

طراحی بهینه برداشتهای مغناطیسی با توجه به اثر فاصله گیرنده نسبت به ساختار مدفون

غلامحسین نوروزی

دانشیار گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۰/۷/۷، تاریخ تصویب ۸۱/۳/۴)

چکیده

مطالعه حاضر بدنبال مطالعات قبلی که در ارتباط با طراحی شبکه برداشت در مطالعات مغناطیسی صورت پذیرفته بود جهت نشان دادن اثر عمق دفن ساختارهای مورد تجسس در انتخاب فاصله نقاط برداشت انجام گرفته است. بدین منظور روی ساختارهای مدفون در محوطه ژئومغناطیس موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران پس از اندازه گیری میدان مغناطیسی اثر فاصله نقاط برداشت با تکیه بر مسئله آلیازینگ مورد تحلیل قرار گرفته و برای هر ساختار فاصله بهینه نقاط اندازه گیری مشخص شده است. نتایج حاصل نشان می دهد که جهت تفسیر دقیق ساختارهای مدفون از دید مطالعات مغناطیسی بایستی فاصله ۰/۵ تا ۱ متر برای ساختار ورقه ای شکل ۲/۵ متر برای ساختار گسلی و ۱ متر برای ساختار استوانه ای مدنظر قرار گیرد.

واژه های کلیدی: مغناطیس، آلیازینگ، توان طیف، توان آلیاز شده، ساختارهای مدفون، نقاط برداشت

مقدمه

در فرهنگ مطالعات مغناطیسی هر توزیع مغناطیسی $m_a(x,y,z)$ قابل جایگزین شدن توسط یک توزیع مغناطیسی صفحه ای مانند $m_s(x,y,z)$ (عمق دفن لایه معادل: d) می باشد. رابطه پتانسیل مغناطیسی مربوط به توزیع صفحه ای عبارتست از:

$$U_{m(x,y,h)} = \partial / \partial k \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} ms(\alpha, \beta, d) / [(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (d - h)^2]^{1/2} d\alpha d\beta$$

با استفاده از رابطه فوق رابطه طیفی میدان مغناطیسی مربوط به لایه های معادل برابر خواهد بود با [۲]:

$$Mf(u, v, d) = 2\pi [iLu + iMv + N(u^2 + v^2)^{1/2}] [ilu + imv + n(u^2 + v^2)^{1/2}] ms(u, v, d) \exp [-(d-h)(u^2 + v^2)^{1/2}] / (u^2 + v^2)^{1/2} \quad (1)$$

عدد موهومی: i

پیش از این باتوجه به ساختارهای مدفون در محوطه ژئومغناطیس موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران طراحی بهینه برداشتهای مغناطیسی در ارتباط با اثر تغییرات فاصله شبکه برداشت مربعی بدون توجه به عمق دفن ساختارها مورد بحث قرار گرفته است [۱]. در نوشته حاضر با توجه به عمق دفن ساختارها اثر تغییر فاصله ایستگاههای اندازه گیری بر شکل تغییرات بیهنجاریهای مغناطیسی مورد بررسی قرار میگیرد. بدین منظور از مسئله آلیازینگ استفاده شده که در آن با توجه به فرم طیفی میدان بیهنجاری مغناطیسی و از طریق به حداقل رساندن توان آلیاز شده فاصله بهینه نقاط برداشت در ارتباط با فاصله گیرنده دستگاه نسبت به ساختار مدفون بررسی شده است.

رابطه طیفی میدان مغناطیسی برحسب لایه معادل

برای یک برداشت مغناطیسی با فاصله ایستگاهی Δx طول موج نایکیست (λ_N) برابر است با:

$$\lambda_N = 2\Delta x$$

بدین ترتیب عدد موجی نایکیست (r_N) از رابطه $r_N = 2\pi / \lambda_N = \pi / \Delta x$ بدست می آید. با جایگزین کردن مقدار r_N در رابطه (۵) توان آلیاز شده بصورت زیر در می آید:

$$F_M = [2(\pi d / \Delta x)^2 + 2\pi d / \Delta x + 1] \exp(-2\pi d / \Delta x)$$

بدین ترتیب می توان تغییرات درصد توان آلیاز شده را بر حسب نسبت $d / \Delta x$ یعنی فاصله ساختار مغناطیسی تا گیرنده دستگاه به فاصله ایستگاههای شبکه برداشت بدست آورد (شکل ۱).

همانطور که در شکل دیده می شود با افزایش فاصله ایستگاههای اندازه گیری توان آلیاز شده بصورت نمایی افزایش می یابد که نتیجه آن بدست آمدن بی هنجاریهای مغناطیسی با توان آلیاز شده زیاد و در نتیجه تفسیر نادرست آنهاست.

شکل ۱: تغییرات درصد توان آلیاز شده بر حسب $d / \Delta x$

طراحی برداشتهای مغناطیسی با توجه به فاصله نقاط برداشت و عمق دفن ساختارها

جهت بررسی عملی ارتباط فاصله ایستگاههای اندازه گیری و عمق دفن ساختارهای مغناطیسی از ساختارهای آهنی که در محوطه ژئومغناطیس مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران دفن گردیده استفاده شده است [۱]. مشخصات و عمق دفن ساختارها در جدول (۱) داده شده است (شکل ۲).

توان طیف و توان آلیاز شده

در صورتیکه صفحه برداشت بعنوان مبنا در نظر گرفته شود ($h=0$)، رابطه (۱) به شکل زیر در می آید:

$$Mf(u, v, d) = 2\pi(iLu + iMv + Nr) (ilu + imv + nr)m_s(u, v, d)[\exp(-d.r)] / r$$

که در آن (r) عدد موجی و برابر $(u^2 + v^2)^{1/2}$ می باشد. جهت ساده تر شدن رابطه فوق میدان مغناطیسی انتقال یافته به قطب را بدست می آوریم. در اینجا $N = n = l = M = L = 0$ بنا براین میدان در قطب برابر است با:

$$Mf(u, v, d) = 2\pi m_s(u, v)r \exp(-d.r) \quad (2)$$

توان طیف $E(r)$ که اولین بار توسط با تا چاریا^۱ داده شده است در مختصات عدد موجی برابر توان دوم رابطه (۲) است:

$$E(r) = 4\pi^2 m_s^2(u, v)r^2 \exp(-2d.r) \quad (3)$$

قسمتی از توان که آلیاز می شود مطابق رابطه زیر تعریف می شود [۳]:

$$F_M = [\int_{r_N}^{\infty} E(r)dr] \div [\int_0^{\infty} E(r)dr] \quad (4)$$

که در آن r_N عدد موجی نایکیست و برابر $2\pi / \lambda_N$ می باشد (λ_N عبا رتست از طول موج نایکیست).

انتگرال $\int_0^{\infty} E(r)dr$ در رابطه (۴) بیانگر تمامی طول موجها در تابع طیف است و انتگرال $\int_{r_N}^{\infty} E(r)dr$ بیانگر طول موجهای کمتر از طول موج نایکیست است که در طول موجهای بزرگتر آلیاز می شود. مقدار توان آلیاز شده برای رابطه (۳) با توجه به رابطه (۴) عبا رتست از:

$$F_M = [2(d.r_N)^2 + 2d.r_N + 1] \exp(-2d.r_N) \quad (5)$$

طراحی شبکه برداشت مغناطیسی با توجه به توان آلیاز شده

است. فاصله سنسور دستگاه تا سطح زمین برابر ۲/۵ متر می باشد. تغییرات روزانه میدان مغناطیسی زمین با استفاده از تکرار اندازه گیری در یک ایستگاه مبنا کنترل شده است.

اندازه گیریهای میدان مغناطیسی

اندازه گیریها روی پروفیلهای عمود بر امتداد ساختارها توسط یک مگنتومتر پروتون صورت گرفته

جدول ۱: مشخصات و عمق دفن ساختارها.

ساختارها	درازا (متر)	پهنا یا قطر (متر)	ضخامت (میلیمتر)	عمق دفن (متر)
ورقه (لایه ای)	۶	۱/۵	حدود ۱۰	۱
گسلی (جابجائی قائم)	۱۲	۱/۵	حدود ۱۰	۰/۷۵ (مرکز گسل)
استوانه ای	۵/۵	۰/۵	حدود ۵	۰/۷۵ (محور استوانه)

شکل ۲: نقشه محوطه مورد مطالعه و موقعیت ساختارهای دفن شده.
جدول ۲: نتایج حاصل برای ساختار ورقه ای شکل.

توان آلیاز شده (%)	خطای ارزیابی مقدار Z (%)	فاصله ورقه از گیرنده دستگاه (Z) متر	اختلاف فاصله مرکز ورقه از مقدار حاصل از منحنی (متر)	فاصله ایستگاهها (متر) (Δx)
$۸ * ۱۰^{-۱۵}$	۲۷	۲/۵۶	۱	۰/۵
$۷/۴ * ۱۰^{-۶}$	۱۴۷	۸/۶۴	۱	۱
$۵/۲۸ * ۱۰ * x^{-۳}$	۱۶۸	۹/۳۸	۹/۱۵	۱/۵
۰/۱۲	۱۷۰	۹/۴۵	۹/۹۱	۲
۰/۷۳	۱۶۶	۹/۳۰	۹/۲۵	۲/۵
۲/۳	۱۷۰	۹/۴۸	۹/۲۵	۳

مسئله با توجه به اینکه در صد توان آلیاز شده برای این فواصل بسیار کوچک میباشد توجیه پذیر است. از دید تفسیر کمی یا به بیان دیگر مدلسازی ساختار تنها برای فاصله برداشت ۰/۵ متر مقادیر خطا با توجه به روش مغناطیسی که بهر حال دارای خطاهای ماهیتی است (مانند اثر میدان و امغانطیده برای ساختارهای با خود پذیری مغناطیسی زیاد) قابل قبول میباشد. چنانکه در جدول (۲) مشاهده میشود برای فاصله ۰/۵ متر ارزیابی محل مرکز ساختار از محل واقعی آن حدود ۱ متر فاصله دارد و مقدار فاصله بین گیرنده دستگاه و ورقه مدفون که از منحنی بدست می آید حدود ۰/۲۷٪ با مقدار واقعی آن اختلاف دارد (مقداری از این خطا نیز مربوط به روش تعیین این پارامترهاست). برای فاصله برداشت ۱ متر فقط تعیین محل مرکز ورقه همانند فاصله ۰/۵ متر است ولی فاصله ورقه از گیرنده به مقدار ۸/۶۴ متر میرسد که خطای آن برابر ۱۴۷٪ میباشد. برای فاصله های ۱/۵ تا ۳ متر شاهد افزایش قابل توجه خطای ارزیابی محل ورقه و فاصله آن از گیرنده دستگاه میشویم بطوریکه این مقادیر از ۹/۱۵ تا ۹/۹۱ متر (برای محل مرکز ورقه) و افزایش خطای ارزیابی Z تا ۱۷۰٪ میباشد. این مسئله بدلیل آلیاز شدن فرکانسهای بالا میباشد که عمده اطلاعات مربوط به مدلسازی در این فرکانسها قرار دارد. البته باید متذکر گردید که در ارتباط با ساختارهای معدنی واقعی که گسترش و عمق دفن آنها از ساختار ورقه مدفون در اینجا

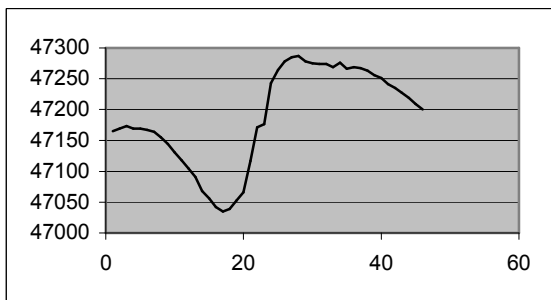
فاصله ایستگاههای اندازه گیری ۰/۵ متر در نظر گرفته شده و تغییرات بیهنجاری مغناطیسی در بالای هر ساختار برای فواصل مختلف فاصله اندازه گیری رسم شده است.

الف- منحنیهای تغییرات بیهنجاری مغناطیسی ساختار ورقه ای و محاسبه توان آلیاز شده

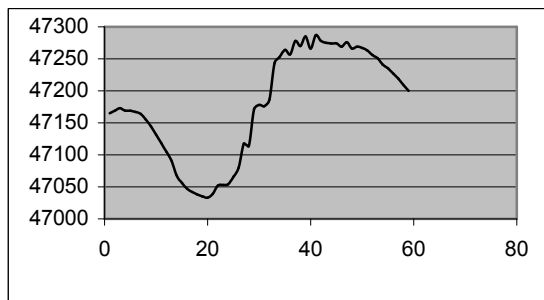
در روی یک پروفیل شمالی - جنوبی (عمود بر امتداد ورقه) پس از اندازه گیری میدان مغناطیسی در نقاطی به فاصله ۰/۵ متر (این فاصله در محدوده ورقه به ۰/۲۵ متر کاهش یافته است) منحنی تغییرات میدان مغناطیسی برای فاصله های ایستگاهی ۰/۵ تا ۳ متر با بازه ۰/۵ متر رسم شده است (شکل ۳: منحنیهای ۱-۱ تا ۱-۶). جهت مقایسه منحنیها و نتایج حاصل از آن علاوه بر مقایسه کیفی شکلها از روش پاراسنیس [۴] برای تعیین مرکز (X) و عمق دفن ورقه استفاده شده است. نتایج حاصل و مقدار درصد توان آلیاز شده در جدول (۲) داده شده است.

از نظر کیفی شکل منحنیها به ازای فاصله های مختلف ایستگاههای برداشت دارای یک مینیمم و یک ماکزیمم هستند که بیانگر بازتاب اثر ورقه بصورت دو قطبی است. این منحنیها از نظر شکل ظاهری برای فاصله های ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ متر بسیار شبیه هم هستند بطوریکه تشخیص اثر آلیازینگ بصورت کیفی به سختی امکان پذیر میباشد. این

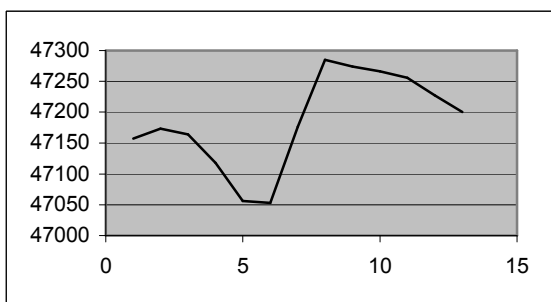
بطور معمول بسیار بیشتر است، توان آلیاز شده قابل قبول میتواند بسیار بیشتر از آنچه که در اینجا بدست آمده باشد.



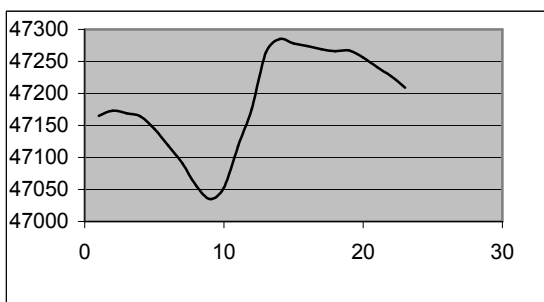
(۲)



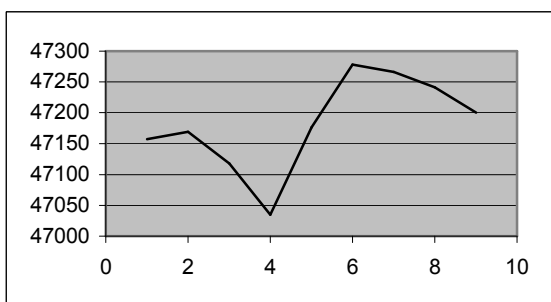
(۱)



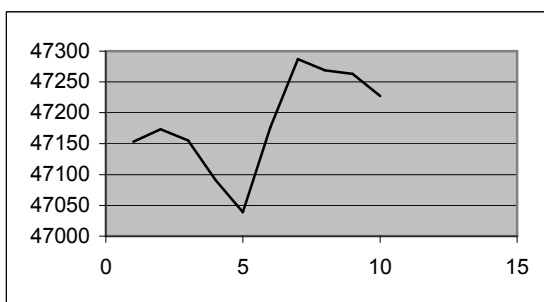
(۴)



(۳)



(۶)



(۵)

شکل ۳: منحنیهای ۱ تا ۶ تغییرات بی هنجاری مغناطیسی حاصل از ساختار ورقه ای را برای فواصل برداشت ۰/۵ تا ۳ متر نشان می دهند.

۰/۵ متر که در محدوده ورقه ها به ۰/۲۵ متر کاهش یافته روی این ساختار به اجرا در آمده است.

شکل (۴) منحنیهای ۱ تا ۷ تغییرات میدان مغناطیسی را روی این پروفیل برای فاصله های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ متر نشان میدهند. همانطور که دیده میشود تغییرات میدان از فاصله برداشت ۰/۵ تا ۳ متر تفاوت چشمگیری ندارند، اگر چه افزایش توان آلیاز شده (جدول ۳) بهر حال باعث تفاوتی در تغییرات آنها گردیده است. اما منحنی مربوط به فاصله برداشت ۳/۵

ب- منحنیهای تغییرات بیهنجاریهای مغناطیسی ساختار گسلی ومحاسبه توان آلیاز شده

این ساختار شامل دو ورقه آهنی به درازای ۶ متر و پهنای ۱/۵ متر میباشد که ورقه شمالی در عمق ۰/۵ متر و ورقه جنوبی در عمق ۱ متر دفن شده است. بدین ترتیب یک جابجائی ۰/۵ متری قائم بین دو ورقه وجود دارد. یک پروفیل شمالی-جنوبی (عمود بر صفحه ناپیوستگی) برداشتهای مغناطیسی به فاصله ایستگاهی

تداعی نمی کند. علت این امر قرارگیری یک میله آهنی روی زمین و در فاصله حدود ۱۸ متری ساختار استوانه ای مدفون است، که باعث تداخل اثر میدان مغناطیسی میله مذکور روی بخش شمال غربی پروفیل برداشت گردیده است (شکل ۲).

فاصله شروع پروفیل برداشت از میله حدود ۷ متر می باشد. این موضوع روی نقشه بی هنجاری مغناطیسی که پیش از این تهیه شده بخوبی نشان داده شده است [۱].

بدلیل پیش گفته شکل واقعی میدان مغناطیسی حاصل از ساختار استوانه ای حتی با فاصله برداشت ۰/۲۵ متر هم بدست نیامده است. اما جهت مقایسه منحنیها علاوه بر مقدار توان آلیاز شده فاصله نقطه ماکزیمم آنها از محل مرکز استوانه مدنظر قرار گرفته است (جدول ۴).

جدول ۴: نتایج حاصل برای ساختار استوانه ای.

فاصله ایستگاهها (متر)	اختلاف فاصله مرکز استوانه از نقطه مرکزی منحنی (متر)	توان آلیاز شده (%)
۰/۵	۱	$1/6 \times 10^{-13}$
۱	۱	$3/1 \times 10^{-5}$
۱/۵	۱/۵	$1/31 \times 10^{-2}$
۲	۲	۰/۲۳
۲/۵	۲	۱/۲
۳	۲	۳/۴۹

همانطور که دیده می شود درصد توان آلیاز شده برای فاصله برداشت ۰/۵ متر بسیار کوچک است و اختلاف مرکز استوانه از نقطه ماکزیمم برابر ۱ متر می باشد که این مقدار برای فاصله برداشت ۱ متر ثابت باقی می ماند ضمن اینکه دو منحنی مربوط به فاصله های برداشت ۰/۵ و ۱ متر (منحنی ۱ و ۲) تفاوت مشخصی با یکدیگر ندارند. شکل منحنی مربوط به فاصله برداشت ۱/۵ متر (منحنی ۳) تفاوت محسوسی با دو منحنی قبلی دارد ضمن اینکه با افزایش درصد توان آلیاز شده فاصله ماکزیمم منحنی نیز از مرکز استوانه به ۱/۵ متر افزایش می یابد. منحنیهای (۴)، (۵) و (۶) ضمن تفاوت مشخص با منحنیهای قبلی

متر با بقیه تفاوت آشکارتری دارد که مهمترین آن از بین رفتن تغییرات کوچکتر مربوط به شاخه منفی منحنی (قسمت چپ منحنی) میباشد که بیانگر آلیاز شدن فرکانسهای کوچک میباشد.

اگر برای مقایسه ۶ منحنی اول نقاط خاصی را مد نظر قرار دهیم (جدول ۳) چنانکه دیده میشود مقدار توان آلیاز شده از مقادیر بسیار کوچک برای فاصله برداشت ۰/۵ متر شروع شده و تا حدود ۲/۳٪ برای فاصله ۳ متر میرسد. از نظر تعیین محل ناپیوستگی (صفحه گسل) و شروع ورقه شمالی تفاوت چشمگیری بین نتایج حاصل از منحنیهای مختلف وجود ندارد، ضمن اینکه روند تغییرات کوچکی هم که وجود دارد از مقدار توان آلیاز شده پیروی نمیکند. اما فاصله نقطه ماکزیمم منحنیها تا انتهای ورقه جنوبی بطور مشخص از مقدار توان آلیاز شده ۱/۲٪ (فاصله برداشت ۲/۵ متر) به بالا افزایش می یابد (جدول ۳).

بدین ترتیب میتوان گفت که جهت تفسیر دقیق این ساختار یا به بیان دیگر مدلسازی آن بایستی حداکثر فاصله برداشت ۲/۵ متر را در نظر گرفت.

ج - منحنی های تغییرات بی هنجاری مغناطیسی ساختار استوانه ای و محاسبه توان آلیاز شده

این ساختار به شکل یک استوانه توخالی با قطر تقریبی ۰/۵ متر در راستای شمال شرقی - جنوب غربی بصورت افقی طوری دفن شده که فاصله محور آن تا سطح زمین ۰/۷۵ متر می باشد. روی پروفیلی عمود بر راستای استوانه ایستگاههای اندازه گیری به فاصله ۰/۵ متر (این فاصله در محدوده استوانه به ۰/۲۵ متر کاهش یافته است) به اجرا در آمده است. شکل (۵) منحنیهای تغییرات بی هنجاری مغناطیسی را برای فاصله های برداشت ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ متر نشان می دهد.

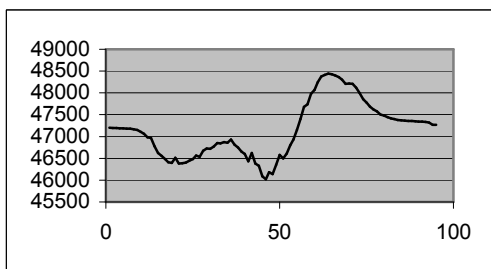
بطور معمول تغییرات میدان مغناطیسی یک چنین ساختاری بایستی به صورت دو قطبی ظاهر گردد که در اینجا شاخه مربوط به قسمت شمال غربی پروفیل برداشت به جای شروع شدن از مقادیر معمول محوطه برداشت (حدود ۴۷۱۸۰ گاما) و رسیدن به مقادیر منفی (قطب منفی) بطور مستقیم از مقادیر منفی (حدود ۳۸۰- تا ۲۸۰- گاما) شروع شده که در نتیجه شکل دو قطبی را

یعنی فاصله برداشت ۱ متر را بتوان برای شناخت تفصیلی این ساختار منطقی دانست.

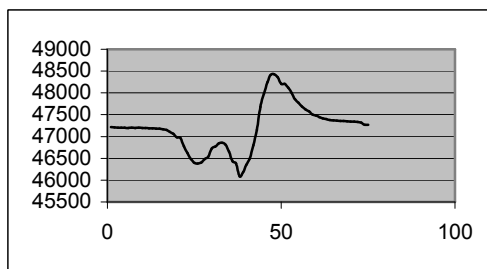
(بخصوص منحنی های ۱ و ۲) از نظر فاصله گفته شده نیز افزایش مشخصی را نشان می دهند، که هماهنگ با افزایش درصد توان آلیاز شده می باشد. بدین ترتیب به نظر می رسد یک حد درصد توان آلیاز شده $10^{-5} * 3/1$

جدول ۳: نتایج حاصل برای ساختار گسلی.

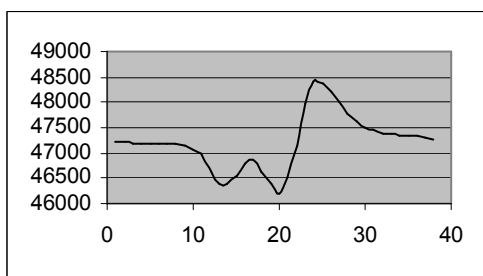
فاصله ایستگاهها (متر)	فاصله مینیمم (۱) از ابتدای ورقه شمالی (متر)	فاصله مینیمم (۲) از صفحه ناپیوستگی (متر)	فاصله ماکزیمم منحنی از انتهای ورقه جنوبی (متر)	توان آلیاز شده %
۰/۵	۱/۲۵	۱/۵	۰	$10^{-4} * 1/6$
۱	۰/۷۵	۲	۰	$10^{-5} * 3/1$
۱/۵	۱/۲۵	۱/۵	۰	$10^{-4} * 1/3$
۲	۱/۷۵	۲	۰	۰/۲۳
۲/۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۵	۱/۲
۳	۰/۷۵	۱	۲	۳/۴۹



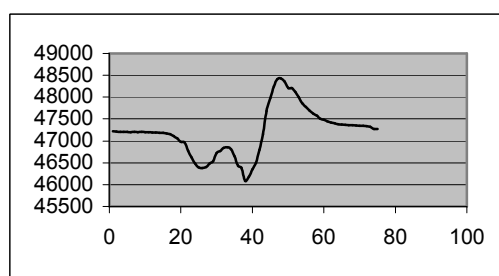
(۲)



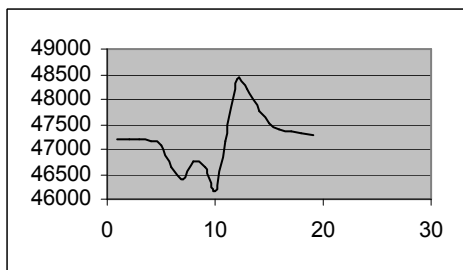
(۱)



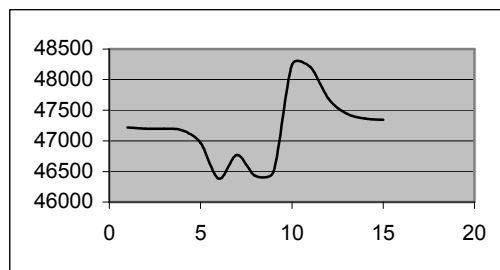
(۴)



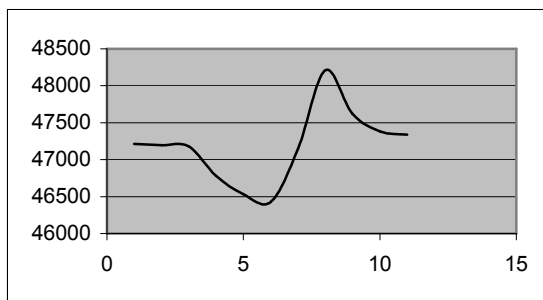
(۳)



(۶)

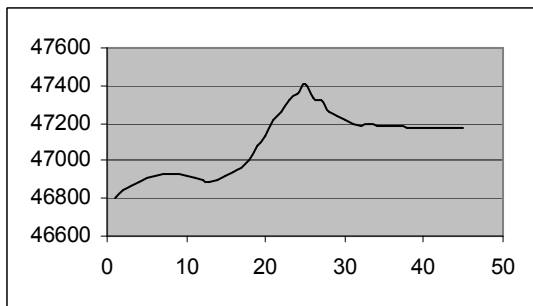


(۵)

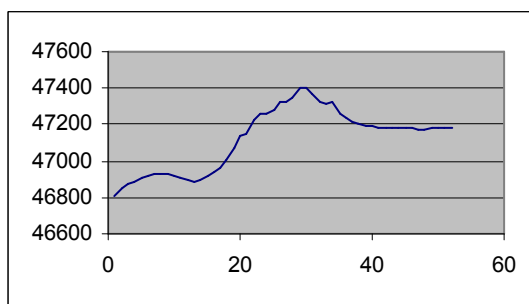


(۷)

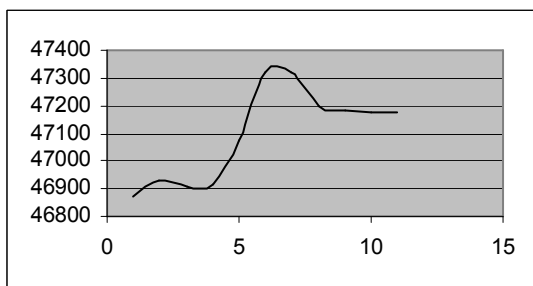
شکل ۴: منحنیهای ۱ تا ۷ تغییرات بی هنجاری مغناطیسی حاصل از ساختار گسله را برای فواصل برداشت ۰/۵ تا ۳/۵ متر نشان می دهند.



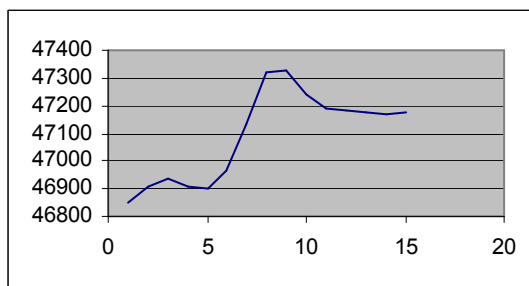
(۲)



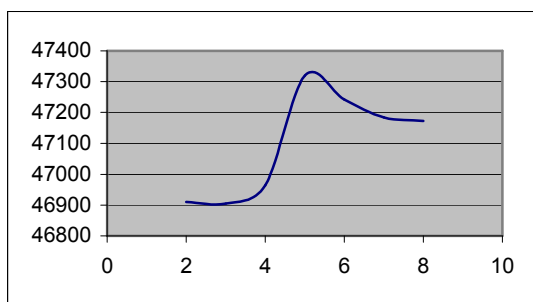
(۱)



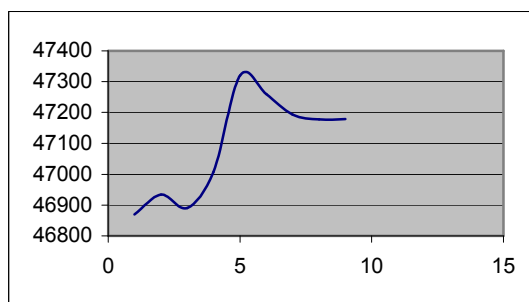
(۴)



(۳)



(۶)



(۵)

شکل ۵: منحنیهای ۱ تا ۶ تغییرات بی هنجاری مغناطیسی حاصل از ساختار استوانه ای را برای فواصل برداشت ۰/۵ تا ۳ متر نشان می دهند.

گرانی از مقدار درصد توان آلیاز شده جهت درجه اعتماد به داده های برداشتی استفاده کرد. عدم توجه به پارامترهای ژئومتری و عمق دفن تقریبی ساختارها در طراحی شبکه برداشت، در نهایت روی نقشه ها و مقاطع مربوط به شکل آلیازینگ پدیدار گشته و موجب تفسیر نادرست بی هنجاریها می گردد.

بنابراین پیشنهاد می شود در طراحی شبکه برداشتهای ژئوفیزیکی با تکیه بر تئوریهای احتمال کشف که بیانگر احتمال تعداد نقاط اندازه گیری واقع در بالای ساختار مورد هدف می باشد، مسئله از نظر عمق دفن تقریبی ساختار نیز مورد توجه قرار گیرد. تعداد نقاط برداشتی که تابعی از شکل و گسترش آن و نیز شکل و فاصله شبکه برداشت می باشد، همانند اثر عمق دفن ساختار می تواند بصورت تغییر در توان آلیاز شده ظاهر گردد.

نتیجه گیری و پیشنهاد

در مطالعه حاضر که به دنبال مطالعات قبلی در ارتباط با طراحی شبکه برداشت در مطالعات مغناطیسی [۱] و مدلسازی بی هنجاریهای مولفه قائم مغناطیسی چند شکل ساده هندسی [۵] صورت گرفته است، نشان داده شد، که علاوه بر مسائلی که در طراحی شبکه برداشت براساس محاسبه احتمال کشف مطرح می باشد عمق دفن هدف مورد نظر نیز در این طراحی حائز اهمیت است.

نتایج حاصل نشان می دهد که جهت شناخت دقیق ساختارهای مدفون بایستی فاصله های برداشت به ترتیب ۰/۵ تا ۱ متر برای ورقه، ۲/۵ متر برای گسل و ۱ متر برای استوانه در نظر گرفته شود. این مقادیر با نتایج مطالعاتی که پیش از این در ارتباط با مدلسازی صورت گرفته و فاصله نقاط برداشتی بدون توجه به مسئله آلیازینگ، ۱ متر انتخاب شده بود هماهنگی نشان می دهد [۵]. بدین ترتیب میتوان برای برداشتهای مغناطیسی و

مراجع

- ۱ - نوروزی، غ. ح. "طراحی بهینه شبکه برداشت در مطالعات مغناطیسی." نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۰، شماره ۲، شماره پیاپی ۶۰، آذرماه (۱۳۷۶).
- 2 - Gunn, P. J. (1975). Linear transformation of gravity and magnetic field." *Geophysical Prospecting*, No. 23, PP. 300-312.
- 3 - Reid, A. B. (1980), "Aeromagnetic Survey design." *Geophysics*, Vol. 45, No. 5, PP. 973-976.
- 4 - Reynolds, J. M. (1998). *An introduction to applied and environmental geophysics*, John Wiley & Sons Ltd.
- ۵ - نوروزی، غ. ح. "مدلسازی آنومالیهای مولفه قائم مغناطیسی چندشکل ساده هندسی." نشریه علمی - پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، سال یازدهم، شماره ۴۲، پاییز و زمستان (۱۳۷۸).