

# عنوان : جداسازی اثر ناهمگنی از ناهمسانگردی و حذف اثر ناهمگنی سطحی از داده های مقاومت ویژه با استفاده از آرایه Arrow-Type

دکتر میرستار مشین چی اصل<sup>1</sup> و صبا جودکی<sup>2</sup>

## چکیده

جداسازی اثرات مربوط به ناهمگنی و ناهمسانگردی یکی از راه های مناسب برای دست یابی به تفسیر درست داده های مقاومت ویژه است. از آنجا که ناهمسانگردی به نسبت ناهمگنی اثر کمتری بر داده ها دارد در مطالعات مربوط به ناهمسانگردی باید از روش هایی استفاده شود که نسبت به ناهمسانگردی حساس بوده و قادر به حذف اثرات ناهمگنی ها باشند. به طور کلی آرایه های آزیموتی در مقایسه با آرایه های خطی نسبت به آشکارسازی ناهمسانگردی حساسیت بیشتری دارند و آرایه Arrow-Type حتی از سایر آرایه های آزیموتی دیگر حساس تر است. این آرایه در عین حال که آرایه ای حساس به ناهمسانگردی است امکان حذف ناهمگنی های مزاحم را نیز در اختیار ما قرار می دهد. آرایه Arrow-Type با توجه به نوع کار صحرایی در شناخت ویژگی های ناهمسانگردی بسیار مفید بوده و توانایی جدا سازی اثرات مربوط به ناهمگنی و ناهمسانگردی ها را دارد. شناخت دقیق ویژگی های ناهمسانگردی مانند تشخیص نحل و راستای آن ، علاوه بر اینکه به تفسیر درست کمک می کند، به خودی خود داده های زمین شناختی مناسبی را در اختیار ما قرار خواهد داد.

در این تحقیق ابتدا آرایه Arrow-Type معرفی شده و سپس نتایج به دست آمده از این آرایه در یک کار صحرایی که هدف از آن یافتن محل دقیق ناهمگنی و سپس حذف اثر ناهمگنی و به دست آوردن داده های پاک برای بررسی ناهمسانگردی بوده آورده شده است.

کلیدواژه ها: ناهمگنی، ناهمسانگردی، آرایه Arrow-Type

<sup>1</sup>عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

<sup>2</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم دانشگاه رازی کرمانشاه

# Separation of inhomogeneity effects from anisotropy and remove of near surface inhomogeneity effects from sounding resistivity data using Arrow-type array

Dr. Mirsattar Meshinchi Asl and Saba Joodaki

## Abstract

Distinguish between heterogeneity and anisotropy effects is appropriate method to achieve accurate resistivity data interpretations. Since the anisotropy effects are weaker than inhomogeneity one so, we have to use a technique that is sensitive to anisotropy for removing heterogeneity effects.

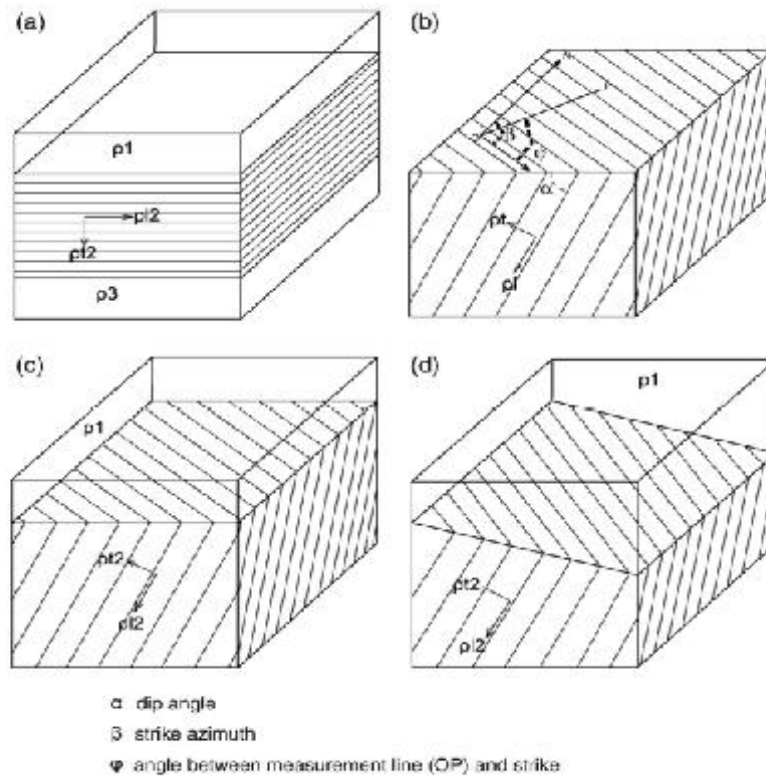
Azimuthal resistivity surveys increasingly are being used by hydrogeologists in the identification and characterization of fractured rocks. It also can be used to detect anisotropy. The Arrow-Type array that we investigated here does show the highest sensitivity to anisotropy and can remove effects of near surface inhomogeneities. It also can distinguish between anisotropy and inhomogeneity as well. On the other hand, using a simpler logistic in the field will make this method more convenient in comparison with the other azimuthal arrays. Knowing exact place and direction of anisotropy helps us to achieve accurate interpretation; in addition it gives us convenient geological information. In this paper the Arrow-type array is determined first. We used this array in the field work to detect heterogeneities' exact locations and to remove their effects on our data. We were able to obtain pure data for anisotropy investigation.

**Keywords:** inhomogeneity, anisotropy, Arrow-Type array

در مطالعه ساختارهای زیرسطحی، نتایج به دست آمده با اثر ناهمگنی ترکیب شده و تفسیر داده ها را با مشکل مواجه می کند زیرا نادیده گرفتن ناهمسانگردی منجر به تفسیر نادرست داده های به دست آمده می شود. در مناطق سنگی به ویژه مناطقی که دچار هوازدگی، شکستگی یا گسلش شده باشند ناهمگنی های جانبی مانند سنگ های سخت، دایک ها، تکه سنگهای بزرگ مدفون یا لوله های مدفون وجود دارند که شارش جریان را تحت تاثیر قرار می دهند. تشخیص اثر

## مقدمه

یکی از مهمترین اهداف روش مقاومت ویژه شناسایی و تعیین ویژگی های ناهمگنی ها است. علاوه بر ناهمگنی ها، ناهمسانگردی نیز از موضوعات مورد مطالعه در روش مقاومت ویژه است. ناهمگنی های کم عمق در صورتی که هدف اصلی اکتشاف نباشند می توانند مشکلات زیادی در تفسیر داده های مقاومت ویژه به وجود بیاورند و موجب تفسیرهای نادرست شوند. گرچه اثر ناهمسانگردی در مقایسه با ناهمگنی پدیده ضعیفی محسوب می شود با این حال



شکل 1. مدل های نمونه ناهمگن و ناهمسانگرد: a: یک لایه ناهمسانگرد با سنگ بستر افقی، b: نیم فضا متشکل از یک لایه ضخیم ناهمسانگرد، c: یک لایه افقی همسانگرد روی یک زیر لایه ناهمسانگرد ( ساختار همگن و ناهمسانگرد) d: یک فصل مشترک شیبدار بین لایه سطحی همسانگرد و زیر لایه ناهمسانگرد (ساختار ناهمگن و ناهمسانگرد) (Schultz et al. , 2006)

راستای آرایش است. مفهوم ناهمسانگردی ابتدا توسط میللت (Maillet, 1947) معرفی شد. او نشان داد که ویژگی های ساختارهایی رسوبی متشکل از لایه های رس و مارن در حالتی که جریان موازی یا عمود بر لایه ها شارش می یابد بسیار متفاوت است (شکل 1a).

میللت چهار پارامتر برای بررسی این ساختار معرفی کرد:  $\rho_1$  مقاومت ویژه طولی،  $\rho_t$  مقاومت ویژه عرضی،  $\rho_m = (\rho_l \times \rho_t)^{1/2}$  مقاومت ویژه میانگین و  $\lambda = (\rho_t / \rho_l)^{1/2}$  ضریب ناهمسانگردی. البته وی با تقسیم ناهمسانگردی به

ناهمسانگردی نه تنها به تفسیر درست کمک خواهد کرد بلکه به خودی خود داده های زمین شناختی مناسبی را در اختیار ما قرار خواهد داد.

به طور کلی می توان تفاوت مفهوم ناهمگنی و ناهمسانگردی را در مطالعات مقاومت ویژه به این شکل بیان کرد: دریک فضای ناهمسانگرد بدون ناهمگنی، مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده تنها به راستای آرایش بستگی دارد و مستقل از مکان آرایش است. درحالی که در یک فضای ناهمگن مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده به مکان آرایش وابسته و مستقل از

انواع ماکرو، میکرو و شبه ناهمسانگردی، تنها به بررسی لایه های افقی؛ یعنی مدل یک بعدی پرداخت.

آنچه که در این دسته بندی تحت عنوان شبه ناهمسانگردی معرفی می شود (فصل مشترک شیبدار بین دو لایه همگن و همسانگرد با مقاومت ویژه های متفاوت)، در واقع ناهمگنی است. ولی این ناهمگنی چون منظم و یکنواخت تغییر می کند اثر خود را به عنوان نویز نشان نمی دهد و بنابراین موجب تفسیر نادرست می شود.

هابرجم (Habberjam, 1972) اولین کسی بود که به مطالعه نیم فضای همگن با لایه های متوالی مقاوم و رسانا پرداخت (شکل 1-4b). در این حالت علاوه بر چهار پارامتر قبلی، امتداد آزیموتی  $\beta$  و شیب لایه بندی  $\alpha$  نیز در نظر گرفته شده و پتانسیل از رابطه (1) قابل محاسبه است:

$$V(r, \varphi) = \frac{I\rho_m}{2\pi r \sqrt{1 + (\lambda^2 - 1) \sin^2 \alpha \sin^2 \varphi}} \quad (1)$$

واضح است که از اندازه گیری های سطحی تنها مقاومت ویژه ظاهری قابل اندازه گیری است: یعنی  $\rho_{amax}$  مقاومت ویژه ظاهری ماکریمم،  $\rho_{amin}$  مقاومت ویژه ظاهری

مینیمم،  $\rho_{am}$  مقاومت ویژه ظاهری میانگین و  $\lambda_a = (\rho_{amax} / \rho_{amin})^{1/2}$  ضریب ناهمسانگردی ظاهری. بر اساس پارادوکس ناهمسانگردی  $\rho_{amax}$  حالتی است که شارش جریان موازی با امتداد ساختار و  $\rho_{amin}$  حالتی است که شارش جریان عمود بر ساختار باشد.  $\alpha$  و  $\lambda$  از هم مستقل نبوده و از طریق ضریبی که ضریب ناهمسانگردی موثر نامیده می شود به هم وابسته اند (رابطه (2)):

$$\lambda_{eff} = (1 + (\lambda^2 - 1) \sin^2 \alpha)^{1/2} \quad (2)$$

در این صورت می توان مقاومت زمین را طبق رابطه (3)

$$R = \frac{V}{I} = \frac{\rho_m}{2\pi r} (1 + (n^2 - 1) \sin^2 \varphi)^{-1/2} \quad (3)$$

تعریف کرد:

برای مطالعه ناهمسانگردی معمولاً از آرایه های غیرخطی یا روش های آزیموتی استفاده می شود. روش های آزیموتی اغلب توسط هیدرولوژیست ها برای شناسایی شکستگی ها به کار می رود. این روش ها اصولاً با هدف تعیین امتداد ساختارهای زیر سطحی طراحی شده اند. در این شیوه مقاومت ویژه الکتریکی زمین بر حسب آزیموت حول یک نقطه مرکزی اندازه گیری می شود. هر تغییری در

مقاومت ویژه به عنوان ناهمسانگردی ناشی از شکستگی تعریف می شود. این نوع تفسیر در شرایطی که با ساختارهای شیبدار یا سایر اثرات جانبی مواجه باشیم پیچیده خواهد بود.

در ادامه مطالعات مربوط به ناهمسانگردی بولشاکوف و همکارانش (Bolshakov et al.1997,1998) جنبه های مختلف ناهمسانگردی را بررسی کرده و مفاهیم و ابزارهای جدیدی برای کاربردهای عملی پیشنهاد کرده اند.

طبق تعریف آنها یک لایه یا یک ساختار چند لایه ناهمسانگرد است وقتی که از چند طبقه نازک با مقاومت ویژه حقیقی متفاوت تشکیل شده باشد و اندازه گیری مقاومت ویژه وابسته به راستای آرایش الکترونی باشد. مفهوم ناهمگنی از نظر نویسندگان مقاله بر کل ساختار دلالت می کند.

A: در موقعیت اول (شکل 1c) ، در سطح زمین ، مقادیر مقاومت ویژه ظاهری با تغییر راستای آرایش تغییر زیادی را نشان می دهند، ولی این تغییر بدون توجه به مکان ایستگاه ها ثابت است.

B: در موقعیت دوم (شکل 1d) ، مقادیر مقاومت ویژه ظاهری در هر ایستگاه با تغییر راستای آرایش تغییر می کند و در عین حال تغییر مکان

ایستگاه نیز سبب تغییر مقدار آنها می شود.

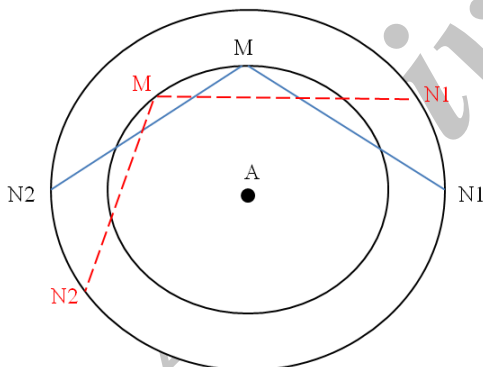
از آنجا که در عمل موقعیت دوم ، موقعیت غالب است، یعنی تاثیرات ناهمسانگردی ساختارها در محیط ناهمگن بیش از تاثیر ناهمگنی به تنهایی است، هدف آنها جدا کردن این تاثیرات و افزایش اثر ناهمسانگردی ، به منظور تشخیص و تعیین درست پارامترها و تفسیر کمی دقیق بود تا بتوان به یک مدل تا حد امکان واقعی رسید.

مقایسه حساسیت آرایش های مختلف آنها را بر آن داشت تا آرایشی به نام Arrow-type معرفی کنند (شکل 2). حساسیت بالای این روش نسبت به ناهمسانگردی را در مقایسه آرایه های خطی، می توان اینطور توضیح داد که در آرایه های خطی دامنه طیف با افزایش هارمونیک به طور یکنواخت کاهش پیدا می کند ، بنابراین هارمونیک صفرم بزرگ ترین دامنه را دارد. در آرایه D ، اولین هارمونیک زوج دامنه ای بزرگ تر از هارمونیک صفرم دارد و بنابراین حساسیت آن از آرایه خطی بیشتر است (شکل 3).

همچنین مفهوم "طیف آزمون" را در دیاگرام های قطبی مقاومت ویژه ظاهری توسط بولشاکوف و همکارانش معرفی شد. همانطور که می توان

ممکن است بتوان وجود ساختارهای غیر افقی را تایید کرد ولی چون دیاگرام قطبی این آرایه ها متقارن است ، از آنها نمی توان برای تشخیص تمایز بین ساختارهایی ناهمسانگرد لایه ای و اثرات دو بعدی و سه بعدی مربوط به شکستگی ها یا فرآیندهای تکتونیکی استفاده کرد.

آرایه Arrow-Type که در شکل نشان داده شده است آرایه ای با حساسیت زیاد نسبت به ناهمسانگردی است. این آرایه با زاویه 30 درجه می چرخد و هر بار اختلاف پتانسیل های MN1 و MN2 محاسبه می شود (شکل 3).

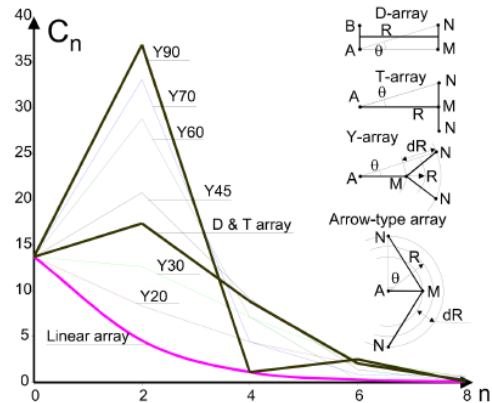


شکل 3. موقعیت الکترودهای اندازه گیری در آرایه Arrow-Type با آزیموت 30 درجه

عمق کاوش در این روش برابر  $(AM+AN)/2$  است. عملیات سونداژنی با افزایش شعاع AO ، گام به گام دنبال می شود. برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری با استفاده از پتانسیل های اندازه گیری شده باید از رابطه زیر  $\rho_a = K \frac{\Delta U}{I}$ ;  $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$

انتظار داشت موقعیت های A و B دیاگرام قطبی متفاوتی خواهند داشت: دیاگرام موقعیت A متقارن و دیاگرام موقعیت B نامتقارن است. در نتیجه طیف آزیموتی در موقعیت A تنها شامل هارمونیک های زوج ، و در موقعیت B ، شامل هارمونیک های زوج و فرد است. این یک راه کمی و کیفی برای جداسازی دو اثر ناهمگنی و ناهمسانگردی در یک ایستگاه است.

به طور کلی پذیرفته شده است که برای مطالعه یک فضای ناهمسانگرد به روش آزیموتی آرایه های غیر خطی بهتر از آرایه های خطی هستند (شکل 2).



شکل 2. مقایسه حساسیت آرایه های مختلف نسبت به ناهمسانگردی

در آرایش های خطی نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک بیضی ، برابر ضریب ناهمسانگردی ، و در آرایه های غیر خطی برابر ضریب ناهمسانگردی به توان 5 است. با استفاده از آرایه های خطی کلاسیک مثل ونر یا شولومبرگر

استفاده کرد:

الکترودها با زوایای آزیموتی مناسب ( آزیموت 30 درجه ) مشخص شد. اندازه گیری به روش Arrow-Type به این صورت انجام گرفت که طبق شکل 2 این آرایه با زاویه 30 درجه چرخانده و هر بار اختلاف پتانسیل های MN1 و MN2 محاسبه و یادداشت شد. اندازه گیری با دستگاه 4000 ABEM صورت گرفت . این دستگاه قابلیت تنظیم برای اندازه گیری مقاومت ویژه ظاهری (apparent resistivity) و یا مقاومت زمین (resistance) را دارد.

برای محاسبه K یا فاکتور هندسی آرایش از این رابطه استفاده شده است:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}}$$

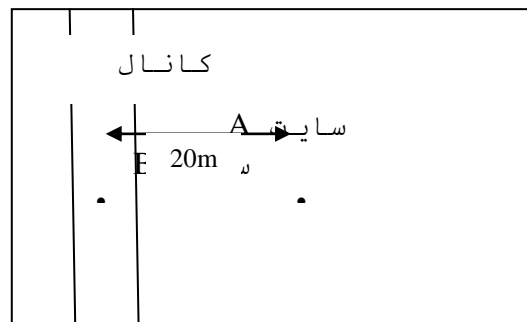
روش محاسبه

1 - ویژگی های آرایش Arrow-Type:

- استفاده از تک الکترودهای جریان (B) در بی نهایت است) برای چرخش مناسب تر است: در واقع برای جدا کردن ناهمگنی از ناهمسانگردی پیشنهاد می شود از چرخش نامتقارن به جای متقارن استفاده شود (مثلا در چرخش آرایه دو قطبی مربعی، به جای چرخاندن آرایه حول

## اندازه گیری های عملی

در این تحقیق به منظور آزمودن این آرایه سایتی انتخاب شده که هم دارای ناهمگنی و هم ناهمسانگردی بود. در این داده برداری کانال فاضلاب در سایت B به عنوان ناهمگنی در نظر گرفته شده است. برای بررسی اثر این ناهمگنی بر داده های آرایه Arrow-Type ، دو منطقه یکی روی ناهمگنی (سایت B) و دیگری با فاصله بیست متری ناهمگنی (سایت A) انتخاب شد. الکترودهای جریان A در این نقاط مشخص شده قرار داده شد در حالی که الکترودهای دوم در بی نهایت فیزیکی (فاصله حدود شصت متری) قرار گرفت. الکترودهای جریان در طول مدت اندازه گیری ثابت نگه داشته شدند (شکل 4).



برای یافتن محل مناسب قرار گرفتن الکترودهای پتانسیل چهار دایره به شعاع های 4، 6، 8 و 10 متری انتخاب و محل قرار گرفتن این

مرکز آرایش، آن را حول مرکز AB یا MN بچرخانیم).  
 هارمونیک های زوج طیف نتیجه اثر ناهمسانگردی و هارمونیک های فرد نتیجه ناهمگنی هستند. پس بهتر است در روش های آزمون از آرایه هایی استفاده شود که یک الکتروود جریان دارند (یکی در بی نهایت است).  
 - نامساوی  $AM < AN$  وجود اختلاف پتانسیل را در مدل لایه ای افقی تضمین می کند.  
 - تقارن  $MN1$  و  $MN2$  نسبت به  $AM$  موجب آشکارسازی ناهمگنی در ناهمسانگردی می شود.  
 - از آنجا که این آرایش از دو خط که با زاویه قائمه به هم متصل شده اند، تشکیل شده است و فاصله الکتروودها برابر است، استقرار آن ساده تر و فرآیند اندازه گیری و جابجایی الکتروودها با یک سیستم چند الکتروودی ساده تر و سریع تر است.  
 صرفنظر از روش گردآوری داده ها، روش تحلیل طیفی آزمون دیگرام های قطبی دارای مزایای

زیر است:  
 - این روش می تواند برای تحلیل هر آرایه خطی کلاسیک به کار رود.  
 - منجر به رسیدن به معادلات مناسبی برای همه پارامترهای ناهمسانگردی کلاسیک می شود.  
 - در یک ایستگاه، می تواند بین وجود ساختارهای ناهمسانگرد، در مقابل اثرات ناهمگنی دوبعدی و سه بعدی، از طریق استفاده از نسبت بین مجموع هارمونیک های زوج و فرد، تمایز قایل شود.  
 2- رسم طیف (پردازش و تفسیر داده ها):  
 اولین گام تفسیر رسم طیف سونداژ مقاومت ویژه آزمون است. دیگرام قطبی همانطور که گفته شد از رسم مقادیر مقاومت ویژه بر حسب زاویه آزمون آن در یک نمودار قطبی به دست می آید. این دیگرام که دیگرام (Azimuthal ARS Resistivity Sounding) نامیده می شود، یک تابع متناوب است و طیف گسسته دارد. برای آن می توان یک سری فوریه در نظر گرفت:

$$\rho_a(\varphi_i) = A_0 + \sum_{n=1}^{N/2} (A_n \cos(n\varphi_i) + B_n \sin(n\varphi_i)) \quad (4)$$

پس از انجام محاسبات ریاضی داریم:

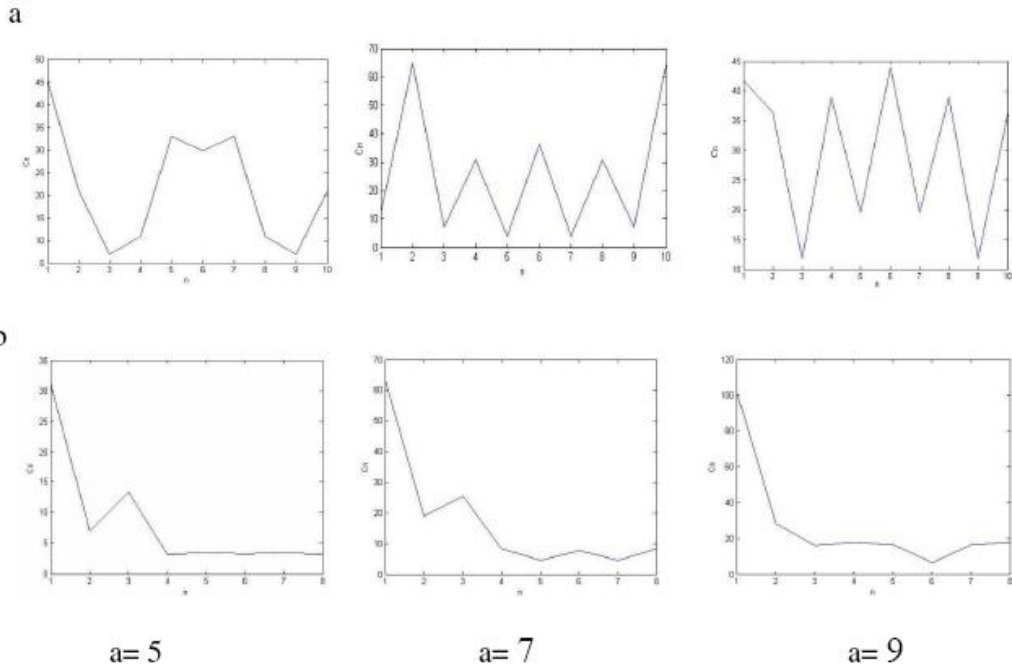


بحث

1 رسم منحنی های  $C_n$  مرحله بعدی، رسم منحنی های  $C_n$  بر حسب  $n$  است. برای رسم این منحنی ها که معیاری از ناهمگنی و ناهمسانگردی را در اختیار ما قرار می دهند، از رابطه (4) و (5) استفاده می شود. در این منحنی ها ظهور هارمونیک های فرد نشان دهنده وجود ناهمگنی است و مقادیر بسیار کوچک  $C_n$  به ازای  $n$  های فرد به معنی وجود ساختار ناهمسانگرد بدون ناهمگنی خواهد بود. مشاهده می شود در نمودارهای سایت  $A$  که فاقد ناهمگنی است (به جز منحنی اول برای شعاع 5 متری) هارمونیک های فرد وجود ندارند (مقادیر آنها بسیار کوچک است) در حالی که این مقادیر در نمودارهای سایت  $B$  ظاهر می شوند. دامنه این منحنی ها از هارمونیک چهارم به بعد بسیار کوچک می شود. این منحنی ها در شکل 5 رسم شده اند.

$$\rho_a(\varphi) = \rho_1 \left[ C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(2n\varphi) \right]. \quad (5)$$

تفاوت دو رابطه (4) و (5) در این است: در رابطه (4) هم هارمونیک های فرد و هم هارمونیک های زوج وجود دارند در حالی که رابطه (5) فقط شامل هارمونیک های زوج است. وجود هارمونیک های فرد در رابطه (4)، یک مشخصه اساسی است: این هارمونیک ها مربوط به اثر ناهمگنی ها هستند و منجر به بروز عدم تقارن در دیاگرام های آزیموتی می شوند. هارمونیک  $C_0$  نیز در واقع میانگین مقادیر مقاومت ویژه در یک شعاع مشخص است. به این ترتیب می توان از این رابطه برای حذف اثر ناهمگنی های سطحی استفاده کرد، چرا که مقادیر مقاومت ویژه که از این رابطه به دست می آیند تنها شامل هارمونیک های زوج هستند و هارمونیک های فرد از آن حذف شده اند.

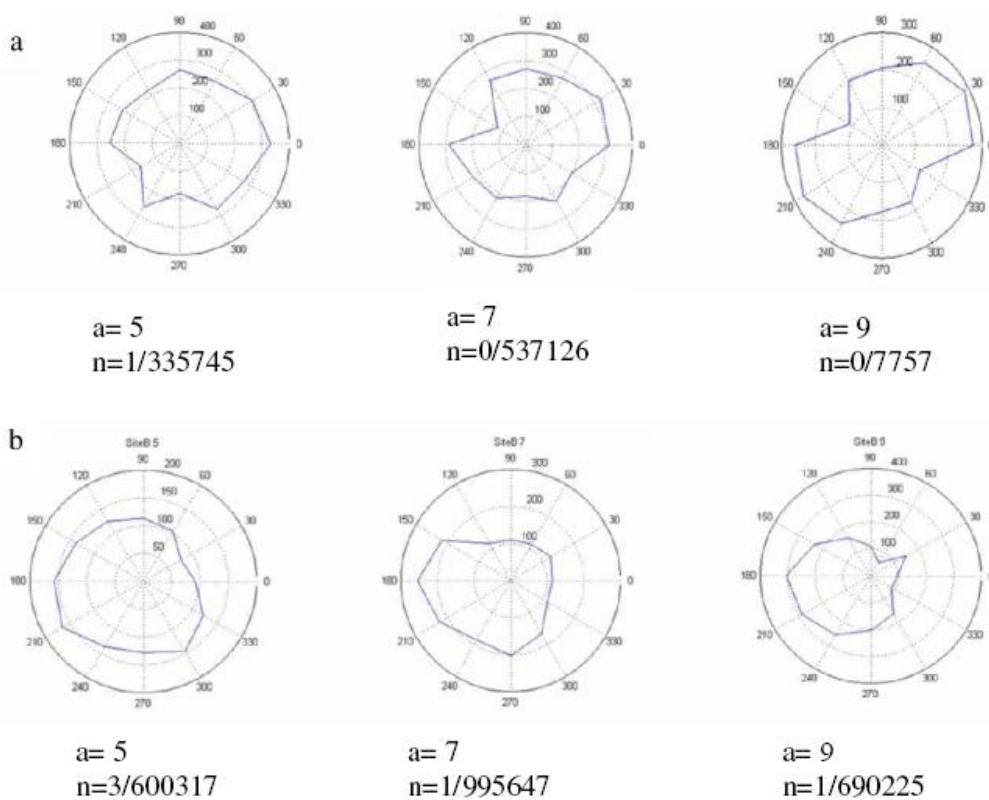


شکل (5): طیف دیاگرام مقاومت ویژه آزیموتی برای سایت A(a) و سایت B(b)

آمده مقاومت ویژه ظاهری بر حسب زاویه آزیموتی رسم شده است (شکل 6). عدم تقارن در این منحنی ها به معنی وجود ناهمگنی خواهد بود. به عبارت دیگر دیاگرام های قطبی در سایت A که فاقد ناهمگنی است تقریباً متقارن، و دیاگرام های قطبی مربوط به سایت B که روی ناهمگنی (کانال فاضلاب) قرار گرفته است نامتقارن هستند. از آنجا که امتداد کشیدگی قطر بزرگ بیضی به عنوان راستای ناهمسانگردی تفسیر می شود، دیاگرام های قطبی سایت A (به جز دیاگرام اول برای شعاع 5 متری) به خوبی راستای ناهمسانگردی را نشان می دهند.

همانطور که دیده می شود هارمونیک های فرد در نمودارهای مربوط به سایت A مقادیر بسیار کمتری نسبت به هارمونیک های زوج دارند (به جز اولین منحنی به ازای  $R=5m$ ) که نشان دهنده یک ساختار بدون ناهمگنی است. در شکل 4b وجود هارمونیک های فرد نشان دهنده ساختار ناهمگن است. این نمودارها مربوط به سایت B هستند که روی ناهمگنی (کانال فاضلاب) قرار گرفته است.

2- دیاگرام های قطبی :  
رسم منحنی های قطبی، نتیجه به دست آمده از منحنی های  $C_n$  را تایید می کند. در این منحنی ها مقادیر به دست



شکل (6): دیاگرام قطبی مقاومت ویژه ظاهری برای سایت A(a) و سایت B(b)

آمده رسم شده اند. مشاهده می شود که پس از حذف اثر ناهمگنی های سطحی آنچه که باقی می ماند تنها اثر ناهمسانگردی است که نتیجه آن با نمودارهای قبلی مطابقت دارد یعنی امتداد کشیدگی قطر بزرگ بیضی یا همان راستای ناهمسانگردی، با نتایج به دست آمده از نمودارهای سایت A هم خوانی دارد. این در واقع مهم ترین ویژگی آرایه Arrow-Type است یعنی با استفاده از این آرایه می توان اثر ناهمگنی های سطحی را از اثر ناهمسانگردی تشخیص داد و سپس آن را حذف کرد.

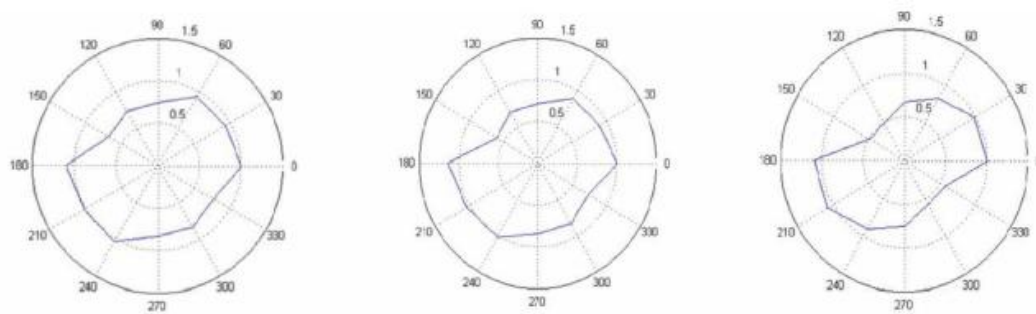
### نتیجه گیری

روش Arrow-Type روشی بسیار کار آمد برای تحلیل کیفی در مطالعه ناهمسانگردی است. این

دیاگرام های قطبی برای سایت B نامتقارن هستند که نشان دهنده وجود ناهمگنی است. این نمودارها در شکل 5 نشان داده شده اند. n نشان دهنده نسبت ضریب فرد به زوج است. همانطور که دیده می شود نسبت هارمونیک های فرد به زوج در سایت B که دارای ناهمگنی است به وضوح بیش از سایت A است.

### 3 حذف اثر ناهمگنی از داده ها:

پس از یافتن محل ناهمگنی می توان با استفاده از رابطه (5) اثر ناهمگنی را از داده ها حذف کرد چرا که در این رابطه تنها هارمونیک های زوج وجود دارند. نمودارهای شکل 7 با استفاده از مقادیری که از این محاسبه به دست



a=5

a=7

a=9

شکل (7) : دیاگرام های آرایه Arrow-Type در سایت B پس از حذف ناهمگنی

است. همچنین مقادیر بیشتر نسبت هارمونیک های فرد به زوج به عنوان نشانه ای بر وجود ناهمگنی های سطحی تعبیر می شود. با این حال باید گفت برای تحلیل کمی با استفاده از این آرایه، به تعداد زیادی داده نیاز است و اگر تعداد دایره های برداشت زیادتر باشد (در اینجا به داده برداری روی سه دایره اکتفا شده است) می توان با تبدیل داده ها به سونداژ VES یعنی تنها با استفاده از هارمونیک صفرم هر مسیر، عمق سنگ بستر را یا تقریب بسیار خوبی تخمین زد.

### مراجع

جودکی، صبا، 1388، حذف اثر ناهمگنی با استفاده از آرایه Arrow-Type و مقایسه با داده های تبدیل یافته به شولومبرگر: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رازی کرمانشاه.

Bolshakov, D.K., Modin, I.N., Pervago, E.V. and Shevnin, V.A., 1997. Separation of anisotropy and inhomogeneity influence by azimuthal resistivity diagram's analysis. Proceedings of the International Symposium on

روش با توانایی جدا کردن اثرات ناهمگنی و ناهمسانگردی و نیز با قابلیت حذف اثرات ناهمگنی های سطحی از داده ها در مطالعاتی که هدف آنها بررسی ناهمسانگردی و ویژگی های آن است اهمیت زیادی دارد. نتایج به دست آمده از کار صحرایی به خوبی قابلیت های این آرایه را نشان می دهد. دیاگرام های قطبی، نمودارهای Cn و همچنین مقدار عددی نسبت هارمونیک های فرد به هارمونیک های زوج می توانند به عنوان معیاری برای بررسی میزان اثر ناهمگنی در داده ها تفسیر شوند؛ به این ترتیب که در دیاگرام های قطبی وجود عدم تقارن به معنی وجود ناهمگنی است.

این اثر در منحنی های Cn خود را به صورت ظهور هارمونیک های فرد در طیف نشان می دهد. در واقع این هارمونیک های فرد نشان دهنده وجود ناهمگنی های سطحی هستند. در طیف مربوط به ساختار ناهمسانگرد بدون ناهمگنی، مقادیر هارمونیک های فرد در مقایسه با هارمونیک های زوج به وضوح بسیار کمتر

Engineering and Environmental Geophysics, Chengdu, China, pp. 239–245

Bolshakov, D.K., Modin, I.N., Pervago, E.V. and Shevnin, V.A., 1998. New step in anisotropy studies: Arrow-Type array. Proceeding of the 4th EEGS-European Section Meeting, Barcelona, Spain, pp. 875-860.

Habberjam, G.M., 1972. The effects of anisotropy on square array resistivity measurements. *Geophysical Prospecting* 20, 249–266.

Habberjam, G.M., 1975. Apparent resistivity, anisotropy and strike measurements. *Geophysical Prospecting* 23, 211–247.

Habberjam, G.M. and Watkins, G.E., 1967. The use of square configuration in resistivity prospecting. *Geophysical Prospecting* 15, 445-467.

Maillet, R., 1947. The fundamental equations of electrical prospecting. *Geophysics* 12 (4), 529–556.

Schmutz, M., Andrieux, P., Bobachev, A., Montoroi, J.P. and Nasri, S., 2006. Azimuthal resistivity sounding over a steeply dipping anisotropic formation a case history in central Tunisia. *Journal of Applied Geophysics* 60, 213- 224.