



Analysis of some error-causing factors in two-dimensional geoelectrical studies and providing a solution to minimize them

Hosein Moghaddasi^{1*}, Mohsen Moghaddasi², Ahmad Neyamadpour³

¹ Exploration geophysicist, Jarfabkavosh Co., Tehran, Iran

² Exploration geophysicist, Jarfabkavosh Co., Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geophysics, Masjed-Soleiman Branch, Islamic Azad University, Masjed-Soleiman, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History

Received: 21 August 2024
Revised: 19 October 2024
Accepted: 21 October 2024

Keywords

dipole-dipole
pole-dipole
geoelectric
electrical resistivity
chargeability
RES2DINV

In recent years, two-dimensional geoelectrical surveys have become one of the common and conventional methods in mineral exploration, groundwater resources investigations, engineering geophysics, archeology, etc. However, in some cases, these studies could not reach the targeted and expected results, and sometimes the geophysical results obtained have had a significant distance from the results obtained from direct studies such as drilling, etc. In this article, authors try to comprehensively analyze some factors that cause errors in two-dimensional geoelectrical studies, and on the other hand, state solution for minimizing the amount and severity of the discussed errors. Also, it has been tried to provide practical solution and approach for minimizing the error factors by a deep understanding of the source and mechanism of error factors. Finally, a case study in which geoelectrical data has been acquired by applying that new approach has been presented.

*Corresponding author

Hosein Moghaddasi
✉ moghaddasihosein@yahoo.com

How to cite this article

Moghaddasi, H., Moghaddasi, M. and Neyamadpour, A., 2024. Analysis of some error-causing factors in two-dimensional geoelectrical studies and providing a solution to minimize them. *Journal of Economic Geology*, 16(3): 123–136. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1123>



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

2d geoelectrical investigations are one of the most important and effective methods for the study and exploration of different minerals, groundwater, etc (Moghaddasi, et al., 2020). They are also used for geotechnical and engineering geophysics analyses. But in some projects, the final validation test results such as drilling don't correspond so much with geoelectrical results so the output of the project didn't satisfy the clients. In this article, we will discuss error-causing factors and will provide a solution to minimize them.

Discussion

Pole-dipole and dipole-dipole arrays are two of the most used arrays for 2d geoelectrical studies. Figure 1 shows these arrays. The spacing between the current electrodes pair, C2-C1, is given as "a" which is the same as the distance between the potential electrodes pair P1-P2. These arrays have another factor marked as "n". This is the ratio of the distance between the C1 and P1 electrodes to the C2-C1 (or P1-P2) dipole length "a" (Loke, 2023).

But one of the main questions is what is the maximum and reasonable "n" for each array and why data acquisition by the large amount of "n" is wrong and leads to bad data?

First of all, we consider the sensitivity function meaning. The sensitivity function tells us the degree to which a change in the resistivity of a section of the subsurface will influence the potential measured by the array. The higher the value of the sensitivity function, the greater the influence of the subsurface region on the measurement (Loke, 2023). Now we discuss about those arrays:

Pole-dipole array

The pole-dipole array also has relatively good horizontal coverage, but it has a significantly higher signal strength than the dipole-dipole array and is not as sensitive to telluric noise as the pole-pole array (Loke, 2023).

By following figures, we analyze the effect of the large "n" on the acquired data in this array:

Figure 2 sensitivity sections show that the area with the greatest sensitivity lies beneath the P1-P2 dipole pair, particularly for large "n" factors. For "n" values of 4 and higher, the high positive sensitive lobe

beneath the P1-P2 dipole becomes increasingly vertical (Loke, 2023).

It can be understood based on Figure 3 what will happen when the 'n' factor jumps from 6 to 12 to 18. Here, the dipole length is kept constant at 1 meter. When 'n' is equal to 6 there are reasonably high sensitivity values to a depth of about 3 to 4 meters between the C1 current and the P1 potential electrode. When 'n' is increased to 12, the zone of high sensitivity values becomes increasingly more concentrated below the P1-P2 dipole in an even shallower region. This means that the array with 'n' equal to 12 is less sensitive to deeper structures than the array with 'n' equal to 6. This effect is even more pronounced when 'n' is increased to 18. (Loke, 2023).

Figure 4 shows the apparent resistivity anomaly due to a small near-surface high resistivity block for the pole-dipole array for 'n' values of up to 28. Note that the amplitude of the high resistivity anomaly due to the near-surface block increases with the 'n' value, i.e., the array becomes increasingly more sensitive to the near-surface block as the separation between the electrodes increases. In field surveys with the pole-dipole array where the 'n' factor is monotonically increased in the belief that this increases the survey depth, the pseudosection is frequently dominated by a series of parallel slanting high-amplitude anomalies due to near-surface inhomogeneities. The anomalies due to the near-surface structures frequently mask the anomalies due to deeper structures that are of interest. (Loke, 2023).

Dipole-dipole array

This array has been, and is still, widely used in I.P. surveys because of the low EM coupling between the current and potential circuits.

Figure 5 shows dipole-dipole sensitivity sections for n: 1, 2, 4, and 6 (Loke, 2023). Again, as can be seen for this array by increasing the "n" factor sensitivity tends to be beneath of dipole position on the surface and the sensitivity of the deeper part (which is our target zone for investigation), decreases dramatically

Now we can understand how much lateral resistivity inhomogeneities, rough topography, presence of high contact resistance, etc., (which are all unavoidable factors in IP/Rs data acquisition), will have an adverse effect on final data when data is acquired by larger.

Also, during the inversion process, even those

correct data which was acquired by smaller 'n' will be badly affected in the final sections.

Loke, as the creator of Res2dinv software, states that acquired data with "n" higher than 6-8 are so susceptible to noises, etc., and can cause wrong data (Loke, 2023). However, according to the authors of this article, even these values should be considered with caution and we suggest data acquisition with an even lower "n".

In fact, in the real world, and especially in IP/Rs investigation, many factors are the source of noise and we should use lower "n" factors to get the correct and real data.

Unfortunately, in some projects using larger "n" is routine and this is the main reason for failing the 2d geoelectrical project.

Suggested and optimal method

According to the mentioned sensitivity sections, it can be seen that the best scenario for geoelectrical surveys is when the surveys are done by $n=1$, and for increasing the exploration depth, the electrode distance (a) is gradually increased instead of increasing the "n" factor. The most favorable state of the sensitivity cross-section, the highest amount of signal to noise, and the least impact of noises and surface inhomogeneities occur in $n=1$. Nowadays with the introduction of newer technologies such as

automatic electrode switching geoelectric equipment and also switch boxes, the suggested optimal method can be implemented more easily.

Geoelectrical surveys with this method ($n=1$ and intermittent increase of the electrode distance) may reduce the speed of the operation and be less economical for contractors, but the results of the geoelectrical studies conducted with this method are much more reliable

Figure 6Fig.. shows one of the case studies in which authors used above suggested method and the results were excellent and RMS was very low.

Conclusion

In this article, it was tried to present a kind of pathology regarding the reasons of the failure of some two-dimensional geoelectrical studies with an analytical view and by the results obtained from the modeling and also the field analysis of the authors. It was clarified how much measurements with high "n" values can cause errors.

Finally, it was stated that the maximum reasonable and reliable number for n is 6-8 and it was stated that due to the presence of noise sources, also these numbers should be considered with caution.

Finally, the optimal method from which the best results are obtained was proposed.



تحلیلی آسیب‌شناسانه بر برخی عوامل ایجادکننده خطا در بررسی‌های ژئوالکتریک دوبعدی و ارائه راهکاری برای کمینه‌کردن آنها

حسین مقدسی^{۱*}، محسن مقدسی^۲، احمد نیامدپور^۳

^۱ کارشناس ارشد ژئوفیزیک اکتشافی، شرکت مهندسی ژرفاب کاوش، تهران، ایران

^۲ کارشناس ارشد ژئوفیزیک اکتشافی، شرکت مهندسی ژرفاب کاوش، تهران، ایران

^۳ استادیار، گروه ژئوفیزیک، واحد مسجد سلیمان، دانشگاه آزاد اسلامی، مسجد سلیمان، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

در سال‌های اخیر برداشت‌های ژئوالکتریک دوبعدی به یکی از روش‌های متداول و مرسوم در بررسی‌های اکتشاف معادن، اکتشاف منابع آب زیرزمینی، بررسی‌های ژئوفیزیک مهندسی، باستان‌شناسی و ... تبدیل شده است؛ اما بر حسب بازخوردهای حاصل شده، در پاره‌ای از موارد این بررسی‌ها به نتیجه مطلوب و مورد انتظار منجر نشده است و گاهی نتایج به دست آمده فاصله معناداری با واقعیت‌های به دست آمده از بررسی‌های مستقیم نظیر حفاری و ... داشته است. در این مقاله سعی می‌شود به تحلیل جامعی از عوامل ایجادکننده خطا در بررسی‌های دوبعدی ژئوالکتریک پرداخته شود و از سوی دیگر، با بیان استانداردهای برداشت استنباط‌شده از این تحلیل‌ها، میزان و شدت خطاهای مورد بحث را کمینه کرد. همچنین سعی شده با شناخت ملموس و شهودی نسبت به ایجاد عوامل خطا، پیشنهادی بهینه و اجرایی برای حذف عوامل خطا ارائه شود که در نهایت با نتایج به دست آمده از یک مثال موردی به آن پرداخته شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

واژه‌های کلیدی

دوقطبی - دوقطبی

قطبی - دوقطبی

ژئوالکتریک

مقاومت ویژه الکتریک

شارژپذیری

نرم‌افزار RES2DINV

نویسنده مسئول

حسین مقدسی

moghaddasihosein@yahoo.com✉

استناد به این مقاله

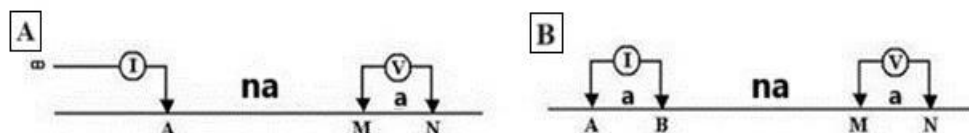
مقدسی، حسین؛ مقدسی، محسن و نیامدپور، احمد، ۱۴۰۳. تحلیلی آسیب‌شناسانه بر برخی عوامل ایجادکننده خطا در بررسی‌های ژئوالکتریک دوبعدی و ارائه راهکاری برای کمینه‌کردن آنها. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۶(۳): ۱۲۳-۱۳۶. <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1123>

مقدمه

فاصله بین جفت الکتروود جریان و پتانسیل و فاصله الکتروودی است، در آرایه‌هایی نظیر دوقطبی-دوقطبی، قطبی-دوقطبی و ... تا اعدادی گاه ۱۵، ۲۰ و حتی بیشتر برداشت می‌شود که در این مقاله با تحلیل فنی بیان می‌شود که این داده‌ها، غیر قابل استناد بوده و حتی داده‌های صحیح برداشت شده در n های پایین تر را در حین فرایند **وارون‌سازی** تحت تأثیر قرار داده و مقطع نهایی به دست آمده غیر قابل تطابق با واقعیت زمین است. در نهایت با تحلیل صورت گرفته و درک مفهومی و شهودی موضوع راهکاری برای کمینه کردن این خطای رایج ارائه می‌شود.

بیان صورت مسئله

قبل از ورود به بحث ابتدا برای آشنایی خوانندگان محترم ابتدا به صورت شماتیک آرایه دوقطبی-دوقطبی و قطبی-دوقطبی نمایش داده می‌شود و عامل n معرفی می‌شود (Kalagari, 1992; Moghaddasi, et al., 2020) (شکل ۱- A و B).



شکل ۱. A: آرایه قطبی-دوقطبی و B: آرایه دوقطبی-دوقطبی

Fig. 1. A: Pole-dipole array, and B: dipole-dipole array

در این مقاله با دلایل زیر بیان می‌شود که در محیط واقعی، قرائت‌های صورت گرفته با مقادیر n بالای ۶ (یا در نهایت ۸) قابل استناد نیستند و بالا بودن شدت سیگنال تأثیری بر روی قابل استناد بودن داده ندارد. در حقیقت ممکن است داده به دست آمده از لحاظ دقت و تکرارپذیری درست باشد؛ اما داده‌ای مناسبی برای انجام فرایند برگردان (Meju, 1986) نیست.

نرم‌افزار RES2DINV از اصلی‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده برای وارون‌سازی داده‌های ژئوالکتریک دو بعدی بوده که

روش‌های ژئوفیزیکی کاربرد گسترده‌ای در بررسی‌های اکتشافی، مهندسی و ... دارند (Moshtaghian, et al., 2022; Moghaddasi, et al., 2024). در سال‌های اخیر، ژئوالکتریک به عنوان یکی از شاخه‌های ژئوفیزیک بسیار مورد توجه قرار گرفته و با رویکردهای مختلف از آن بهره گرفته شده است (Neyamadpour, et al., 2010; Ghanbari, et al., 2020). این علم همانند سایر روش‌های ژئوفیزیکی دارای محدودیت‌های ذاتی نظیر عدم یکتایی جواب، تفکیک پذیری پایین به خصوص با افزایش عمق کاوش و ... است (Samadi, 2012) که به طور طبیعی بخشی از آنها به فیزیک موضوع برمی‌گردد و اجتناب‌ناپذیر است. بعضی از خطاهای ایجاد شده و به دنبال آن نتایج غیر قابل استناد به دست آمده، به این علت است که فهم جامع و عمیقی نسبت به آرایه‌های برداشت ژئوالکتریک و نحوه برداشت آنها از طرف بعضی مجریان وجود ندارد. به عنوان مثال در برداشت‌های ژئوالکتریک دو بعدی قرائت‌هایی با عامل n که بیانگر نسبت

در حقیقت طبق شکل، عامل n بیانگر نسبت فاصله بین جفت الکتروود جریان و پتانسیل و فاصله الکتروودی (a) است (Milsom and Eriksen, 2011). نویسندگان این مقاله در سال‌های فعالیت خود مشاهده کرده‌اند که در طرح‌های بررسی ژئوالکتریک دو بعدی در داخل کشور، عامل n تا مقادیر بالایی حتی تا ۱۵ تا ۲۰ قرائت می‌شود. وقتی از بعضی از مجریان سؤال می‌شود، بیان می‌دارند که با توجه به استفاده از ژنراتور و بالا بودن سیگنال به نوبت، پس به طور اساسی، داده به دست آمده قابل استناد است؛ اما

می‌توان گفت که هرچه تابع حساسیت در یک نقطه از مقطع مقدار بیشتری داشته باشد، آن نقطه تأثیر بیشتری در مقدار مقاومت ویژه ظاهری قرائت شده خواهد داشت. با استفاده از این مقاطع می‌توان آرایش‌های الکترودی مناسبی را در شرایط مختلف زمین‌شناسی برای برداشت‌های یک بعدی و دوبعدی بررسی‌های ژئوالکتریک تشخیص داد.

برای انجام برداشت‌های ژئوالکتریک، بهترین چینش الکترودها در حالتی است که توزیع همگونی از مقدار تابع حساسیت در فضای نیم صفحه زمین وجود داشته باشد. هرچه این توزیع ناهمگون‌تر باشد و به عنوان مثال در زیر جفت الکترودهای جریان یا پتانسیل متمرکز باشد، از هدف مطلوب فاصله گرفته‌ایم. به زبان ساده، در چنین شرایطی یک ناحیه هرچند کوچک با مقدار بالای حساسیت، تأثیر زیادی روی داده قرائت شده می‌گذارد و نیاز به فرایندهای وارون‌سازی را که در اصل دارای عدم قطعیت بوده، بالا می‌برد. در **شکل ۲**، مقاطع حساسیت مربوط به آرایه قطبی - دوقطبی ارائه شده است.

با بررسی این مقاطع مشخص می‌شود که هرچه مقدار n افزایش می‌یابد، نواحی بیشینه حساسیت (یعنی نواحی که بیشترین تأثیر را بر روی داده قرائت شده دارند)، به سمت جفت الکترودهای پتانسیل P1-P2 و تک الکترودهای جریان C1 متمایل می‌شوند. به عنوان مثال اگر در زیر جفت الکترودهای پتانسیل P1-P2 نویزهایی نظیر ناهمگنی‌های سطحی، مقاومت تماسی بالا، توپوگرافی خشن و ... وجود داشته باشد، این شرایط بی‌هنجاری کاذبی ایجاد می‌کند که به وجود یک توده بی‌هنجار عمیق در مرکز آرایه نسبت داده می‌شود؛ در صورتی که این بی‌هنجاری در اثر وجود یک توده سطحی کوچک و یا نویز در زیر جفت الکترودهای پتانسیل ایجاد شده است.

همچنین با بررسی مقاطع حساسیت این آرایه در مقادیر n بالا (**شکل ۳**) مشاهده می‌شود، محلی در مرکز آرایه که داده برداشت شده به این محل نسبت داده می‌شود، مقدار تابع حساسیت بسیار پایینی داشته و به عبارتی تأثیر بسیار کمی در مقدار مقاومت ویژه

پدیدآورنده این نرم‌افزار لوک (Loke, 2023) است. وی فایل آموزشی تحلیلی با عنوان 2-D and 3-D electrical imaging survey ارائه کرده است. بسیاری موارد فنی مربوط به بررسی‌های ژئوالکتریک که بر اساس آن نرم‌افزار را طراحی کرده است، در این فایل آموزشی بیان شده است. در این نرم‌افزار با ذکر دلایل فنی، به محدودیت‌ها و پیش‌شرط‌هایی که باید برای برداشت هر آرایه در نظر داشت، اشاره کرده است. این فایل به طور مرتب از سال ۱۹۹۶ تاکنون بازنگری شده و نسخه نهایی آن مربوط به سال ۲۰۲۳ است (Loke, 2023). بدیهی است تحلیل داده‌های ژئوالکتریک بدون فهم کامل این موضوعات امکان‌پذیر نیست. حال در اینجا با بهره‌گیری از محتوای این فایل آموزشی، به بررسی دو آرایه متداول در بررسی‌های ژئوالکتریک دوبعدی می‌پردازیم.

آرایه قطبی - دوقطبی

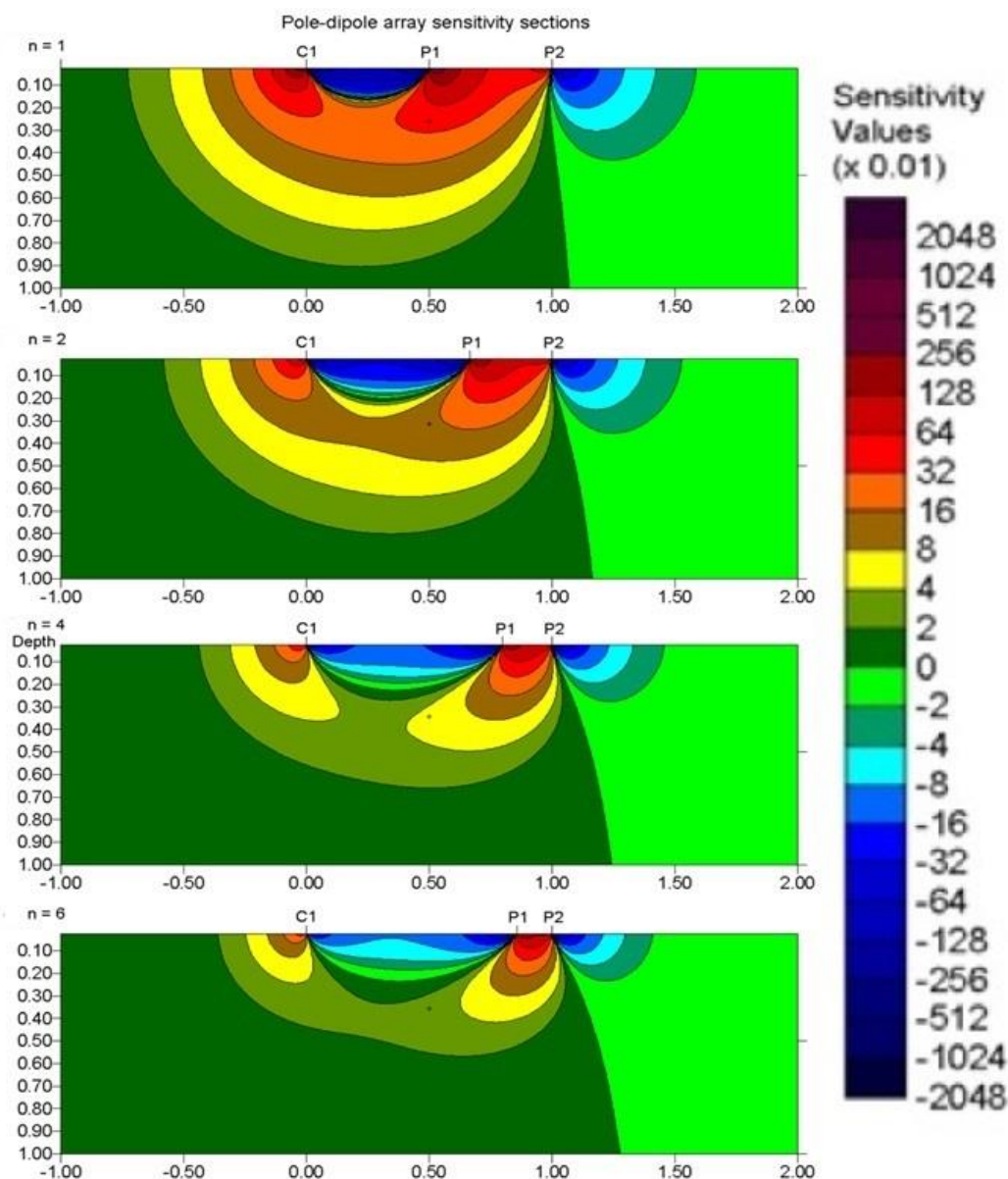
یکی از رایج‌ترین آرایه‌ها برای برداشت دوبعدی آرایه قطبی - دوقطبی است (Dentith and Mudge, 2014) که آرایه‌ای نامتقارن بوده و نسبت سیگنال به نویز بالاتری نسبت به آرایه دوقطبی - دوقطبی داشته و کمتر تحت تأثیر جریان‌های تلوریک قرار می‌گیرد و از آن به صورت رایج برای بررسی‌های IP/Rs استفاده می‌شود (Loke, 2023). این آرایه مانند دیگر آرایه‌ها، از مزیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود برخوردار است؛ اما سؤال اصلی این است که برای برداشت با آرایه قطبی - دوقطبی می‌توان بیشینه تا چند پرش (n) اقدام کرد؟

قبل از ورود به مبحث برای درک بهتر موضوع به معرفی موضوعی مهم در بررسی‌های ژئوالکتریک به نام **تابع حساسیت** می‌پردازیم (Loke, 2023).

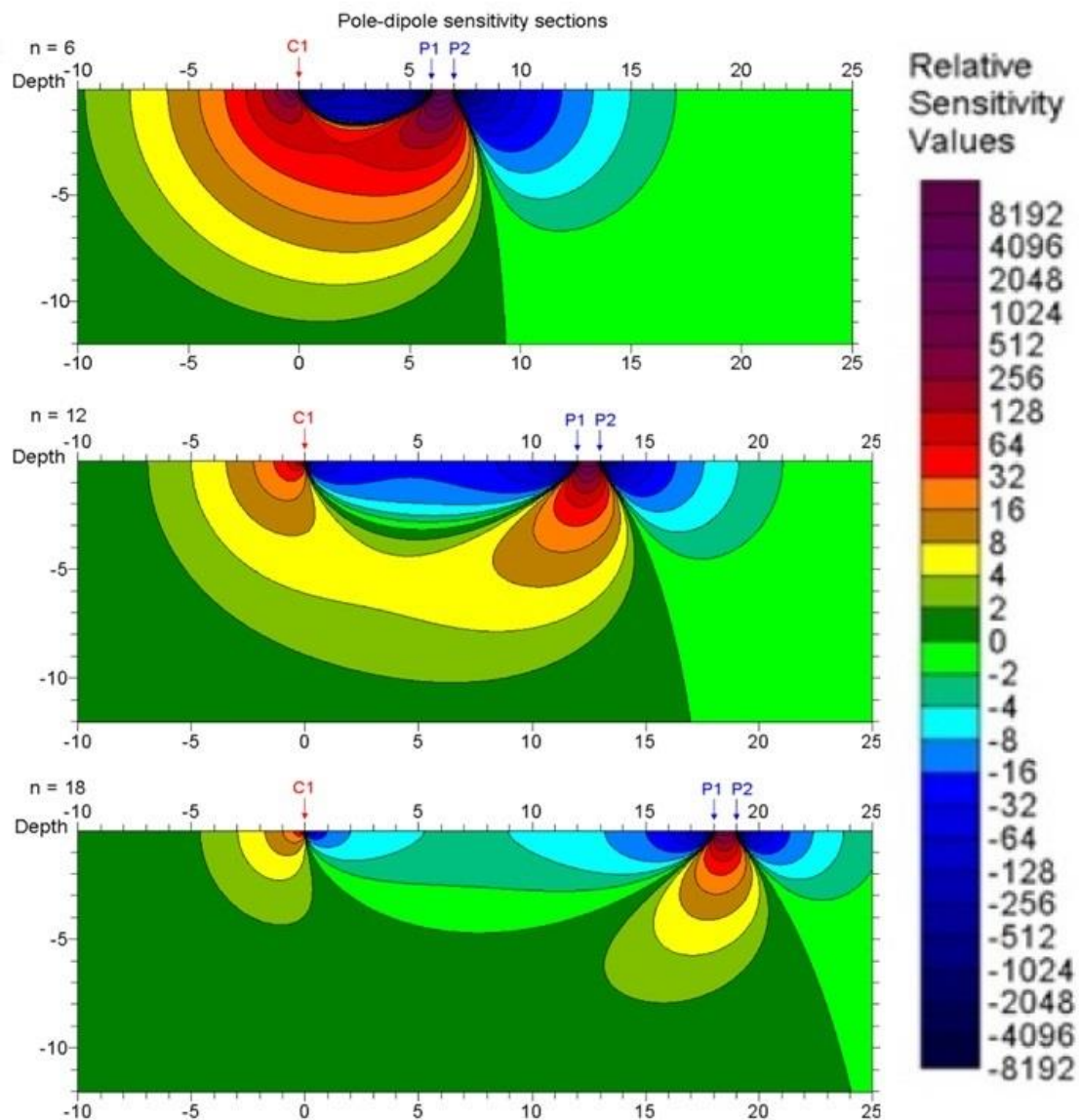
تابع حساسیت به بررسی میزان حساسیت و تأثیرگذاری هر نقطه از فضای نیم صفحه زیر زمین بر روی مقدار مقاومت ویژه ظاهری قرائت شده می‌پردازد. با استفاده از این تابع می‌توان مقطع حساسیت در راستای خط چینش الکترودها برای هر آرایه الکترودی را به صورت جداگانه محاسبه و ترسیم کرد. در توضیح این مقاطع

توپوگرافی، خطای مقاومت تماسی و ناهمگنی جانبی در زیر جفت الکتروود جریان یا پتانسیل به حتی یک هزارم واحد خطا منجر شود، این خطا در اثر مقادیر بسیار بالای حساسیت زیر جفت الکتروودها بسیار دچار بزرگ‌نمایی شده و در عدد نهایی قرائت شده تأثیر منفی فراوانی دارد.

ظاهری یا شارژپذیری قرائت شده داشته است که این باعث گمراهی در تحلیل نتایج می‌شود. برای درک بهتر موضوع می‌توان بیان داشت، همان‌گونه که قابل ملاحظه است، مقادیر تابع حساسیت در n های بالا (۱۲ و ۱۸) به بیش از هشت هزار واحد می‌رسد و اگر فرض شود حضور مقداری



شکل ۲. مقاطع حساسیت آرایه قطبی - دوقطبی برای n های ۱، ۲، ۴ و ۶
 Fig. 2. Pole-dipole sensitivity sections for n : 1, 2, 4 and 6



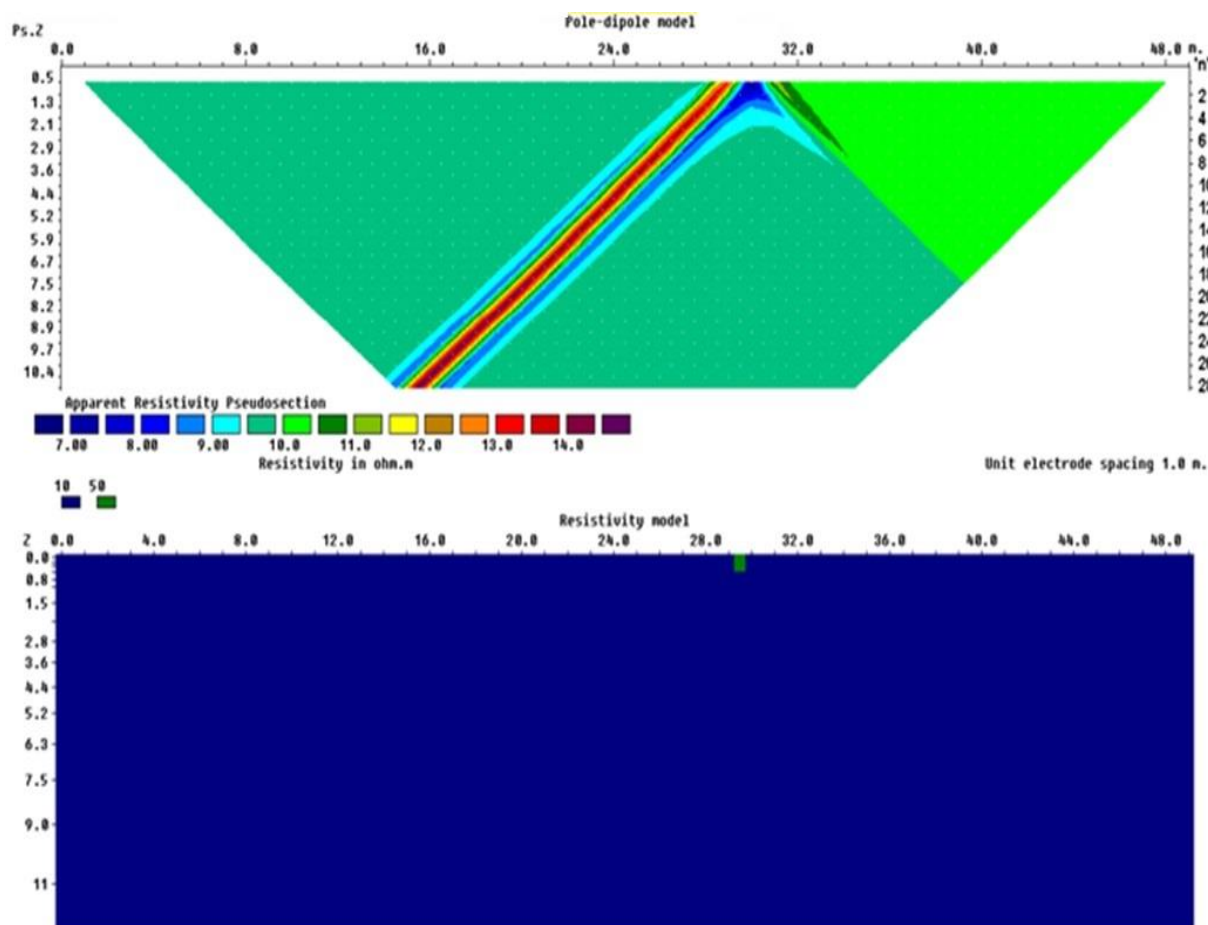
شکل ۳. مقاطع حساسیت آرایه قطبی-دوقطبی برای n های ۶، ۱۲ و ۱۸

Fig. 3. Pole-dipole sensitivity sections for n : 6, 12 and 18

مدل‌سازی صورت گرفته توسط نرم‌افزار Res2dmod رسم شده است.

حتی در n های بالا که با هدف نفوذ به اعماق بالا برداشت انجام می‌شود، اثر کاذب این بی‌هنجاری قابل مشاهده است و در حقیقت این بی‌هنجاری کاذب در عمل می‌تواند بی‌هنجاری‌های واقعی را مخفی کند.

در مدل‌سازی شکل ۴، به صورت واضح نمایش داده شده است که در شبه مقاطعی که برداشت‌ها تا مقادیر n بالایی انجام شده است، بی‌هنجاری مقاومت ویژه ظاهری به خاطر بلوک سطحی کوچک با مقاومت الکتریکی متفاوت از زمینه، تا چه حد کل مقطع را تحت تأثیر منفی خود قرار می‌دهد. در حقیقت، در این شبه مقطع n تا عدد ۲۸ برداشت شده است. این شبه مقطع با استفاده از



شکل ۴. مثالی از مدل‌سازی شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری برداشت‌شده با آرایه قطبی - دوقطبی با مقادیر n بالا. مشخص است که مقدار بی‌هنجاری (کاذب) با افزایش n بیشتر می‌شود که علت این امر همان حساسیت به بی‌هنجاری‌های سطحی بین جفت الکتروود پتانسیل است.

Fig. 4. An example of apparent resistivity pseudo-section modeled with a pole-dipole array with high n values. The amount of anomaly (false) increased with the increase of n , because of the sensitivity to surface anomaly which is positioned between the pair of potential electrodes.

اقدام کرد؟

برای تحلیل موضوع، ابتدا مقاطع حساسیت مربوط به آرایه دوقطبی - دوقطبی برای n های ۱، ۲، ۴ و ۶ نمایش داده می‌شود (شکل ۵).

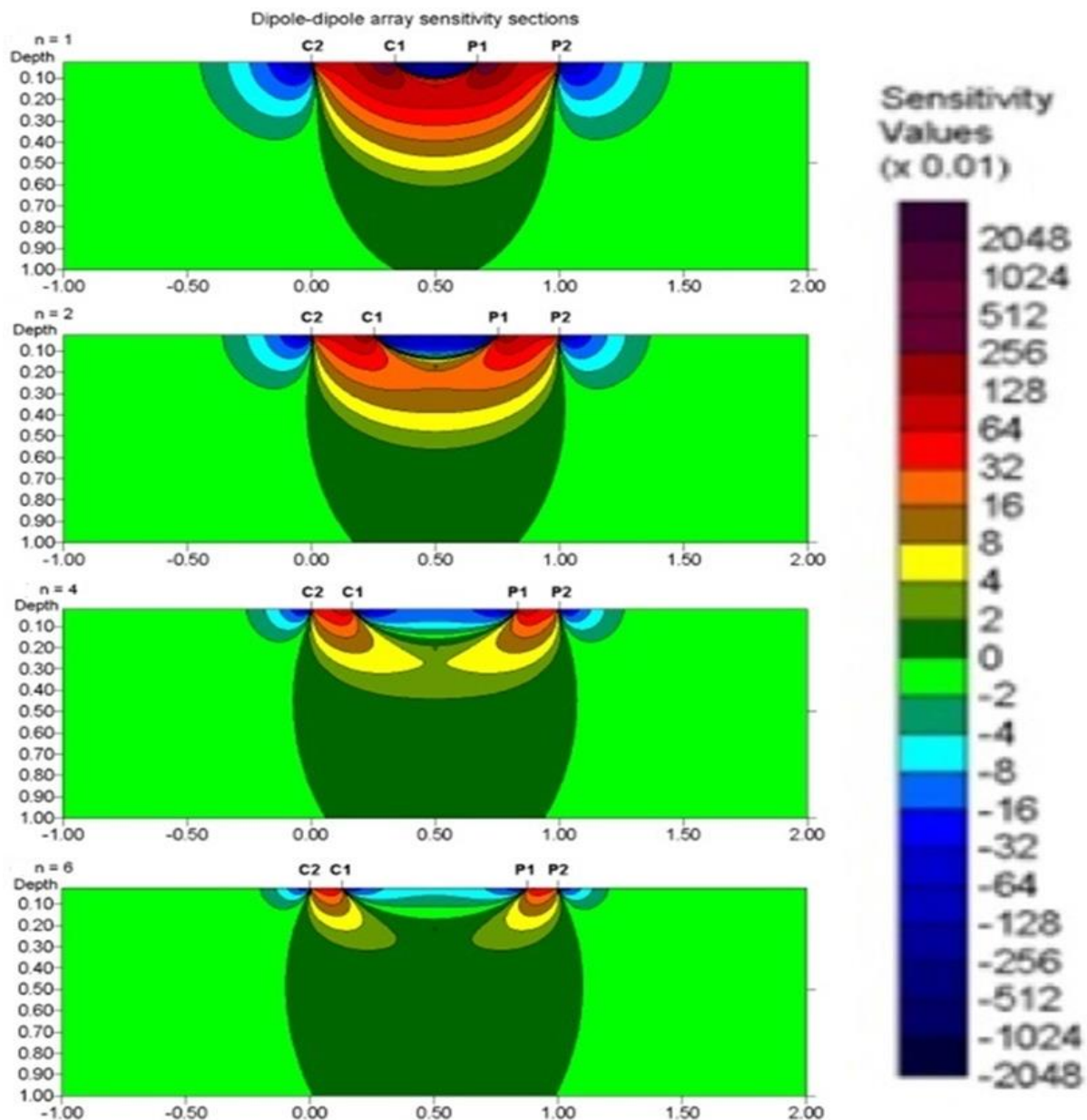
با تحلیل این مقاطع استنباط می‌شود که در این آرایه هم با افزایش n ، نواحی با مقادیر بالای حساسیت، متمایل به نواحی سطحی زیر جفت الکتروودهای جریان C2-C1 و پتانسیل P1-P2 می‌شوند. به عنوان مثال اگر در محل جفت الکتروود پتانسیل و جریان، نویزهایی

آرایه دوقطبی - دوقطبی

یکی دیگر از رایج‌ترین آرایه‌ها برای برداشت دوبعدی آرایه دوقطبی - دوقطبی است (Telford, et al., 1990; Moghaddasi and Moghaddasi, 2023) که آرایه‌ای متقارن بوده و شدت جفت‌شدگی الکترومغناطیسی کمتری دارد (White et al., 2003). این آرایه هم از مزیت‌ها و محدودیت‌های خاص خود برخوردار است؛ اما سؤال اصلی این است که برای برداشت با آرایه دوقطبی - دوقطبی می‌توان بیشینه تا چند پرش (n)

مرکز آرایه که داده برداشت شده به این محل نسبت داده می‌شود، مقدار تابع حساسیت بسیار پایینی داشته و به عبارتی تأثیر بسیار کمی در مقدار مقاومت ویژه ظاهری یا شارژپذیری قرائت شده داشته که این باعث گمراهی در تحلیل نتایج می‌شود.

نظیر بی‌هنجاری‌های سطحی، مقاومت تماسی بالا، توپوگرافی خشن و ... حضور داشته باشد، اثر آن به عنوان یک بی‌هنجاری با شدت بالا در مقطع نمایان می‌شود. همچنین با بررسی مقاطع حساسیت این آرایه در مقادیر n بالا مشاهده می‌شود، محلی در



شکل ۵. مقاطع حساسیت آرایه دوقطبی-دوقطبی برای n های ۱، ۲، ۴ و ۶

Fig. 5. Dipole-dipole sensitivity sections for n : 1, 2, 4 and 6

یکی از مواردی که شاید برای مجریان عملیات ژئوالکتریک دوبعدی غیر اتوماتیک مهم باشد، این است که ممکن است با برداشت‌های n با تعداد بالا، تعداد قرائتی که در روز انجام می‌دهند را افزایش دهند و نفع اقتصادی بیشتری حاصل کنند؛ یعنی با یک بار تزریق جریان، چندین برداشت را انجام دهند که در واقع صرفه اقتصادی طرح‌ها را بالا می‌برد؛ اما این موضوع باعث ایجاد نتایج منفی و غیر قابل استناد از بررسی‌های ژئوالکتریک می‌شود.

در حقیقت، همان‌گونه که بیان شد بسیاری از مجریان بررسی‌های ژئوالکتریک با گمان اینکه می‌توان با افزایش شدت جریان و به دنبال آن افزایش شدت سیگنال، برداشت‌های تکرارپذیر و صحیح انجام دهند، اقدام به برداشت‌های با n های بالا (حتی بالاتر از ۱۱۵) می‌کنند؛ اما با مطالب بیان‌شده، مشخص می‌شود که نتایج حاصل از این داده‌ها به هیچ وجه قابل استناد نیستند.

بهینه‌ترین روش برای برداشت‌های ژئوالکتریک دوبعدی

با توجه به موارد بیان‌شده، مشاهده می‌شود که بهترین روش برداشت‌های ژئوالکتریک در حالتی است که برداشت‌ها در حالت $n=1$ انجام شده و برای افزایش عمق کاوش، فاصله الکترودی (a) به تدریج افزایش یابد. در حقیقت، مطلوب‌ترین حالت مقطع حساسیت، بیشترین مقدار سیگنال به نویز، کمترین تأثیر نویزها و بی‌هنجاری‌های سطحی در حالت $n=1$ رخ می‌دهد.

در صورتی که از تجهیزات ژئوالکتریک چند الکترودی با برداشت اتوماتیک استفاده شود، برداشت به این روش بسیار راحت بوده و می‌توان این کار را به آسانی انجام داد. در حالتی که برای برداشت‌های دوبعدی از تجهیزات غیر اتوماتیک استفاده شود، برای جابه‌جایی محل الکترودها می‌توان از سوئیچ باکس استفاده کرد. استفاده از سوئیچ باکس سرعت عملیات برداشت را افزایش خواهد داد.

ممکن است برداشت‌های ژئوالکتریک با این روش ($n=1$) و افزایش متناوب فاصله الکترودی، سرعت عملیات را کاهش داده

حال با تحلیل‌های انجام‌شده، مشخص می‌شود که تا چه حد برداشت‌ها و قرائت‌های با n بالا، داده‌های کاذب و غیر قابل استناد به مفسر می‌دهد. از سوی دیگر، به علت اینکه این داده‌ها وارد نرم‌افزار شده است و نرم‌افزار به صورت یکپارچه اقدام به انجام عمل وارون‌سازی روی آن می‌کند، حتی داده‌های صحیح برداشت‌شده با n های پایین هم در فرایند وارون‌سازی دچار پیچیدگی شده و مقطع غیر قابل استنادی حاصل می‌شود.

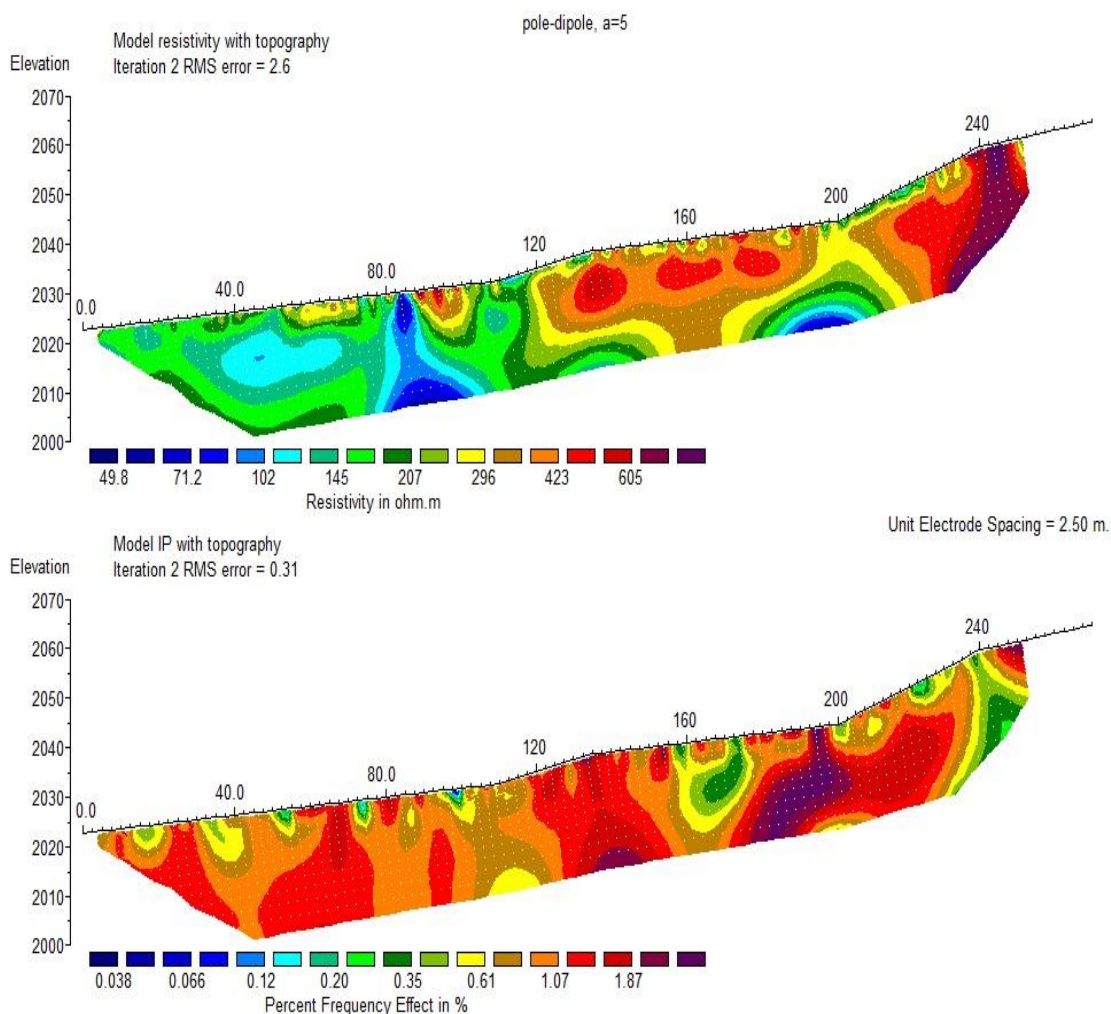
بر حسب تجربه‌های نویسندگان این مقاله، تحلیل‌های بیان‌شده از اصلی‌ترین عوامل شکست نتایج به دست آمده از بررسی‌های ژئوالکتریک دوبعدی چه به صورت مقاومت ویژه RS و چه IP/RS است.

ارائه راهکار برای کمینه‌کردن خطاهای بیان‌شده

بر اساس تحلیل بیان‌شده، لوک (Loke, 2023) به عنوان پدیدآورنده نرم‌افزار $Res2dinv$ بیان می‌دارد که داده‌های برداشت‌شده با n بالا (بیش از ۶ تا ۸) مستعد نویز شده و به شدت از استناد آن کاسته می‌شود؛ هرچند به نظر نویسندگان این مقاله حتی به این مقادیر هم باید با دیده احتیاط نگریست. در حقیقت و در عالم واقع و به خصوص در برداشت‌های IP/RS ، عوامل متعددی منشأ نویز هستند که به دلیل وجود این نویزها، به صورت نرم‌افزاری و با اعمال ابزار ریاضی نظیر عملیات وارون‌سازی، نمی‌توان شبه مقاطع را به واقعیت زمین برگرداند. در حقیقت توپوگرافی‌های خشن، وجود مقاومت تماسی بالا به خصوص در مناطق خشک ایران و ...، همگی عوامل موجود و اجتناب‌ناپذیری در بررسی‌های IP/RS هستند که در برداشت‌های با n بالاتر، اثر نامطلوب این عوامل بیشتر می‌شود. این موضوع باعث می‌شود، نتایج بررسی‌ها در برداشت‌های با تعداد n های بیان‌شده هم تحت تأثیر منفی این عوامل قرار گیرد. همچنین به منظور به کمترین حد رساندن اثر نامطلوب توپوگرافی بر روی نتایج، تا حد امکان باید راستای برداشت پروفیل‌ها به گونه‌ای انتخاب شود که کمترین میزان توپوگرافی در مسیر برداشت پروفیل وجود داشته باشد.

به این روش را با تجهیزات سوئیچ باکس در یکی از طرح‌ها به انجام رسانده و اجرایی بودن آن و کیفیت داده‌ها مورد تایید قرار گرفت (شکل ۶).

و از لحاظ اقتصادی برای مجریان صرفه کمتری داشته باشد؛ اما نتایج بررسی‌های ژئوالکتریک انجام‌شده با این روش قابل استنادتر بوده و تغییر دید منفی بعضی از کارفرمایان نسبت به نتیجه‌بخش بودن آن را به همراه خواهد داشت. نویسندگان این مقاله برداشت



شکل ۶. مثال موردی از مقاطع نهایی مقاومت ویژه و قطبش القایی (IP) با اعمال توپوگرافی که با روش پیشنهادی برداشت شده است.

Fig. 6. An example of final resistivity and induced polarization (IP) sections with applied topography by the suggested method.

نمایش داده شده که با $n=1$ برداشت شده‌اند، پایین بوده که نشان‌دهنده برآزش مناسب مدل نرم‌افزاری با داده‌های صحرائی و

چنان‌که قابل مشاهده است، مقدار خطای RMS (که به عنوان مهم‌ترین معیار ارزیابی درستی بررسی‌هاست)، در مقاطع

در نتیجه درستی و دقت داده‌های برداشتی است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شد با نگاه تحلیلی و منطبق بر نتایج به دست آمده از مدل‌سازی‌های صورت گرفته و همچنین تحلیل‌های میدانی نویسندگان، نوعی آسیب‌شناسی نسبت به دلایل عدم موفقیت بعضی از بررسی‌های ژئوالکتریک دوبعدی ارائه شود. در حقیقت، با بیان دلایلی که باعث بروز خطا در برداشت‌های با مقادیر n بالا می‌شود، سعی شد برای خواننده دید جامعی از علل ایجاد خطا در بررسی‌های ژئوالکتریک دوبعدی حاصل شود. در نهایت پیشنهاد شد که بیشینه منطقی و قابل استناد برای n در آرایه دوقطبی - دوقطبی عدد ۶ و برای قطبی - دوقطبی عددی بین ۶ تا ۸ است و

بیان شد که به خاطر وجود منابع نویز، به این اعداد هم باید با دید احتیاط نگریست و حتی مقدار n را برای بررسی‌های ژئوالکتریک دوبعدی، کمتر از مقادیر بیان‌شده در نظر گرفت تا بتوان نتایج مستند و صحیحی به دست آورد.

در نهایت، روش بهینه‌ای که بهترین نتایج از آن به دست می‌آید، پیشنهاد شد و تحلیل شد که با ورود فناوری‌های جدیدتر نظیر تجهیزات اتوماتیک برداشت‌های ژئوالکتریک و همچنین سوئیچ باکس می‌وان روش بهینه بیان‌شده را راحت‌تر اجرایی کرد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

1. Inversion
2. Tutorial
3. Sensitivity Function
4. EM Coupling
5. Multielectrode

References

- Dentith, M. and Mudge, S., 2014. *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. Cambridge University Press, New York, 454 pp.
- Ghanbari, H., Arab Amiri, A., Ebrahimi, S. and Mehri, M., 2020. Modeling and Interpretation of the Induced Polarization and Resistivity Data in Sharifabad Exploration Area, Northwest of Bardaskan. *Journal of Research on Applied Geophysics*, Volume 6(1): 12–23. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22044/jrag.2018.5782.1123>
- Kalagari, A.A., 1992. *Principles of Geophysical Exploration*. Tabriz University Press, Tabriz, 558 pp. (in Persian)
- Loke, M.H., 2023. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, s.l.: Geotomo Software, Res2dinv Software. Retrieved September 16, 2023, from
http://www.researchgate.net/publication/264739285_Tutorial_2D_and_3D_Electrical_Imaging_Surveys
- Meju, M., 1986. *Geophysical data analysis: Understanding inverse problem theory and practice*, SEG Press, Houston, 130 pp.
- Milsom, J. and Eriksen, A., 2011. *Field geophysics*. Wiley Press, New Jersey, 304 pp.
- Moghaddasi, M. and Moghaddasi, H., 2023. A new method for IP/Rs data acquisition in the frequency domain on a network. 15th Symposium of Iranian Society of Economic Geology, University of Damghan, Damghan, Iran. (in Persian with English abstract) Retrieved September 1, 2023, from
https://www.researchgate.net/publication/373916659_abda_rwsh_nwyn_brdasht_IPRs_bh_swrt_s_hbkh_ay_A_new_method_for_IPRs_data_acquisition_on_a_network
- Moghaddasi, H., Moghaddasi, M. and Abbasinia, M., 2020. The role of correct delineation of bedrock topography in successful groundwater exploration using Electrical resistivity tomography. 19th Iranian Geophysics Conference, University of Tehran (Institute of geophysics), Tehran, Iran. Retrieved November 1, 2020 from
https://www.researchgate.net/publication/345490809_The_role_of_correct_delineation_of_bedrock_topography_in_successful_groundwater_exploration_using_Electrical_resistivity_tomography
- Moghaddasi, H., Moghaddasi, M. and Masnabadi, M., 2024. Integrated use of analytical signal and upward continuation for exploration of porphyry deposits and also separation and delineation of alterations related to these deposits (case study from the south of Kerman province). 16th Symposium of Iranian Society of Economic Geology. university of Tabriz, Tabriz, Iran. (in Persian with English abstract) Retrieved September 1, 2024, from
https://www.researchgate.net/publication/382889454_bh_kargyry_tlfyqy_mlgrhay_sygnal_thlyly_w_adamh_frasw_dr_aktshaf_kansarhay_pwrfyry_w_tfkyk_dgrsany_hay_mrtbt_ba_anha_mthal_mwrdy_az_jnwb_krman_Integrated_use_of_analytical_signal_and_upward_continuati
- Moshtaghian, K., Abtahi, M., Esadi, H., Haj Heydari, M. and Jangarban, G., 2022. Inversion modeling of magnetic and IP/RS data with the aim of exploration of the northern porphyry copper-gold deposit of Dali. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 33(3): 79–92.
<https://doi.org/10.22071/gsj.2021.272272.1886>
- Neyamadpour, A., Wan Abdullah, W., Taib, S. and Neyamadpour, B., 2010. Comparison of Wenner and dipole–dipole arrays in the study of an underground three-dimensional cavity. *Journal of Geophysics and Engineering*, 7(1): 30–40.
<http://dx.doi.org/10.1088/1742-2132/7/1/003>
- Samadi, L., 2012. *Basic Applied Geophysics*. Jahad Daneshgahi Kharazmi University Press, Tehran, 620 pp.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., 1990. *Applied geophysics*. Cambridge University Press, New York, 751 pp.
- White, R., Collins, S. and Loke, P., 2003. Resistivity and IP arrays, optimised for data collection and inversion. *Exploration Geophysics*, 34(4): 229–232. <http://dx.doi.org/10.1071/EG03229>