

## طراحی بهینه شبکه برداشت در مطالعات مغناطیسی

غلامحسین نوروزی

استادیار گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

### چکیده

هدف از مطالعه حاضر بررسی و معرفی پارامترهایی است که در طراحی بهینه یک شبکه برداشت ژئوفیزیکی مطرح می‌باشد. بدین منظور سه ساختار آهنی به شکل‌های ورقه‌ای، گسلی و استوانه‌ای در محوطه پایگاه ژئومغناطیس مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در محله‌های از پیش تعیین شده در عمق‌های ۵/۰ تا یک متر دفن گردید.

با توجه به استفاده از تئوریهای احتمالی هندسی که چندین سال است بطور جدی در طراحی شبکه‌های برداشتهای اکتشافی و از جمله ژئوفیزیک در کشورهای پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرد، برداشتهای مغناطیسی روی ساختارهای مذکور توسط سه شبکه مربعی با ابعاد ۳×۳ متر، ۶×۶ متر و ۹×۹ متر صورت پذیرفته است. با ترسیم نقشه‌های آنومالی مغناطیسی و تفسیر آنها، کارآیی هر یک از شبکه‌ها در شناخت دقیقتر ساختارها مورد بحث قرار گرفته است. در پایان نیز با محاسبه احتمال کشف و هزینه برداشتهای پارامترهای قابل اهمیتی که در طراحی بهینه یک شبکه برداشت ژئوفیزیکی مطرح می‌باشند، معرفی شده است.

### ۱ - مقدمه

ج - اثر امتداد شبکه برداشت نسبت به امتداد ساختارها.

د - اثر فاصله گیرنده دستگاه اندازه‌گیری نسبت به ساختار (جمع عمق ساختار و فاصله‌گیرنده دستگاه از سطح زمین)

طبیعی است که براساس مساحت محدوده مورد تجسس، بحث مربوط به هزینه برداشتهای نیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است که می‌تواند در مطالعات بهینه‌سازی مورد توجه قرار گیرد.

ما در سلسله مقالاتی برآنیم که با بهره‌گیری از این کارگاه مطالعاتی و با توجه به تئوریهای احتمالات هندسی که چندین سال است بصورت جدی‌تر در مطالعات اکتشافی و از جمله ژئوفیزیک مطرح می‌باشد، اثر هر یک از پارامترهای گفته‌شده را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در مقاله حاضر با طرح عدم شناخت امتداد ساختارهای مدفون یعنی در نظر گرفتن یک امتداد

بدنبال پیشنهاد یک طرح تحقیقاتی و تصویب آن در شورای پژوهشی دانشگاه تهران، در محوطه‌ای به ابعاد ۱۶۰×۱۰۰ متر از زمینهای مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، سه ساختار از جنس آهن به شکل‌های ورقه‌ای به ابعاد ۶×۱/۵ متر، گسلی (دوورقه کنار هم و واقع در عمقهای متفاوت) به ابعاد ۱۲×۱/۵ متر و استوانه توخالی به قطر ۵/۰ متر و طول حدود ۵/۵ متر در عمق‌های ۵/۰ تا یک متر در زیر زمین مدفون گردید. پیش از آن نیز یک ساختار میله‌ای (تیرآهن) به طول حدود ۶ متر در عمق ۵/۰ متری از سطح زمین دفن گردیده بود.

با توجه به برپایی این کارگاه مطالعاتی می‌توان از دیدگاههای مختلف روی طراحی بهینه شبکه برداشتهای ژئوفیزیکی در ارتباط با مطالعه ساختارهای مختلف بحث کرد:

الف - اثر شکل شبکه برداشت.

ب - اثر فاصله شبکه برداشت.

پارامترهای احتمال پذیر که در ارتباط با شکل، ابعاد، امتداد، شیب و عمق کانسار هستند، و دسته دیگر پارامترهای قطعیت پذیر که شامل شکل شبکه برداشت، فاصله شبکه و امتداد آن نسبت به امتداد کانسار می‌باشند.

با یک دید کلی، شکل کانسارها را میتوان با تعریف پارامتری بنام ضریب شکل ( $R_t$ ) که حاصل نسبت پهنای کانسار (B) به درازای (L) آن است به سه دسته خطی ( $R_t = 0/1$ )، بیضی ( $R_t = 0/5$ ) و دایره‌ای ( $R_t = 0/9$ ) تقسیم کرد.

برای شبکه برداشت، شکلهای مربعی با ابعاد  $S \times S$ ، مستطیلی با ابعاد  $S \times T$  ( $T > S$ ) و موازی با فاصله S را بطور معمول می‌توان در نظر گرفت (شکل‌های دیگر مانند لوزی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند). در صورتیکه امتداد کانسار ناشناخته باشد، شبکه برداشت مناسب، مربعی و در صورت مشخص بودن امتداد کانسار را از دو شبکه دیگر نیز می‌توان استفاده کرد.

یکی از پارامترهای موثر در انتخاب شبکه برداشت‌ها، هزینه آنها است که بیشترین هزینه را شبکه مربعی دارد.

ارتباط بُعدی کانسار و شبکه برداشت توسط نسبت  $U = \frac{L}{\sqrt{S}}$  ( $0 < U < 2$ ) و ارتباط جهتی کانسار و شبکه برداشت با زاویه‌ای که امتداد کانسار با امتداد شبکه تشکیل می‌دهد (a)، بیان می‌گردد.

۲-۳- محاسبه احتمال کشف در برداشت‌های زمینی ژئوفیزیکی

احتمال کشف در صورتیکه برداشت‌ها بصورت پیوسته صورت پذیرد (برداشت‌های هوابرد) با استفاده از روابط مربوط به احتمالات هندسی محاسبه می‌شود [۷].

محاسبه احتمال کشف در مرحله برداشت‌های زمینی نسبت به برداشت‌های هوابرد به دلیل ناپیوستگی نقاط برداشت از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. بطور کلی احتمال کشف یک کانسار (با استفاده از

تصادفی برای ساختارها، اثر تغییرات فاصله شبکه برداشت مربعی روی شناخت آنومالیهای مختلف و هزینه این برداشت‌ها مورد بحث قرار گرفته است.

۲- استفاده از تئوریهای احتمالات هندسی در طراحی شبکه برداشت‌های ژئوفیزیکی  
۱-۲- تاریخچه

استفاده از یکی از قدیمی‌ترین تئوریهای احتمالات هندسی یعنی قضیه مشهور سوزن بافن<sup>(۱)</sup> که در سال ۱۷۷۷ ارائه شده است [۲ و ۱]، برای محاسبه احتمال کشف یک کانسار توسط برداشت‌های ژئوفیزیکی مورد توجه افراد مختلفی قرار گرفته است.

یکی از اولین افراد آگوکز<sup>(۲)</sup> می‌باشد، که با استفاده از روابط مربوط به احتمال کشف که براساس تئوریهای احتمالات هندسی و قضیه بافن بدست آمده است، اثر تغییر فاصله خطوط پرواز و نیز جابجایی این خطوط را در برداشت‌های مغناطیس هوابرد معدن آهن مارمورا<sup>(۳)</sup> در کشور کانادا مورد بررسی قرار داده است [۳].

پاراسنیس<sup>(۴)</sup> در سال ۱۹۶۶ در نامه‌ای به سردبیر مجله ژئوفیزیکس در ارتباط با بحث میان آقای آگوکز و بواسار<sup>(۵)</sup>، صحبت از کانسارهای سولفیدی اسکلفت<sup>(۶)</sup> سوئد می‌کند که می‌توان برای آن بطور تقریب توزیع نرمال را در نظر گرفت و در نتیجه محاسبه احتمال کشف آنرا با استفاده از احتمالات هندسی برای یک شبکه برداشت موازی محاسبه کرد. پس از یک فاصله زمانی ۲۰ ساله علاقه به استفاده از تئوریهای احتمالات هندسی در کشف کانسارها از طریق برداشت‌های هوابرد تکرار گردید.

مک کامون<sup>(۷)</sup> و چانگ<sup>(۸)</sup> افرادی هستند که در زمینه اثر فاصله شبکه برداشت موازی در اکتشاف کانسارها کار کرده‌اند [۴ و ۵].

۲-۲- پارامترهای اساسی مورد استفاده در محاسبات احتمال کشف کانسارها

بطور کلی این پارامترها دودسته هستند، یک دسته

کشف معمولاً از شبکه مربعی استفاده میشود. با توجه به پیچیدگی تابع احتمال کشف محاسبه انتگرال در پیش گفته شده (رابطه ۱) مشکل می‌باشد. برای حل انتگرال مذکور از قاعده‌ای بنام سیمپسون<sup>(۱)</sup> استفاده می‌شود [۶].

برای بیشینه شدن امتداد شبکه به دلیل تقارن شبکه مربعی فاصله انتگرال گیری بین صفر تا  $\frac{\pi}{4}$  در نظر گرفته میشود و سطح زیر منحنی محاسبه می‌گردد. با تقسیم سطح زیر منحنی بر فاصله  $(\frac{\pi}{4} / 0.785)$  مقدار احتمال کشف بدست خواهد آمد. این احتمال برای مقادیر مختلف ضریب شکل کانسار ( $R_f$ ) و نسبت نصف طول کانسار به فاصله شبکه برداشت ( $U$ ) محاسبه شده و بصورت جداولی تهیه گردیده است [۷].

### ۳- موقعیت و مشخصات ساختارهای دفن شده

جهت مطالعات بهینه‌سازی شبکه برداشت در محوطه‌ای به مساحت تقریبی ۲۶۵۰۰ مترمربع پس از پاک سازی نسبی محوطه از مواد فلزی زاید (قوطی‌های فلزی، تکه‌های آهن و غیره) سه ساختار آهنی در عمقهای ۰/۵ تا ۱ متر دفن شده است، (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات و عمق دفن ساختارها

ساختارها	درازا (متر)	پهنا(قطر) (متر)	ضخامت (میلیمتر)	عمق دفن (متر)
ورقه (لایه‌ای)	۶	۱/۵	حدود ۱۰	۱
کسلی (دورقه در عمقهای متفاوت)	۱۲	۱/۵	حدود ۱۰	۱ و ۰/۵
لوله توخالی (استوانه‌ای)	۵/۵	۰/۵	حدود ۵	۰/۵

امطالعات ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و حفاری) با استفاده از شبکه‌ای با فاصله برداشت مشخص حاصل احتمال پیدایش کانسار و احتمال هندسی کشف آنست. اگر  $f(x)$  چگالی احتمال پیدایش کانساری به درازای  $x$  باشد، در اینصورت احتمال کشف کانساری با جهت یافتگی تصادفی و درازایی بین  $x$  و  $x+dx$  زمانیکه از یک شبکه برداشت موازی به فاصله  $S$  استفاده کنیم برابر است با:

$$dP_1 = \left(\frac{A \cdot x}{S}\right) f(x)dx \quad : \quad x < S \quad \text{اگر}$$

$$dP_2 = \left(\frac{Y}{\pi}\right) B \cdot f(x)dx \quad : \quad x > S \quad \text{و اگر}$$

مقادیر  $A$  و  $B$  که در احتمالات هندسی از مسئله سوزن بافن بدست می‌آیند (۱) برابر است با:

$$A = \frac{Y}{\pi}$$

$$B = \frac{\pi}{Y} - \sin^{-1}\left(\frac{S}{x}\right) + \frac{x}{S} - \left(\frac{x^2}{S^2} - 1\right)$$

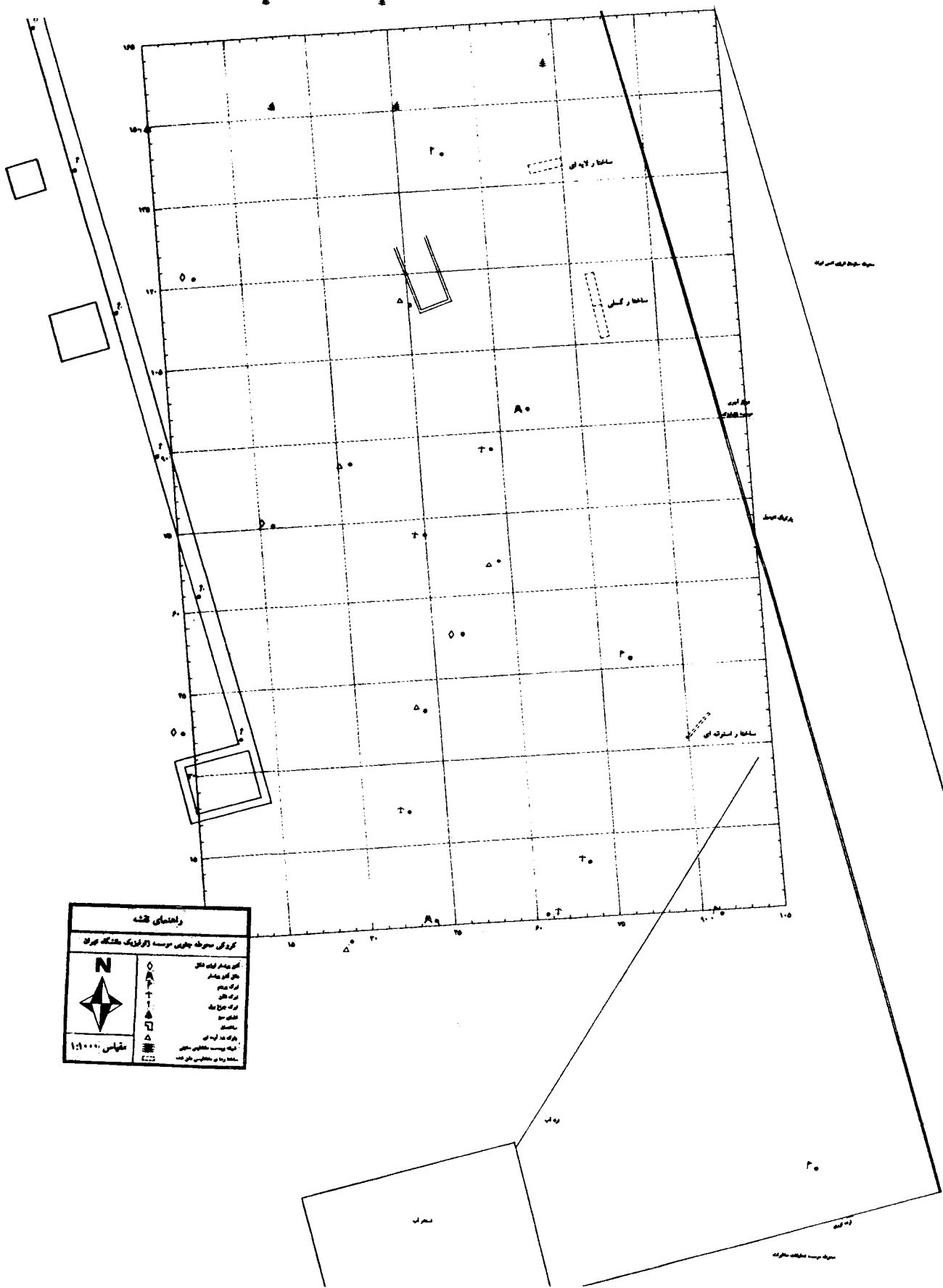
بدین ترتیب احتمال کشف تمامی کانسارها به درازای  $X$  توسط خطوط برداشت به فاصله  $S$  از رابطه زیر بدست می‌آید (۱):

$$P = \frac{Y}{\pi} \left[ S^{-1} \int_0^S x f(x) dx + B \int_S^{\infty} f(x) dx \right] \quad (1)$$

بطور معمول در برداشتهای زمینی با توجه به پیچیده بودن تابع  $f(x)$ ، تابع احتمال کشف نیز از سرشت پیچیده‌ای برخوردار است.

۲-۳-۱- احتمال کشف کانسارهای با جهت یافتگی تصادفی توسط شبکه برداشت مربعی:

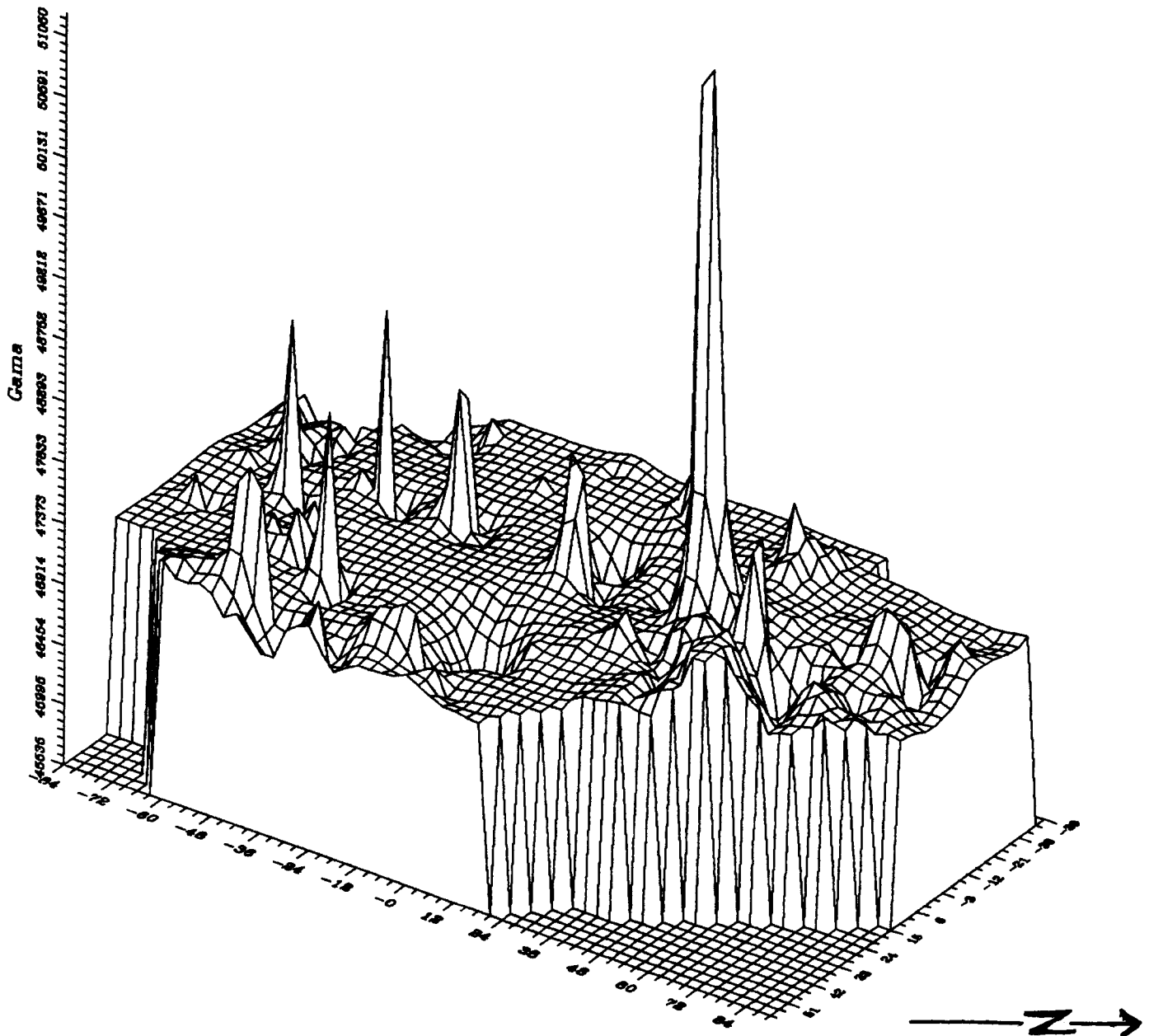
از آنجائیکه محور بلندتر کانسار،  $L$  بطور تصادفی در یک صفحه قرار می‌گیرد، برای بالابردن احتمال



شکل ۱: نقشه محوطه مورد مطالعه و موقعیت ساختارهای دفن شده.

کیلوگرم است و پیش از آن نیز در غرب محوطه یک ساختار میله‌ای (تیر آهن) به طول ۶ متر در عمق ۰/۵ متری با امتداد تقریباً شرقی - غربی دفن شده بود. در این محوطه مواد فلزی دیگری از جمله آنتن‌ها، دکله‌ها و میله‌های پرچم نیز وجود دارد و شکل ۲ تصویر سه بعدی میدان مغناطیسی حاصل از مواد پیش گفته را نشان می‌دهد.

موقعیت ساختارهای دفن شده در محوطه، روی نقشه شکل ۱ نشان داده شده است. ساختار گسلی عبارتست از دو ورقه ۶ متری که یکی در عمق ۰/۵ متری (ورقه شمالی) و دیگری در عمق ۱ متری (ورقه جنوبی) دفن شده است. بدین ترتیب یک مدل گسل مستقیم با جابجائی قائم ۰/۵ متر برپا شده است. وزن مجموع سه ساختار گفته شده در حدود ۳۰۰۰



شکل ۲: نقشه سه بعدی میدان مغناطیسی محوطه مورد مطالعه که نشان‌دهنده مواد فلزی سطحی (آنتن‌ها، دکله‌ها و میله‌های پرچم) می‌باشد.

جنوب غرب است. گسترش طولی این آنومالی حدود ۶/۲۵ متر است که با توجه به طول واقعی ساختار دارای خطای ۱۳/۶٪ می باشد.

ج - ساختار گسلی (آنومالی شماره ۳) - آنومالی حاصل از این ساختار به شکلی مشابه با آنومالی حاصل از میله و با کشیدگی بیشتر روی بلوک شمالی نمودار گشته است. گسترش طولی این آنومالی حدود ۱۲/۵ متر می باشد که خطای ۴٪ را شامل می گردد.

د - ساختار ورقه‌ای (آنومالی شماره ۴) - این آنومالی در مقایسه با سه آنومالی قبلی بصورت نامشخص تری روی نقشه ظاهر شده است.

علت این امر میتواند عمق دفن بیشتری باشد، که این ساختار نسبت به سه ساختار دیگر دارد (۱ متر در مقابل ۰/۵ برای ساختارهای دیگر). بهمین دلیل گسترش طولی حاصل از این آنومالی حدود ۷/۵ متر است که خطای آن نسبت به طول واقعی ورقه ۲۵٪ می باشد. محاسبه احتمال کشف منفرد (قطع حداقل یک خط برداشت با اثر آنومالی حاصل از ساختار) برای ساختار میله‌ای حدود ۲۹/۵٪، استوانه‌ای ۷/۲۴/۵٪ گسلی ۸۰/۵٪ و ورقه‌ای ۶۴٪ است. این مقادیر به جز مقدار مربوط به ورقه، ارتباطی منطقی را با خطاهای گسترش طولی حاصل از آنومالیهای مغناطیسی نشان میدهند.

لازم به ذکر است که افزایش ضخامت خاک، روی ساختارها، اثر قابل اهمیتی در کاسته شدن از شدت آنومالی و تعیین گسترش حقیقی آنومالی حاصل از اثر ساختارها دارد. بهمین دلیل در طراحی شبکه برداشت بایستی این ضخامت نیز مدنظر قرار گیرد [۸] که در مطالعه حاضر این پارامتر در نظر گرفته نشده است.

#### ۲-۵- نقشه با شبکه برداشت ۶×۶ متر و تفسیر آن

همانطور که روی نقشه آنومالی مغناطیسی (شکل ۴) دیده می شود، به جز اثر ساختار گسلی که تا حدودی مشخص است، بقیه ساختارها بصورت شکلهای غیرواقعی (میله و استوانه) و غیر محسوس (ورقه) نمودار گردیده است.

#### ۴- طراحی شبکه برداشت‌های میدان مغناطیسی در محدوده مورد مطالعه

همانطور که قبلاً گفته شد، طراحی شبکه برداشت می تواند از جهت‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد. در اینجا با فرض ناشناخته بودن امتداد ساختارها، شبکه مربعی با امتداد شمالی - جنوبی برای برداشتها در نظر گرفته شده و برای سه مقدار ۳×۳، ۶×۶ و ۹×۹ متر اندازه گیریهای میدان کلی مغناطیسی به اجرا درآمده است.

نقشه‌های میدان مغناطیسی باقیمانده برای فاصله‌های شبکه برداشت گفته شده در قبل به ترتیب در شکلهای ۲، ۴ و ۵ با مقیاس ۱/۱۰۰۰ و فاصله پربندی (۱) ۱۰۰ کاما رسم شده است. این نقشه‌ها با مقیاس بزرگتر (۱/۲۵۰) نیز برای تفسیر بهتر تهیه گردیده است.

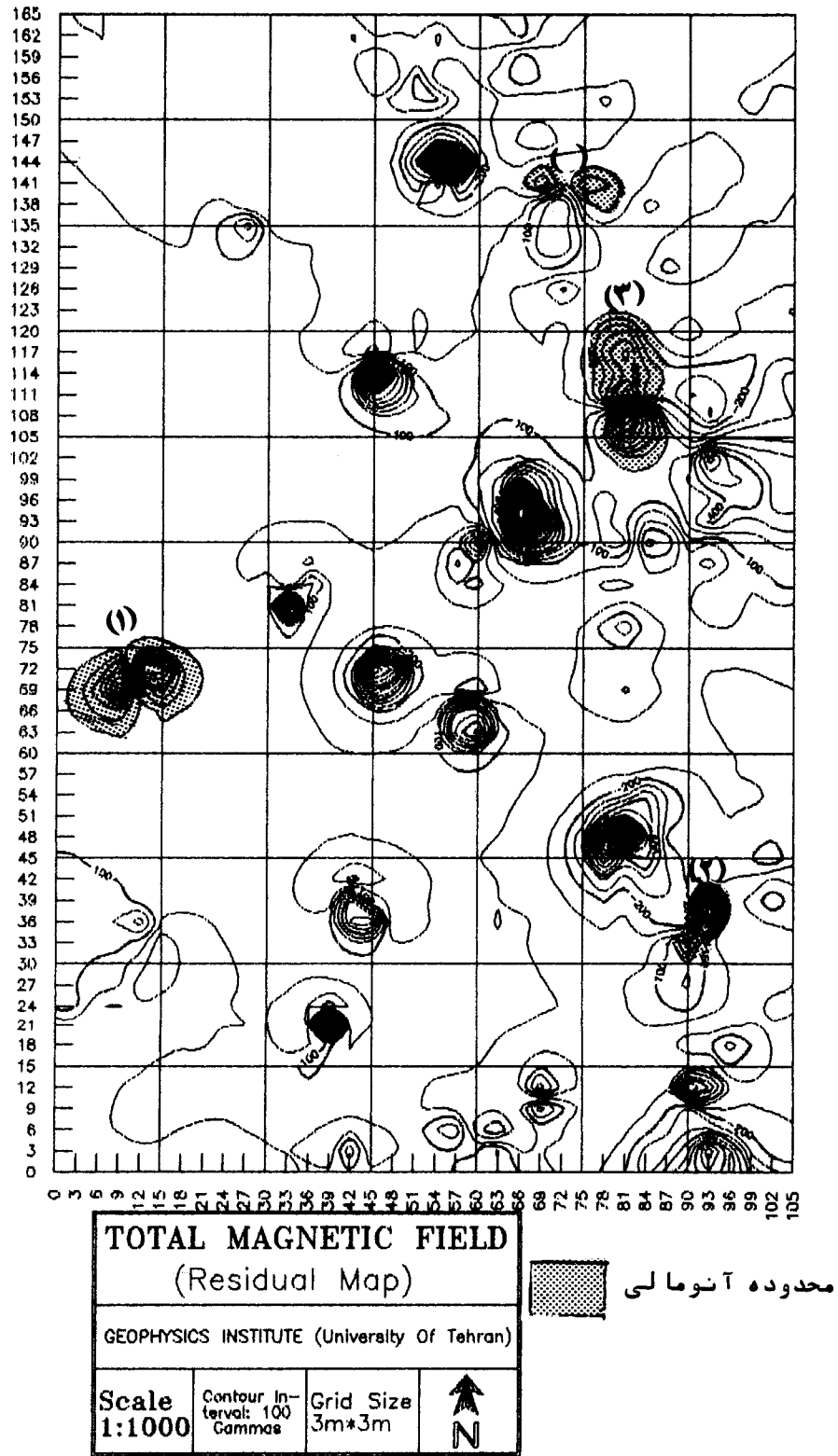
#### ۵- تفسیر نقشه‌های آنومالی مغناطیسی

##### ۱-۵- نقشه با شبکه برداشت مربعی ۳×۳ متر و تفسیر آن

روی این نقشه (شکل ۳) همانطور که دیده میشود، وجود آنتن‌ها، دکلهای، و میله‌های پرچم موجود در محوطه بصورت خطوط پربندی موضعی و بهم فشرده نمودار گشته‌اند (این نقشه را با تصویر سه بعدی شکل ۲ مقایسه کنید). به جز این پدیده‌های نوفه‌ای، ساختارهای مدفون در محوطه بصورت آنومالی‌هایی با شماره‌های ۱ (ساختار میله‌ای)، ۲ (ساختار استوانه‌ای)، ۳ (ساختار گسلی) و ۴ (ساختار ورقه‌ای) روی نقشه مشخص شده است.

الف - ساختار میله‌ای (آنومالی شماره ۱) - این آنومالی روی نقشه به صورت یک دوقطبی با امتداد شرقی - غربی و کمی متمایل به سمت شمال نمودار شده است. گسترش طولی آنومالی حدود ۵/۵ متر می باشد که نسبت به درازای میله مدفون خطایی نزدیک به ۸/۵٪ را دربردارد.

ب - ساختار استوانه‌ای (آنومالی شماره ۲) - این آنومالی بصورت پربندهایی کشیده‌تر از ساختار قبلی و مقادیر میدان مثبت، دارای امتداد شمال شرق -



شکل ۳: نقشه آنومالی مغناطیسی محدوده مورد مطالعه با شبکه مربعی ۳×۳ متر.

گیرند، زیرا در صورتیکه بتوان از شبکه با فاصله بزرگتر به همان نتایج شبکه  $۳ \times ۳$  متر دست یافت، ارجحیت با شبکه برداشت بزرگتر می‌باشد.

جدول ۲ احتمال کشف و مقدار هزینه را برای کل محوطه با استفاده از تابع هزینه [۷] برای شبکه‌های  $۳ \times ۳$ ،  $۴ \times ۴$ ،  $۵ \times ۵$  و  $۶ \times ۶$  متر نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که برای بعضی ساختارها مانند میله و استوانه شبکه برداشت  $۳ \times ۳$  متر مناسبترین است. ولی برای ساختار گسلی، شبکه  $۴ \times ۴$  (احتمال کشف  $۵۷/۶\%$ ) و شبکه  $۵ \times ۵$  (احتمال کشف  $۴۰/۶\%$ ) نیز می‌تواند مد نظر قرار گیرد که با توجه به هزینه کمتر این شبکه‌ها نسبت به شبکه  $۳ \times ۳$ ، از نظر اقتصادی مناسبتر می‌باشد.

بهرحال با توجه به احتمال کشف مورنظر نیز می‌توان فاصله شبکه برداشت را انتخاب نمود. بعنوان مثال اگر حداقل احتمال کشف را برای ساختار گسلی  $۵۰\%$  در نظر بگیریم شبکه برداشت  $۴ \times ۴$  متر مناسبترین شبکه می‌باشد.

در عمل می‌توان با شبکه برداشت بزرگتر اندازه‌گیریها را انجام داد و بشرطیکه با این شبکه بتوان محل کانسار را به طور تقریب مشخص کرد، اقدام به برداشتهای با چگالی بیشتر در محدوده آنومال نمود.

#### ۷ - نتیجه‌گیری و پیشنهاد

با توجه به جدول ۲ و نقشه‌های آنومالی مغناطیسی بدست آمده، اگر حداقل احتمال کشف برای مطالعه ساختارهای میله‌ای و استوانه‌ای شکل را  $۳۰\%$  در نظر بگیریم، مناسبترین فاصله شبکه مربعی برای این دو ساختار، شبکه  $۳ \times ۳$  متر می‌باشد. با حداقل احتمال کشف  $۵۰\%$  برای ساختار گسلی، فاصله شبکه بهینه  $۴ \times ۴$  متر است و اگر حداقل احتمال کشف را برای ساختار ورقه‌ای  $۶۰\%$  در نظر بگیریم (به دلیل عمق دفن زیادتر نسبت به ساختارهای دیگر)، مناسبترین فاصله شبکه برداشت  $۳ \times ۳$  متر است. بدین ترتیب برای مطالعات اکتشافی ژئوفیزیکی

دستیابی به گسترش طولی ساختارها از این نقشه مشکل می‌باشد. در مورد ساختار گسلی نیز گسترش طولی حاصل حدود ۵ متر است که دارای خطایی حدود  $۵۸\%$  می‌باشد.

احتمال کشف منفرد در اینحالت برای ساختارهای میله‌ای، استوانه‌ای گسلی و ورقه‌ای به ترتیب حدود  $۷\%$ ،  $۶\%$ ،  $۳۰\%$  و  $۲۳\%$  است.

#### ۵-۳- نقشه با شبکه برداشت $۹ \times ۹$ متر و تفسیر آن

روی این نقشه (شکل ۵) ساختارهای میله‌ای، استوانه‌ای و ورقه‌ای کاملاً نامحسوس و ساختار گسلی بصورت غیرواقعی نمودار گردیده است. احتمال کشف منفرد برای میله کمتر از  $۳\%$ ، استوانه حدود  $۳\%$ ، گسل حدود  $۱۱/۳\%$  و ورقه  $۸\%$  می‌باشد که نشان دهنده پدیدار نشدن اثر آنها روی نقشه آنومالی است.

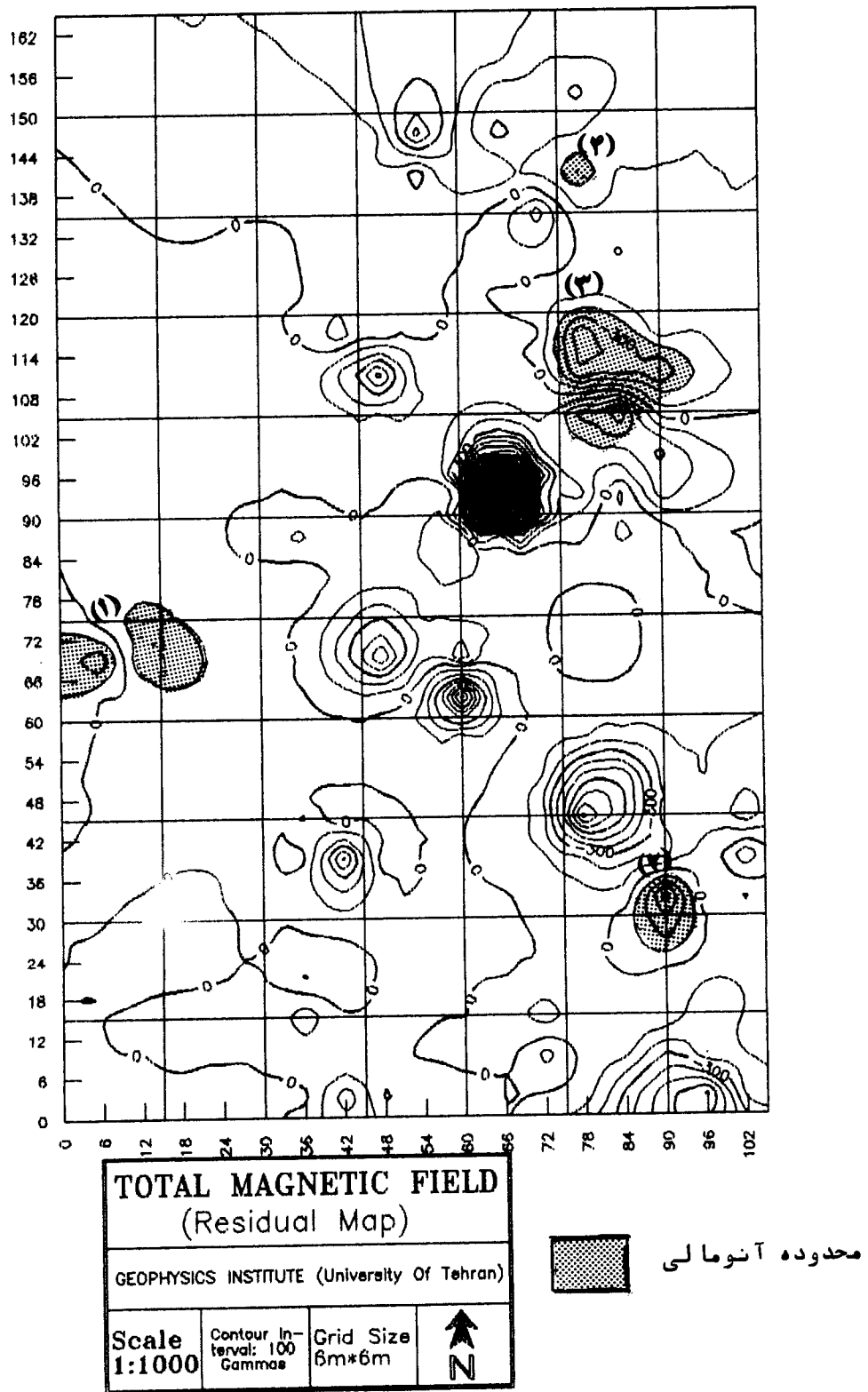
#### ۶ - هزینه شبکه‌های برداشت و مقایسه آنها با یکدیگر

همانطور که دیده شد، در مورد ساختارهای مدفون در محوطه مطالعاتی از نظر کشف و تعیین گسترش صحیح این ساختارها از میان سه شبکه انتخابی، شبکه برداشت مربعی  $۳ \times ۳$  متر مناسبترین آنهاست.

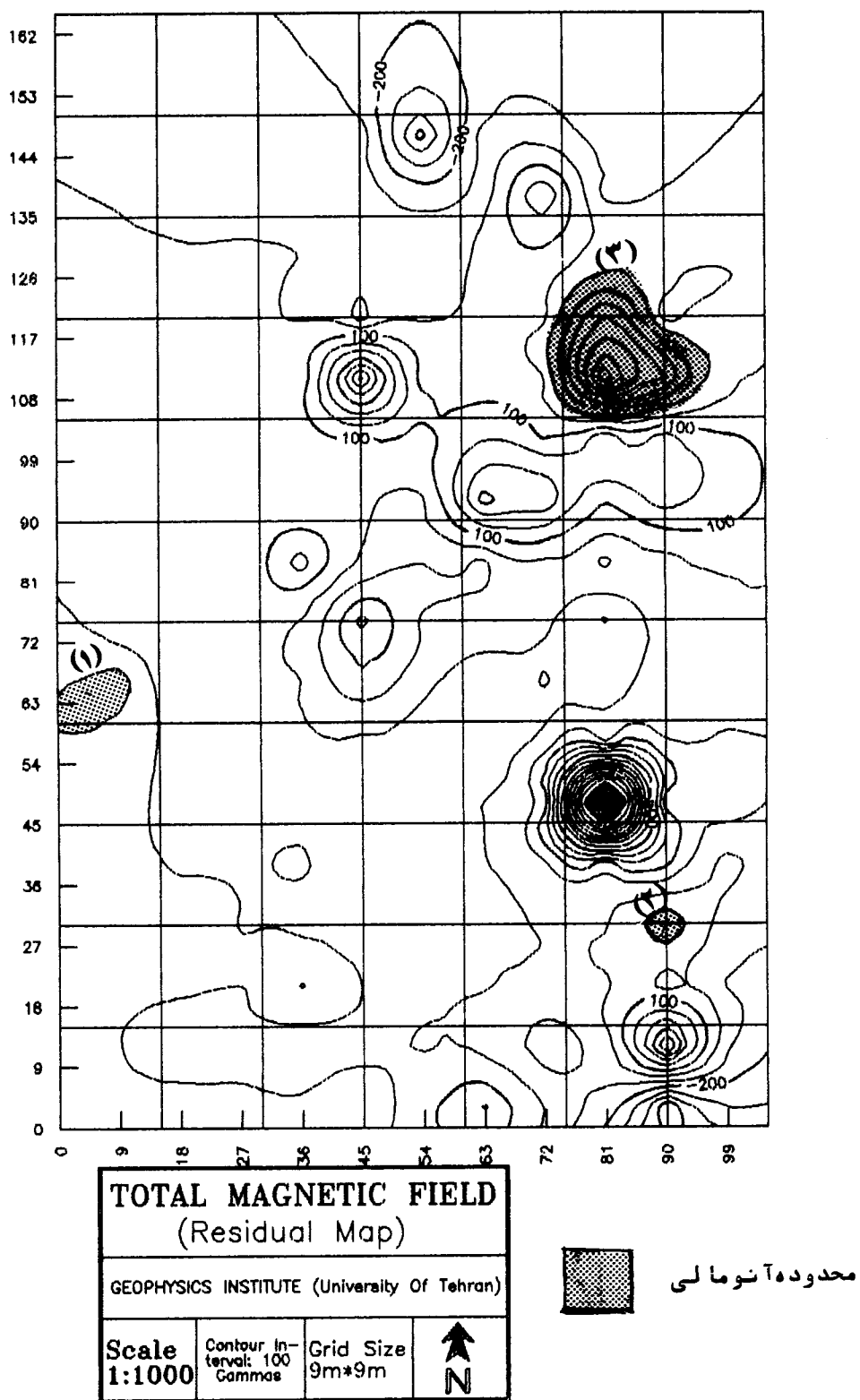
اما از طرف دیگر مسئله قابل اهمیت در مطالعات اکتشافی و از جمله ژئوفیزیک هزینه این برداشتهاست. در واقع یک بهینه‌سازی شبکه برداشت بدون توجه به بعد اقتصادی آن ناقص است.

هزینه شبکه برداشت مربعی  $۳ \times ۳$  متر نزدیک به چهاربرابر شبکه  $۶ \times ۶$  متر می‌باشد، اما بدلیل عدم جواب مناسب شبکه  $۶ \times ۶$  متر در تعیین محل و گسترش طولی ساختارها بین سه شبکه برداشت اجراشده مناسبترین آنها شبکه  $۳ \times ۳$  متر می‌باشد. طبیعی است که با توجه به هزینه برداشت بایستی شبکه‌های  $۴ \times ۴$  و  $۵ \times ۵$  متر نیز مورد بررسی قرار





شکل ۴: نقشه آنومالی مغناطیسی محدوده مورد مطالعه با شبکه مربعی ۶×۶ متر.



شکل ۵: نقشه آنومالی مغناطیسی محدوده مورد مطالعه با شبکه مربعی ۹×۹ متر.

جدول ۲: هزینه برداشت شبکه‌های مختلف مربعی برای کل محوطه (۱۶۰×۱۰۰ متر).

فاصله شبکه برداشت (متر)	ساختار میله‌ای		ساختار استوانه‌ای		ساختار کسلی		ساختار ورقه‌ای	
	احتمال کشف	هزینه	احتمال کشف	هزینه	احتمال کشف	هزینه	احتمال کشف	هزینه
۳×۳	٪۲۹/۵	۱۹۷۵C <sub>s</sub>	٪۲۴/۵	۱۹۷۵C <sub>s</sub>	٪۸۰/۵	۱۹۷۵C <sub>s</sub>	٪۶۴	۱۹۷۵C <sub>s</sub>
۴×۴	٪۱۳	۱۱۵۰C <sub>s</sub>	٪۱۵	۱۱۵۰C <sub>s</sub>	٪۵۷/۶	۱۱۵۰C <sub>s</sub>	٪۳۵	۱۱۵۰C <sub>s</sub>
۵×۵	٪۱۱	۷۶۰C <sub>s</sub>	٪۱۰	۷۶۰C <sub>s</sub>	٪۴۰/۶	۷۶۰C <sub>s</sub>	٪۲۸	۷۶۰C <sub>s</sub>
۶×۶	٪۷	۵۴۵C <sub>s</sub>	٪۶	۵۴۵C <sub>s</sub>	٪۳۰	۵۴۵C <sub>s</sub>	٪۲۳	۵۴۵C <sub>s</sub>

C<sub>s</sub>: هزینه اندازه‌گیری یک ایستگاه

برای یک احتمال کشف مشخص P، از طریق مطالعات ژئوفیزیکی استفاده از کلیه اطلاعات موجود (زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و غیره) در جهت بدست آوردن ایده‌ای از پارامترهای بند الف از هزینه ژئوفیزیکی می‌کاهد، ولی در صورت ناشناخته بودن این پارامترها برای همان احتمال کشف P، هزینه‌های ژئوفیزیکی بطور مشخص افزایش می‌یابد.

می‌توان یک روند منطقی بصورت زیر پیشنهاد کرد:  
 الف - توجه دقیق به پارامترهای احتمال پذیر مانند ضریب شکل، گسترش طولی، امتداد و 'عمق دفن' کانسار.  
 ب - طراحی شکل، امتداد و فاصله شبکه برداشت با توجه به احتمال کشف کانسار موردنظر (از پیش تعیین شده)، پارامترهای بند الف و گسترش محدوده مورد تجسس.

## مراجع

- 1 - Kendall, M. G., and Moran, P. A. P. (1963). *Geometrical probability*. Hafner Publishing Company, New York.
- 2 - Papoulis, A. (1991). *Probability, random variable and stochastic processes*. McGraw - Hill International editions.
- 3 - Agocs, W. B. (1955). "Line spacing effect and determination of optimum spacing illustrated. by Marmora, Ontario, Magnetic Anomaly". *Geophysics*, 20(4), 871-885.
- 4 - Mc Cammon, R. B. (1977). "Target intersection probability for parallel lines and continuous grid types of search, *J. Math. Geol.* 9(4), 369-382.
- 5 - Chung, C. F. (1981). "Application of the Buffon needle problem and its extentions to parallel line search sampling schemes, *J. Math. Geol.* 13(5), 371-390.
- 6 - Carnahan, B., Luther, H.A., and Wilkes, J. O. (1969). *Applied numerical methods*. John Wiley and Sons, Inc, New York, Toronto.
- 7 - De Geoffroy, J. G., and Wignall, T. K. (1985). *Designing optimal strategies for mineral exploration*. Plenum Press, New York
- 8 - Reid, A. B. (1980). "Aeromagnetic survey design". *Geophysics*, 45(5), 973-976.

