عزیزلو و ابراهیمزاده اردستانی، بررسی قابلیت روش واریانس ناهمسانگردی نرمال شده در تعیین مرز توده های گرانی، صفحات ۲۰۱-۱۸۹.



(ب)



(ج)

شکل ۸: ادامه.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش قابلیت روش واریانس ناهمسانگردی نرمال‌شده در برآورد مرز داده‌های مصنوعی و واقعی میدان پتانسیل بررسی شد. یکی از پارامترهای مؤثر بر مقدار NAV عدد پنجره مناسب است؛ که به منظور انتخاب عدد پنجره بهینه از مقادیر بیشینه واریانس ناهمسانگردی نرمال‌شده برای پنجره‌های مختلف، استفاده شد. از مزیت‌های این روش عدم استفاده مشتقات مراتب بالا در محاسبات مربوط به این فیلتر است. از طرفی، مشتق قائم که پیچیدگی‌هایی را برای امر تفسیر به وجود می‌آورد، به کار گرفته نشد. لذا این فیلتر برای منابع عمیق پایداری بیشتری دارد. برای مدل مصنوعی که بر روی هم قرار داشتند، این فیلتر با دقت بالایی مرزهای هر دو مکعب را آشکارسازی کرد؛ در صورتی که فیلتر زاویه تمایل فقط مرز مکعب زیرین را شناسایی نمود. همچنین نشان داده شد که برای داده‌های حاوی نوفه می‌توان با انتخاب عدد پنجره بهینه و افزایش طول پنجره، اثر نوفه را تضعیف کرد. همانند فیلتر زاویه تمایل، مقدار صفر این فیلتر نیز متناظر با مرزهای توده‌های آنومال است. مقدار NAV بر روی آنومالی مثبت و خارج از آن منفی است؛ که می‌توان ناحیه وجود جسم را از سایر نواحی تشخیص داد. مقایسه نتایج اعمال این فیلتر بر روی داده‌های گرانی‌سنجی مصنوعی و واقعی با سایر فیلترهای بیان‌شده نشان می‌دهد که روش NAV نتایج قابل قبولی در حضور و عدم حضور نوفه ارائه می‌دهد. به دلیل این که داده‌های واقعی به کار برده شده از کیفیت بالایی برخوردار بودند، نتایج فیلترهای زاویه تمایل و NAV تا حدودی مشابه هم بودند؛ در صورتی که نوفه موجود در داده‌ها محسوس‌تر باشد، فیلتر زاویه تمایل کارایی خود را از دست می‌دهد.

۷- منابع

ابراهیم‌زاده اردستانی، و.، ۱۳۸۹، گرانی‌سنجی کاربردی، انتشارات

- Cooper, G.R. and Cowan, D.R., 2008, Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics, *Geophysics*, 73 (3), H1-H4.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2006, Enhancing potential field data using filters based on the local phase, *Computers & Geosciences*, 32 (10), 1585-1591.
- Miller, H.G. and Singh, V., 1994, Potential field tilt a new concept for location of potential field sources, *Journal of Applied Geophysics*, 32 (2-3), 213-217.
- Nabighian, M.N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, 37 (3), 507-517.
- Oruç, B. and Selim, H.H., 2011, Interpretation of magnetic data in the Sinop area of Mid Black Sea, Turkey, using tilt derivative, Euler deconvolution, and discrete wavelet transform, *Journal of Applied Geophysics*, 74 (4), 194-204.
- Plouff, D., 1975, Derivation of formulas and FORTRAN programs to compute gravity anomalies of prisms. Final Report, 1973-1974 Geological Survey, Menlo Park, CA., 1.
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, 57 (1), 116-125.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M. and MacKenzie, C., 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping, *The Leading Edge*, 23 (2), 116-119.
- Zhang, H.L., Ravat, D., Marangoni, Y.R. and Hu, X.Y., 2014, NAV-Edge: Edge detection of potential-field sources using normalized anisotropy variance, *Geophysics*, 79 (3), J43-J53.



Investigation of capability of normalized anisotropy variance in edge detection of gravity anomalies

Bahman Sadeghi-Azizloo^{1*} and Vahid Ebrahimzadeh Ardestani²

1- M.Sc. Student, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran/ Center of Excellence in Survey Engineering and Disaster Management, Tehran, Iran

Received: 26 September 2016; Accepted: 14 March 2017

Corresponding author: bsadeghi1989@ut.ac.ir

Keywords

Edge Detection
Potential Field
Horizontal and Vertical Gradient
Normalized Anisotropy Variance
Safo Manganese Mine

Extended Abstract

Summary

To determine the location of subsurface objects from the potential field maps, edge detection methods are used. This methods are mainly derivatives of potential field. For edge detection, several methods or filters such as analytic signal, tilt angle, total horizontal derivative of tilt angle and normalized total horizontal derivative are commonly used in geophysical interpretation. In this regard, the method of normalized anisotropy variance (NAV) for edge detection

is investigated in this paper. This filter directly do not use high-order derivatives, and also, vertical derivative in calculations, thus, stability of noisy data is preserved in this method. One of the effective parameters in the calculation of this method is the optimal window number that is obtained by maximum of variation of normalized anisotropy variance and window number. In order to assess performance of the NAV-method in the edge detection of gravity anomalies, cubic models used with positive and negative density contrast and different depth, and the NAV-method and also the above-mentioned filters were applied to synthetic models and real gravity data of Safo Manganese mine. Consequently, acceptable results from applying the NAV method for edge detection of gravity anomalies were obtained.

Introduction

A variety of techniques based on horizontal and vertical derivatives of potential field data have been developed as effective tools for the edge detection of potential field anomalies. Location of maximum horizontal derivative can be used an indicator of the location of the anomaly's edges. The first vertical derivative (FVD) is positive over the source, zero-crossing value of FVD over the edge, and outside of a vertical sided source is negative. The peaks of the horizontal derivatives indicate the edges and zero over the body. One of the most important problems in using derivative-based edge detection techniques is that the noise in the potential field data increases during the process. Analytic signal is one of the filters that employs both horizontal and vertical derivatives to determine the boundary of the anomalies. Local phase filters are set of filters based on horizontal and vertical derivatives of potential field data that are used in geophysical interpretation. Tilt angle, total horizontal derivative of tilt angle and normalized total horizontal derivative (TDX) are conventional local phase filters that are sensitive to noise. To achieve the best result for edge detection of gravity anomalies, we introduce normalized anisotropy variance or NAV method that reduces sensitivity to noise.

Methodology and Approaches

To determine the edge of subsurface bodies, NAV edge detection filter has been applied to gravity data. The NAV method has been investigated as a tool to detect the edge of anomalies. In this regard, its ability to determine the edge of synthetic models from gravity data, in a noisy and free-noise state has been demonstrated in this paper. Anisotropy scale and window number are two important parameters on the value of the NAV. The anisotropy scale in anomalies separation in the vicinity of each other, is an effective parameter. An empirical approach to select these parameters has been applied. Window number (M) is associated with data quality, for noise-free data M=3 is acceptable. For data that are contaminated with noise, the value of M is determined by variation of the maximum value of NAV with window number. Since the NAV does not use any of higher-order derivatives directly, it is less sensitive to noise than the other methods. In MATLAB platform, a computer program has been prepared and its outputs are extracted.

Results and Conclusions

In this research, capability of NAV method in estimating boundaries of synthetic and real potential field anomalies has been investigated. Vertical derivative that creates complexity for the interpretation, has not been used in this method; hence this method or filter for deep resources is more stable. Similar to tilt angle filter, the zero value of NAV corresponds to the edges of anomalies. The value of the NAV filter is positive over the body and negative out of it; therefore, area of the body can be detected from other parts. The results also show that this method is less sensitive to noise and the boundaries that are determined for the model, are in good accordance with reality. For the model that a small prism superposed on a big prism, the NAV could detect the edges of the superposed prism with high accuracy.
