

# مدلسازی آنومالی‌های مؤلفه قائم مغناطیسی چند شکل ساده هندسی

غلامحسین نوروزی

دانشیار

دانشکده فنی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه تهران

## چکیده

مطالعات حاضر پس از آماده سازی زمین و دفن سه ساختار آهنی به شکل های ورقه، گسل قائم و استوانه در محوطه جنوبی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران صورت پذیرفته است.

پس از اندازه گیری های میدان مؤلفه قائم مغناطیسی در امتداد پروفیل های عمود بر ساختارها با فواصل ایستگاهی ۵ / ۰ تا یک متر، برنامه های محاسباتی برای مدل های پیش گفته تهیه شده است. با مقایسه نتایج تجربی (مقطع های صحرایی) و نتایج محاسباتی (مقطع های نظری)، مشخصات ابعادی و عمق ساختارها با استفاده از مدل به دست آمده و با مشخصات ساختارها مقایسه شده است.

## *Modeling of the Magnetic Anomalies of the Simple Shapes*

Gh. H. Norousi

Associate Professor

Engineering Faculty-Tehran University

### Abstract

*Different geological structures often could be simulated by simple geometrical shapes. Four different iron structures such as thin horizontal sheet, two horizontal sheets with vertical offset, horizontal rod and horizontal cylinder were buried at the depth of 0.5-1 meter in south area of the Geophysics Institute of Tehran University.*

*The vertical magnetic fields were measured along the profiles which were perpendicular to the strikes of buried structures. The geometrical parameters along with the depth of each of the buried shapes were obtained through a comparison of anomalies, resulted from the terrain magnetic fields with the calculated ones.*

## مقدمه

تفسیر موفق داده‌های ژئوفیزیکی مستلزم شناخت سه مسئله مختلف است. نخست اثر مشخصات فیزیکی زمین روی مشاهده‌های ژئوفیزیکی درک شود، یعنی یک قابلیت برپایی مدل فیزیکی بایستی وجود داشته باشد. دوم بایستی چگونگی کنترل مشخصات فیزیکی توسط پارامترهای زمین شناسی درک شود. بالاخره برای محدود کردن گستره کم و بیش زیاد مدل‌های ممکن بایستی توجه کرد که چه خصوصیات زمین شناسی در محل مطالعه به طور منطقی وجود دارد. (۱)

مسئله اول یک مسئله ژئوفیزیکی و مسئله سوم مربوط به زمین شناسی است، در حالی که مسئله دوم مشترک بین این دو می‌باشد. (۱)

ارتباط بین توزیع مشخصات فیزیکی در زمین و مشاهده‌های ژئوفیزیکی را می‌توان به دو طریق نگاه کرد. یکی استنتاج مشاهده‌ها (داده‌ها) از مشخصات فیزیکی و ژئومتری یک ساختار که «مسئله مدلسازی» است و دیگری تطابق مشاهده‌ها بر مدل می‌باشد که به «مسئله معکوس» معروف است. طریقه اول چگونگی یادگیری اولیه ماهیت مسئله است و دومی آنچه را که باید در تفسیر واقعی انجام داد، شامل می‌شود. در مدلسازی، یک مدل ساده شده زمین برای پیش‌گویی داده‌های قابل مشاهده به کار برده می‌شود و سپس با داده‌های واقعی که از اندازه‌گیری به دست می‌آید، مقایسه می‌گردد. اگر مدل ساده شده برآزش منطقی با داده‌های واقعی داشته باشد، می‌توان فرض کرد که شبیه سازی از جهتی به زمین واقعی نزدیک شده است.

دو دلیل برای کار کردن با مدل‌های ساده شده وجود دارد. نخست آن که زمین واقعی اغلب پیچیده تر از آن است که بتوان به طور کامل آن را با یک مدل عملی توضیح داد، دوم اینکه به طور معمول جزئیاتی وجود دارد که اثر محسوسی روی مشاهدات ژئوفیزیکی نداشته و بنابر این قابل تشخیص توسط داده‌های برداشتی نیست. در مطالعه حاضر پس از دفن سه ساختار آهنی به شکل‌های متفاوت در محدوده جنوبی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و اجرای اندازه‌گیری‌های مؤلفه قائم میدان مغناطیسی در امتداد پروفیل‌هایی عمود بر ساختارها با تهیه برنامه‌های محاسباتی، این ساختارها مدلسازی شده و اطلاعات حاصل از مدل‌ها با اطلاعات واقعی آنها مقایسه گردیده است.

## مدلسازی شکل‌های ساده هندسی

از آنجائی که ساختارهای معدنی موجود در طبیعت اغلب قابل تشبیه به شکل‌های سه بعدی هندسی می‌باشند، مطالعه آنومالی‌های حاصل از این شکل‌ها می‌تواند راهنمای خوبی برای تفسیر آنومالی‌های ژئوفیزیکی واقعی باشد.

بدین منظور سه ساختار آهنی به شکل‌های ورقه‌ای، گسله‌ای قائم و استوانه‌ای طراحی گردید و در مکان‌های مناسبی از محوطه ژئومغناطیس مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به ابعاد تقریبی  $160 \times 100$  متر دفن گردید (شکل ۱).

پیش از آن نیز یک ساختار میله‌ای در این محوطه دفن شده بود. مشخصات سه ساختار و عمق دفن آنها در جدول ۱ ارائه شده است. وزن مجموع این سه ساختار حدود  $3000$  کیلوگرم می‌باشد.

جدول (۱) مشخصات و عمق دفن ساختارها (۲)

ساختارها	درازای (متر)	پهنا (قطر) (متر)	ضخامت (میلیمتر)	عمق دفن (متر)
ورقه (لایه‌ای) گسلی (دو ورقه در	۶	۱/۵	حدود ۱۰	۱
عمق‌های متفاوت)	۱۲	۱/۵	حدود ۱۰	۰/۵ و ۱
لوله توخالی	۵/۵	۰/۵	حدود ۵	۰/۵

## اندازه‌گیری‌های مؤلفه قائم میدان مغناطیسی

به طور معمول برای تفسیر کمی آنومالی‌های مغناطیسی از مؤلفه قائم میدان استفاده می‌شود. تغییرات مؤلفه قائم مغناطیسی برای پروفیل‌های عمود بر امتداد ساختارها برای اغلب شکل‌های ساده هندسی محاسبه شده است (۳) و (۴). در این مطالعات، روی ساختارهای مدفون پروفیل‌های مناسب با فاصله ایستگاهی  $0/5$  تا  $1$  متر در نظر گرفته شد و سپس اندازه‌گیری مؤلفه قائم میدان توسط یک مگنتومتر فلاکس گیت به اجرا درآمد.



## تهیه برنامه‌های محاسباتی برای آنومالی‌های مغناطیسی مؤلفه قائم

به منظور مقایسه آنومالی‌های حاصل از برداشت‌های مؤلفه قائم با آنومالی‌های نظری (محاسباتی) حاصل از ساختارهای مدفون و دستیابی به پارامترهای هندسی و عمق دفن ساختارها، برنامه‌های کامپیوتری برای محاسبه آنومالی‌های مربوط به ساختارهای ورقه افقی، گسل قائم، استوانه افقی و میله افقی (دو قطبی) تهیه گردید. برای دستیابی به مقادیر دقیق پارامترهای هندسی ساختارها و عمق آنها، تکرار محاسبات به ازاء مقادیر مختلف این پارامترها و مقایسه تغییرات حاصل با پروفیل‌های برداشت شده از سرزمین (مطالعات صحرائی) در برنامه‌های محاسباتی پیش بینی شده است.

به منظور دستیابی به پارامترهای هندسی و عمق ساختارهای مدفون شده در محوطه مورد مطالعه، گستره احتمالی از این پارامترها برای هر ساختار به برنامه داده شده و آنومالی‌های نظری حاصل از ساختار (به ازاء مقادیر متفاوت پارامترهای مختلف) محاسبه گردیده است. منحنی‌های تغییرات محاسبه شده با منحنی تغییرات تجربی که از اندازه‌گیری مستقیم سرزمین به دست آمده، مقایسه شده و پس از انتخاب بهترین منحنی محاسباتی، پارامترهای مربوط به آن چاپ شده است.

### ساختار ورقه افقی

باتوجه به برنامه محاسباتی ساختار ورقه افقی و گستره تغییرات پارامترهای مربوط به این ساختار (جدول ۲)، منحنی مربوط به مقطع نظری که بهترین

### مقایسه نتایج تجربی و نظری برای تعیین مشخصات ساختارها

جدول (۲) برنامه محاسباتی برای تغییرات مؤلفه قائم مغناطیسی ساختار ورقه افقی.

```
*****
HORIZONTAL LAYER
*****
```

$$Z = 2KtZ_0 (A1 - A2)$$

$$A1 = (d(H_0/Z_0) \sin B + X) / r1^2$$

$$A2 = (d(H_0/Z_0) \sin B + (X-L)) / r2^2$$

$$r1^2 = X^2 + d^2$$

$$r2^2 = (L-X)^2 + d^2$$

H.=Horizontal Magnetic Field (Orsted)  
Z.=Vertical Magnetic Field (Orsted)  
K=Susceptibility  
t=Thickness of Layer (Cm)  
d=Depth of Layer (Cm)  
L=Length of Layer (Cm)  
B=Strike of Layer (Degree)  
X=Horizontal Axis of Profile (Cm)  
Z=Vertical Field (Orsted)

```
***** Inter the value of variables *****
====>> H.: .283
====>> Z.: .376
====>> K(Min,Max): 1 10
====>> t(Min,Max): .5 1.2
====>> d(Min,Max): 50 300
====>> L(Min,Max): 50 250
====>> B(Min,Max): 105 105
```

RESULTS :

```
H.: .283
Z.: .376
K: 9.9
t: .71
d: 225
L: 250
B: 105
R: 1.6E-5
```

برازش را با منحنی تجربی (مقطع صحرایی) نشان داده است، در شکل ۲ رسم شده است. مشخصات به دست آمده برای ورقه افقی در جدول ۳ نشان داده شده است. خطاهای موجود در ارزیابی پارامترهای مربوط به این ساختار می تواند وابسته به میدان و امغانطیده حاصل در ورقه آهنی و نیز عدم تطابق کامل مدل انتخابی با ساختار ورقه مدفون باشد. در واقع مدل در نظر گرفته شده برای ورقه ای است که گسترش طول آن نسبت به ابعاد دیگر ورقه زیاد باشد، در صورتی که گسترش طولی ورقه مدفون تنها ۴ برابر گسترش عرض آن است. اما مسئله قابل بررسی دیگر در ارتباط با این خطاها و به ویژه خطای مربوط به ارزیابی عمق ورقه توجه به فاصله نقاط برداشت است. در پروفیل برداشتی روی این ساختار فاصله نقاط برداشت ( $\Delta x$ ) یک متر در نظر گرفته

شده که باتوجه به فاصله ساختار از گیرنده دستگاه ( $h = 1/35$ ) مقدار  $\Delta x$  برابر  $0.74 h$  می باشد که برای مدلسازی نسبت زیادی است و بایستی از مقادیر کوچکتر  $\Delta x$  استفاده شود (۵).

جدول (۳) نتایج حاصل از مدلسازی ورقه افقی

مشخصات ساختار	محاسبه شده $C_m$	واقعی $C_m$	خطا %
عمق	۲۲۵*	۱۳۵*	۶۷
ضخامت	۰/۷۱	۰/۸	۱۱
پهنا	۲۵۰	۱۵۰	۶۷

\*از این مقدار ۳۵ سانتی متر آن مربوط به فاصله مگنتومتر از سطح زمین است.

جدول (۴) برنامه محاسباتی برای تغییرات مؤلفه قائم مغناطیسی ساختار گسله قائم.

جدول (۴) برنامه محاسباتی برای تغییرات مؤلفه قائم مغناطیسی ساختار گسله قائم.

VERTICAL FAULT

\*\*\*\*\*

$$Z = 2Kt(A1 - A2)$$

$$A1 = [H.D \sin B + (Z.X)] / r1^2$$

$$A2 = [H.D \sin B + (Z.X)] / r2^2$$

$$r1^2 = X^2 + d^2$$

$$r2^2 = X^2 + D^2$$

- H.=Horizontal Magnetic Field (Orsted)
- Z.=Vertical Magnetic Field (Orsted)
- K=Susceptibility
- t=Thickness of Layer (Cm)
- d=Depth of Upper Layer of Fault (Cm)
- D=Depth of Down Layer of Fault (Cm)
- B=Strike of Fault Surface (Degree)
- X=Horizontal Axis of Profile (Cm)
- Z=Vertical Field (Orsted)

\*\*\*\*\* Enter the value of variables \*\*\*\*\*

```

=====>> H.: .283
=====>> Z.: .376
=====>> K(Min,Max): 1 10
=====>> t(Min,Max): .5 1.2
=====>> d(Min,Max): 50 150
=====>> D(Min,Max): 100 300
=====>> B(Min,Max): 16 16

```

RESULTS:

```

Ho: .283
Zo: .376
K: 9.9
t: 1.2
d: 80
D: 240
B: 16
R: 9.1E-4

```

## ساختار گسل قائم

جدول (۵) نتایج حاصل از مدلسازی گسل قائم

خطا %	Cm واقعی	محاسبه شده Cm	مشخصات ساختار
۵/۸	۸۵*	۸۰*	عمق صفحه بالایی
۷۸	۱۲۵*	۲۴۰*	عمق صفحه پایینی
۰	۱/۲	۱/۲	ضخامت

منحنی تغییرات مقطع صحرایی و بهترین منحنی مقطع نظری برازش یافته با آن در شکل ۳ نشان داده شده است. برنامه محاسبه و گستره تغییرات پارامترهای مربوط به ساختار گسلی نیز در جدول ۴ درج گردیده است. مقدار پارامترهای مربوط به منحنی مقطع نظری که بیانگر مشخصات مدل ساختار گسلی می باشد، در جدول ۵ نشان داده شده است. همانگونه که دیده می شود، این مقادیر به جز عمق صفحه پایینی گسل از دقت مطلوبی برخوردار هستند. در اینجا نیز مسائلی مشابه با ساختار قبلی می تواند عامل خطای موجود در ارزیابی عمق صفحه پایینی گسل باشد.

\*از این مقدار ۳۵ سانتی متر آن مربوط به فاصله مگنتومتر از سطح زمین است.

جدول (۶) برنامه محاسباتی برای تغییرات مؤلفه قائم مغناطیسی ساختار استوانه افقی توخالی.

\*\*\*\*\*  
\* HORIZONTAL CYLINDER \*  
\*\*\*\*\*

$$Z = ((2KSY)/A1)(A2+A3)$$

$$A1 = r^4 (r^2 + Y^2)^{1.5}$$

$$A2 = H \cdot (3r^2 + 2Y^2) Xz \sin B$$

$$A3 = Z \cdot [Y^2 (z^2 - X^2) + r^2 (2z^2 - X^2)]$$

$$r = \sqrt{X^2 + z^2}$$

H.=Horizontal Magnetic Field (Orsted)

Z.=Vertical Magnetic Field (Orsted)

K = Susceptibility

S=Section Area of Cylinder (Cm<sup>2</sup>)

(dm=Outer Diameter of Cylinder (Cm))

(da=Inter Diameter of Cylinder (Cm))

2Y=Length of Cylinder (Cm)

z=Depth of Cylinder Center (Cm)

B=Strike of Cylinder (Degree)

\*\*\*\*\* Inter the value of variables \*\*\*\*\*

H.: .283

Z.: .376

K(Min,Max): 1 10

dm(Min,Max): 45.2 47

da(Min,Max): 45.2 45.2

2Y(Min,Max): 100 500

z(zmin,zmax): 50 200

B(Bmin,Bmax): 220 220

RESULTS:

Z.: .283

H.: .376

K: 9.9

2Y: 220

z: 110

B: 220

dm: 46.8

da: 45.2

R: 6.4E-5

## ساختار استوانه افقی

برای این مدل نیز با گستره‌ای از پارامترهای موجود در رابطه با آنومالی مربوط به ساختار استوانه‌ای (مطابق جدول ۶) منحنی‌های تغییرات آنومالی مغناطیسی محاسبه شده و هر بار با منحنی تجربی مقایسه شده است. در نهایت بهترین منحنی نظری برازش یافته با منحنی تجربی، به دست آمده است (شکل ۴). مشخصات به دست آمده برای این ساختار مطابق جدول ۷ می‌باشد، که نسبت به پارامترهای واقعی استوانه افقی خطای چندانی را در بر ندارد.

جدول (۷) نتایج حاصل از مدلسازی استوانه افقی.

مشخصات ساختار	محاسبه شده Cm	واقعی Cm	خطا %
عمق مرکز استوانه	۱۱۰*	۱۱۱*	۰/۹
قطر خارجی استوانه	۴۶/۸	۴۶	۱/۷
طول	۲۲۰	۵۵۰	۶۰

\*از این مقدار ۳۵ سانتیمتر آن مربوط به فاصله مگنتومتر از سطح زمین است.

جدول (۹) نتایج حاصل از مدلسازی میله افقی.

مشخصات ساختار	مقدار محاسبه شده cm
عمق	۱۰۵*
طول	۴۸۰
سطح مقطع	۹۱۰ (cm <sup>2</sup> )

\*از این مقدار ۳۵ سانتی متر آن مربوط به فاصله مگنتومتر از سطح زمین است.

## ساختار میله افقی (دوقطبی)

این ساختار همانطور که گفته شد، سال‌ها قبل در محوطه مورد مطالعه مدفون گردیده بود و از مشخصات کامل آن اطلاع دقیقی در دسترس نبود. روند مدلسازی انجام شده برای این ساختار همانند ساختارهای دیگر صورت گرفت و نتیجه حاصل روی شکل ۵، نشان داده شده است. مشخصات میله که با استفاده از مدلسازی به دست آمده در جدول ۹ درج گردیده است.

جدول (۸) برنامه محاسباتی برای تغییرات مؤلفه قائم مغناطیسی ساختار میله‌ای.

\*\*\*\*\*  
\* HORIZONTAL DIPOLE \*  
\*\*\*\*\*

$$Z = KHSz(A1 - A2)$$

$$A1 = (1 / (X^2 + z^2))^{1.5}$$

$$A2 = (1 / ((z^2 + (X-L)^2))^{1.5})$$

H=Horizontal Magnetic Field (Orsted)

K=Susceptibility

S=Section of Area (Cm<sup>2</sup>)

z=Depth of Negative Pole (Cm)

L=Length of Dipole (Cm)

X=Horizontal Axis of Profile (Cm)

Z=Vertical Magnetic Field (Orsted)

\*\*\*\*\* INTER THE VALUE OF VARIABLES \*\*\*\*\*

```

====>> H: .283
====>> K(Min,Max): 1 10
====>> S(Min,Max): 100 1000
====>> z(Min,Max): 50 200
====>> L(Min,Max): 400 600
    
```

RESULTS:

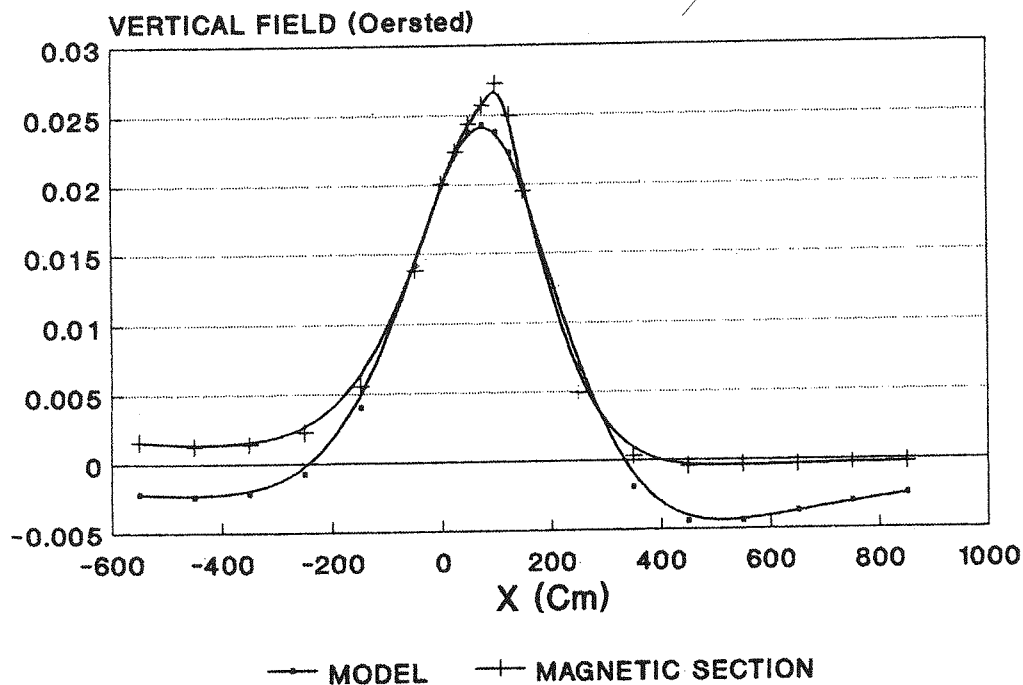
```

H: .283
K: 9.9
S: 910
z: 140
L: 480
R: 3.1E-4
    
```

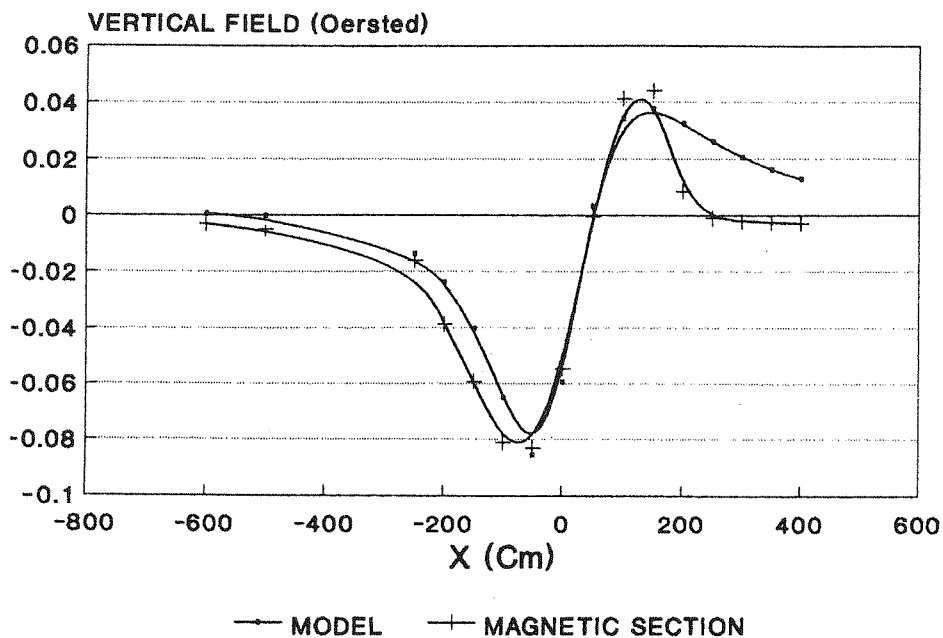
## نتیجه گیری و پیشنهاد

نزدیک به واقعیت ارائه داده است. با این حال در ارتباط با بررسی خطاهای موجود پیشنهاد می شود تغییر فاصله نقاط برداشت و اثر آن بر نتایج مدلسازی مورد مطالعه قرار گیرد.

باتوجه به قدرت و کارآئی بسیار زیاد کامپیوترهای موجود، امروزه مدلسازی در مطالعات مهندسی جایگاه ویژه ای را به خود اختصاص داده است. مدل های ارائه شده در این مطالعات علیرغم خطاهای موجود در تعیین بعضی از پارامترهای ساختارها در مجموع جواب های

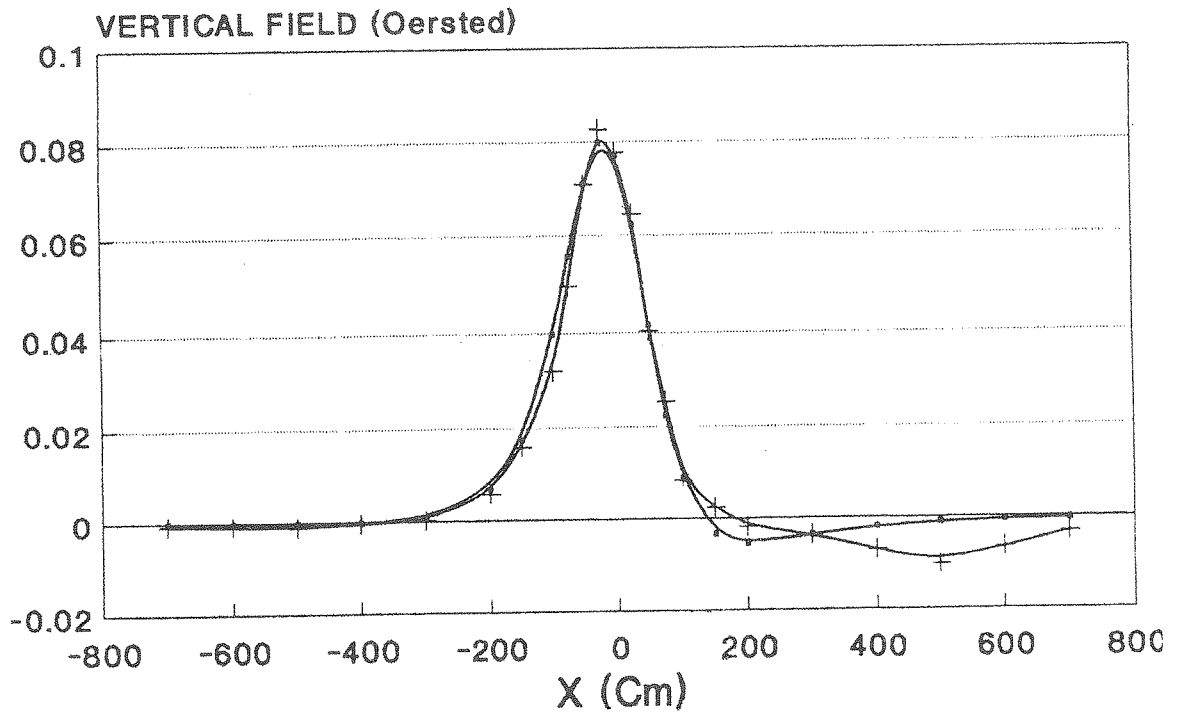


شکل (۲) مقطع صحرایی و مقطع نظری حاصل از مدلسازی برای ساختار ورقه افقی.

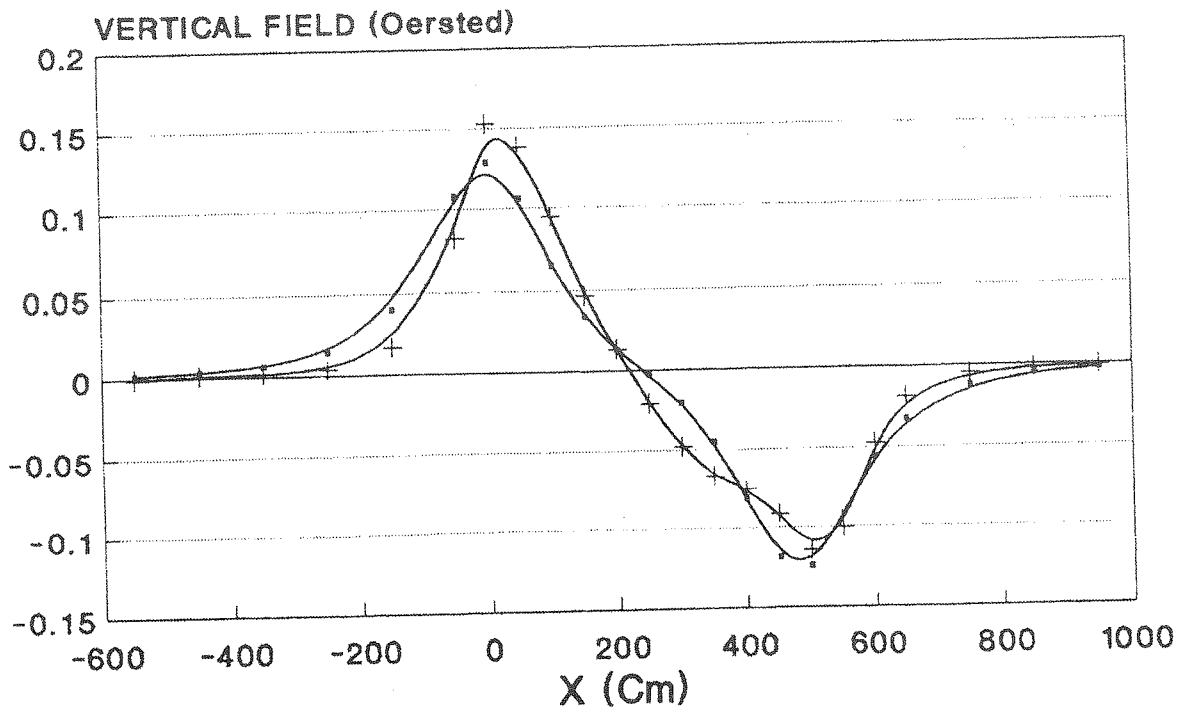


شکل (۳) مقطع صحرایی و مقطع نظری حاصل از مدلسازی برای ساختار گسل قائم.





شکل (۴) مقطع صحرایی و مقطع نظری حاصل از مدلسازی برای ساختار استوانه افقی.



شکل (۵) مقطع صحرایی و مقطع نظری حاصل از مدلسازی برای ساختار میله افقی.

## مراجع

- [1] G. F. West and R.C. Balley (1987); "Inverse methods in geophysical Exploration", Exploration' 87 proceedings, Geophysical methods: Advance in the state of the art.
- [2] [۲] نوروژی غلامحسین، (۱۳۷۶)، طراحی بهینه شبکه برداشت در مطالعات مغناطیسی، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۰، شماره ۲.
- [3] [۳] ژئوفیزیک کاربردی (جلد اول)، نوشته دبلیو-ام، تلفورد وهمکاران، ترجمه آقایان دکتر حسین زمردیان و دکتر حسن حاجب حسینه، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۸ و ۱۳۷۴.
- [4] F. S. Grant and G. F. West, 1965, "Interpretation theory in applied geophysics., Mc Graw - Hill Inc.
- [5] Reid, A. B. (1980). "Aeromagnetic survey design". Geophysics, 45 (5), 973-976.