جایگاه مطالعات ژئوفیزیک در اکتشافات مواد معدنی

نوشته: دکتر جعفر کیمیاقلم *

چکیده

استفاده از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی در اکتشافات معادن امروزه در تمام دنیا متداول است، ولی متاسفانه هنوز در ایران بعد وسیعی نیافته و در موارد زیادی حفر گمانه‌های اکتشافی بر مبنای تفسیرهای زمین‌شناسی و تکتونیکی انجام می‌گیرد و هزینه‌های بیش از حد به اکتشافات تحمیل می‌شود و نتایج نیز معمولاً چندان گویا نیستند.

در این مقاله سعی براین است که ابتدا انواع مواد معدنی مورد استفادهٔانسان تقسیم‌بندی شود، سپس اصول انتخاب روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف معادن فلزی و غیرفلزی مورد بررسی قرار گیرد و در آخر نمونه‌ای از این نوع اکتشافات در یکی از معادن فعال کشور نشان داده شود، که شامل نحوهٔانتخاب روش‌های ژئوفیزیکی، علت انتخاب چند آرایش الکترودی، و بالاخره نحوهٔانجام عملیات و تفسیرنتایج است؛ در پایان خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده شامل ردیابی بی‌هنجاری‌ها و انتخاب محل گمانه‌های اکتشافی ارائه می‌شود.

Abstract

Geophysic is one of the most applicable tools in mineral explorations, but little attention has been paid to it,s applications in Iran.

There are many cases where exploratory bore holes were drilled without considering any prior geophysical studies to obtain more information about the subsurface geology, and therefore the explorations cost much more.

In this paper it has been tried to classify different ore bodies and the applications of different geophysical methods employed in exploring the metallic and nonmetallic minerals.

To give a good example a case history is presented to explain the importance of geophysics applied in one of the most active mines in the country. In this paper the methods and arrays applied as well as field procedures are explained,and based on the results the most suitable locations for drilling are recommended.

مقدمه

در مقالهٔشماره ٤ این مجله ذکر شد که مطالعات ژئوفیزیکی در سه مورد کلی یعنی حل ابهامات ژئوتکنیک، اکتشاف معادن- آب‌های زیرزمینی و تعبیر و تفسیرهای زمین‌شناسی کاربرد وسیعی دارد. در همان مقاله روش‌های مختلف ژئوفیزیک و اهمیت کاربرد آن‌ها در حل ابهامات ژئوتکنیک، با ذکر مثال، مورد بحث قرار گرفت. در مقالهٔحاضر کاربرد روش‌های ژئوفیزیک در اکتشافات معادن فلزی و غیرفلزی مورد بررسی قرار می‌گیرد و مثال‌هایی از کاربرد این نوع مطالعات در ایران ذکر می‌شود.

به طور کلی به هرنوع مادهٔای که برای استفادهٔانسان از زمین استحصال می‌شود مادهٔمعدنی می‌گوییم. این مواد طیف وسیعی را شامل می‌شوند؛ کانی‌های فلزی نظیر گالن، کالکوپیریت، مانیتیت- کانی‌های غیرفلزی مانند بوکسیت، اسفالریت، گانولن، خاک‌های رس، و ... یا مواد سوختی نظیر نفت و گاز، و حتی آب. به طور کلی این مواد را می‌توان به سه دسته- کانی‌های فلزی، کانی‌های غیرفلزی و سوخت‌ها تقسیم نمود.

اکتشاف مواد معدنی تا قبل از ابداع روش‌های ژئوفیزیک براساس داده‌های زمین‌شناسی و تئوری‌های مختلف برحسب تکتونیک

Application of Geophysical studies in the mineral explorations.

By: J. Kimiaghalam *

منطقه بود. با به وجود آمدن علم ژئوفیزیک و ژئوشیمی مسئلهٔاکتشاف مواد معدنی به کلی تغییر کرد. برای بررسی‌های عمیق‌تر یا در مواردی که پوشش‌های آب رفتی یا سنگ‌های دیگر باعث مخفی شدن برخی کانسارها می‌شوند، از روش‌های مختلف ژئوفیزیک سود می‌جویند. در حقیقت روش‌های مختلف ژئوفیزیک را می‌توان ابزار دست زمین‌شناسان برای شناسایی عمق زمین تلقی کرد.

کاربرد ژئوفیزیک در اکتشافات، بخش وسیعی را تشکیل می‌دهد دراین جااز بحث پیرامون مبانی روش‌های ژئوفیزیک -(هوایی و زمینی) خودداری می‌کنیم، چه اصول این روش‌ها در متون دروس ژئوفیزیک به طور مفصل نوشته شده‌اند. ما روش‌های مطالعات ژئوفیزیک معادن در ایران را در جدولی ارائه می‌دهیم و در پی آن، چه در این شماره چه در شماره‌های آیندهٔاین مجله، نمونه‌هایی از کاربرد آن‌ها را در معادن مختلف ایران ذکر می‌کنیم که خود این جانب و همکاران از آن سود جسته‌ایم.

۱ - کاربرد ژئوفیزیک در اکتشافات کانی‌های فلزی و غیرفلزی

کانی‌های فلزی و غیرفلزی طیف وسیعی از مواد متشکلهٔزمین را تشکیل می‌دهند. این کانی‌ها در مواردی تشکیل کانسارهای کوچک و بزرگی را می‌دهند که مورد اکتشاف و بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این کانسارها خود از نظر ترکیبات شیمیایی انواع مختلف دارند، از جمله سولفورها، اکسیدها، سیلیکات‌ها، و غیره، که به صورت کانی‌های فلزی و غیرفلزی گروه‌بندی می‌شوند. هریک از کانی‌ها ممکن است یک یا چند خاصیت فیزیکی بارز داشته باشند، مانند سولفورها که هادی الکتریسته‌اند، یا برخی اکسیدها که خاصیت مغناطیسی و یا وزن مخصوص زیاد یا کم دارند. در هر صورت این دسته از کانی‌ها را می‌توان مستقیماً با کاربرد روشی که آن خاصیت مشخص فیزیکی را مستقیماً اندازه‌گیری می‌کند مورد اکتشاف قرار داد. برخی از کانی‌ها خاصیت فیزیکی مشخصی ندارند که قابل اندازه‌گیری مستقیم باشد، ولی اگر با سنگ دربرگیرنده مورد مقایسه قرار گیرند تفاوت‌هایی در برخی از خواص فیزیکی آن‌ها مشاهده می‌شود؛ مانند مقاومت ویژه که تغییرات آن طیف وسیعی دارد. در خیلی از موارد، اختلاف مقاومت ویژهٔیک کانی و سنگ دلیل کاربرد این روش ژئوفیزیکی است. در اکتشاف یک کانی ابتدا باید خاصیت فیزیکی بارز آن کانی را مشخص نمود تا بتوان روش ژئوفیزیکی لازم را انتخاب کرد. در غیر این صورت باید معلوم کرد که این کانی در مجموع با سنگ مادر دارای تفاوتی در یک فاکتور فیزیکی هست یا نه؛ حتی می‌توان این مسئله رابه صورت آزمایش در محلی که کانی دارای رخ‌نمون است، یا بر روی نمونه‌هایی از آن آزمایش کرد و روش اکتشاف غیرمستقیم را برگزید. ضمناً باید بتوان فاکتور فیزیکی مورد نظر را با دقت لازم اندازه‌گیری کرد و در صورت لزوم از روش‌های دیگر به عنوان روش کمکی در تفسیر داده‌ها سود جست، چه در غیر این صورت خود اکتشافات ژئوفیزیک ابهامات دیگری به وجود خواهند آورد.

یاد آوری می‌شود در ایران در حال حاضر گروه‌های ژئوفیزیک در چند ارگان دولتی متشکل‌اند و هر کدام در اکتشاف مواد خاصی فعالیت می‌کنند؛ سازمان زمین‌شناسی مسئولیت اکتشاف از کانی‌های فلزی و غیرفلزی را به عهده دارد، البته به استثنای اکتشاف نفت و گاز و زغال، همچنین آهن و مواد رادیو اکتیو که مسئولیت آن‌ها به عهدهٔوزارت نفت و شرکت فولاد و سازمان انرژی اتمی ایران است. در جدول ارائه شده کلیهٔروش‌های متداول برای اکتشافات مواد معدنی که در ایران از آن بهره گرفته می‌شود، همراه با مشخصات آن‌ها، آمده است، سازمان زمین‌شناسی از آخرین تکنیک و دستگاه‌های مربوطه، چه در برداشت‌های صحرایی و چه در تعبیر و تفسیر از سخت‌افزار و نرم‌افزارها، استفاده می‌کند. برای مثال، در جدول مزبور اسامی برخی از محل‌هایی که اکتشافات توسط سازمان زمین‌شناسی در آن انجام گرفته ذکر شده است، ولی اکثر معادنی که با روش‌های ژئوفیزیک شناخته شده‌اند، توسط این سازمان مورد اکتشاف قرار گرفته‌اند و این مطالعات هنوز ادامه دارد. ضمناً یادآوری می‌شود که پیمایش مغناطیسی هوایی ایران در تمام سطح کشور انجام گرفته و نقشه‌های آن‌ها با اشل ۱:۲۵۰،۰۰۰ آماده و تهیه شده است، و

نقشه‌های پی‌سنگ مغناطیسی و خط واره‌های مغناطیسی نیز در دست تهیه‌اند، که در این مورد مقاله‌ای جداگانه در آینده ارائه خواهد شد. همچنین سازمان انرژی اتمی برداشت‌های رادیو اکتیویته‌ای در برخی مناطق نیز انجام داده که پردازش این داده‌ها هنوز ادامه دارد و به طور کلی مطالعات ژئوفیزیک در سطح ایران فعلاً نیاز کشور را برطرف می‌کند.

۲- مثالی از کاربرد روش Rs, Ip در اکتشافات معادن فلزی

- اکتشافات ژئوفیزیکی در معادن ایرانکوه (اصفهان)

مقدمه. (دراین مثال سعی شده است نحوهٔمطالعات ژئوفیزیکی در یک منطقه که از نظر معادن سرب و روی جالب می‌باشد، ارائه شود).

معادن سرب و روی ایرانکوه (شاهکوه سابق) در ۱۸ کیلومتری جنوب باختری اصفهان واقع است، در سال ۱۳۶۰ نگارنده مقاله و آقای مهندس جمشید کیمیاقلم اکتشافات ژئوفیزیکی در زمان‌های مختلف انجام دادند. قبل از بررسی نتایج به دست آمده، خلاصه‌ای از زمین‌شناسی و مینرالیزاسیون منطقه زیرپوشش اکتشاف، روش‌های ژئوفیزیکی، و آرایش‌های انتخاب شده در این اکتشافات ذکر می‌شوند. و بدین طریق نحوهٔشروع اکتشاف در یک منطقه به منظور دست یابی به سولفورهای هادی که به صورت توده‌ای یا رگه‌ای یافت می‌شوند، مشخص می‌شود.

۲-۱- زمین‌شناسی و مینرالیزاسیون

به طور کلی منطقهٔمعدنی ایرانکوه در زون تکتونیکی سنندج- سیرجان قرار گرفته است. نواحی مینرالیزه در جنوب و شمال دامنه‌های ایرانکوه قرار دارند و امتداد شمال‌غربی - جنوب شرقی دارند و معادن کلاه دروازه، گودزندان، خانه گرگی در دامنهٔجنوبی، و معادن گردنه، تپه‌سرخ، و گوشفیل در دامنهٔشمالی را شامل می‌شوند. ارتفاعات منطقه به طور کلی از سنگ آهک ودولومیت‌های کرتاسه تشکیل شده است. کانسار سرب و روی در داخل سنگ آهک و دولومیت و یا در کنتاکت شیل‌های ژوراسیک و آهک‌های کرتاسهٔزیرین قرار دارند. این کنتاکت به صورت گسله است و کانسارگوشفیل در این کنتاکت تشکیل شده. کانی‌های تشکیل دهندهٔاین معادن عبارت‌اند از سولفورهای سرب و روی و اکسیدهای آن که در حال حاضر استخراج و کنسانتره می‌گردند و به خارج از کشور صادر می‌شوند. افزون بر موارد یاد شده آثاری از مینرالیزاسیون در نقاط مختلف این منطقه مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به وجود کانسار گوشفیل که در کنتاکت شیل‌های ژوراسیک و سنگ آهک‌های کرتاسه تشکیل شده و آثاری از آن در حفاری‌های مختلف در این کنتاکت مشاهده می‌شود، توصیه شده است که این اکتشافات از طریق روش‌های ژئوفیزیک و تحت پوشش قرار دادن این کنتاکت پی‌گیری شود.

۲-۲- انتخاب روش‌های ژئوفیزیکی

گفتیم که مینرالیزاسیون اصلی در این منطقه سولفور و اکسیدهای سرب و روی است. اکتشافات سولفورهایی که هدایت الکتریکی آن‌ها زیاد است با روش‌های ژئوفیزیک انجام می‌گیرد. یادآوری می‌شود که فقط سولفور روی به علت دارا بودن جلای صمغی، هدایت الکتریکی ندارد. ولی چون اغلب با سولفور سرب همراه است، اکتشاف آن به صورت غیرمستقیم با اکتشاف سولفور سرب انجام می‌گیرد. * با توجه به مطالبی که گفته شد، روش قطبش القایی induced polarization (IP) برای اکتشافات مزبور انتخاب شد. از بحث پیرامون مبانی این روش می‌گذریم، ولی یادآور می‌شویم که این روش به دو صورت Time Domain و Frequency Domain اجرا می‌شود که در این منطقه از روش اول استفاده شده است؛ در این روش پس از تزریق جریان به زمین و قطع آن پس اززمان ۲ ثانیه، انتگرال منحنی دشارژ پتانسیل درفاصلهٔزمانی مشخص اندازه‌گیری می‌شود، که مقدار آن با توجه به سطح زیرمنحنی دشارژ به وجود یا عدم مواد هادی از جمله سولفورها در زمین بستگی خواهد داشت. از طرفی چون جریان تزریق شده به زمین و پتانسیل حاصله را نیز می‌توان اندازه گرفت، مقاومت ویژه درهرایستگاه با فرمول $P_a = K\frac{\Delta V}{I}$ قابل محاسبه خواهد بود. همچنین چون در زمان اندازه‌گیری پتانسیل حاصله در زمین باید پتانسیل طبیعی خنثی شود، مقدار آن نیز قابل اندازه‌گیری است و می‌توان گفت که با دستگاه‌های قطبش القایی روش‌های مقاومت ویژه و پتانسیل خودزا(Self Potential) نیز قابل اجراست. با توجه به این که روش پتانسیل خودزا در شرایط خاصی جواب مثبت به اکتشافات سولفورهای توده‌ای است، لذا با انجام روش قطبش القایی نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری مقاومت ویژه مورد بررسی قرار می‌گیرند و نتایج این دو روش ژئوالکتریک با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

دستگاه‌های اندازه‌گیری

دستگاه‌های مورد استفاده در ایران معمولاً ساخت کمپانی Scintrex کانادا هستند، شامل یک دستگاه موتور ۲/۵ کیلو واتی، یک دستگاه فرستنده (Transmitter)، و یک دستگاه گیرنده (Receiver). دستگاه‌های اندازه‌گیری IP را کمپانی‌های مختلف ساخته‌اند که در بروشورهای مختلف مشخصات آن‌ها ذکر شده است.

۲-۳- آرایش‌های انتخاب شده

در اکتشافات ژئوفیزیک آرایش الکترودها مختلف است. ازهرآرایش در یک مرحله اکتشاف استفاده می‌شود. در شروع کار و برای این که کلاً منطقه با سرعت زیاد زیر پوشش اکتشاف نیمه تفصیلی قرار گیرد، از آرایش مستطیلی (Rectangle) استفاده می‌شود؛

* در مواردی که فقط اکتشاف روی مورد توجه بوده و عامل سولفور سرب وجود نداشته باشد، به علت زیاد بودن وزن مخصوص سولفور روی، می‌توان از روش گرانی سنجی استفاده کرد.

METHOD (d) dynamic (s) static		PARAMETER		PHYSICAL CHARACTERISTICS	MAIN CAUSES OF ANOMALIES	APPLICATIONS			
						DIRECT INVESTIGATION		INDIRECT INVESTIGATION	
		Designation	Units			TARGET	CASE HISTORIES	TARGET	CASE HISTORIES
ECTAICAL	RESISTIVITY (d)	Apparent resistivity	Ohm.m	Resistivity Conductivity	Conductive veins, ore bodies, sedimentary layers (clays, marl...) Resistive layers (limestones, Salt domes, volcanic intrusions...) Shear zones, faults, weatherings, hot waters	Massive sulfides Quartz, calcite, Oil shales Spacial clays Rock, Salt Geothermal reservoirs	Songum Zarshooran Zanjan	Bulk material Base metals Phosphates Potash Uranium Coal Natural steam Detailed tectonics	Hamedan Jajarm Tabas Sarab Nishaboor
	INDUCED POLARIZATION (d)	Time domain { Chargeability / Polarizability	$\frac{mv}{V}$ / %	Ionic electronic Over voltage	Conductive mineralizations: (disseminated or massive) Graphite, sulfides	Conductive { Sulfides, Oxydes, Arsenides, Mn oxydes, Graphite	Esfahan angooran Koshk Anjireh	Associated minerals (Zinc, Mo, gold, silver, nickel)	Mooteh Faryab Esfahan
	MISE A LA MASSE I.P. (d)	Time domain { Chargeability / Polarizability Applied potential	$\frac{mv}{V}$ / % mV	Ionic electronic Over voltage Conductivity	Extension of previously located conductive ore bodies	Conductive ores	Yazd	Iron	
	SELF POTENTIAL (s) AND MISE A LA MASSE (d)	Natural potential Applied potential	mV	Oxydability Conductivity	Massive conductive ores Graphite Electro-filtration	Sulfides { pyrite, pyrrhotite, Cu, ... Mn Ore	Sirjan Ahar	Associated minerals (Lead, gold, silver, zinc, Ni...)	Anarak Ahar
	ELECTRO-MAGNETIC (d)	Phase different Tilt angle Amplitude ratio	Degrees %	Electrical Conductivity	Conductive mineralizations Shallow conductors Shear zones	Conductive { Sulfides, Oxydes Mn Oxydes Graphite	Karaj	Kimberlites Associated minerals Ground follow-up (Lead, Ni...)	Sarcheshmeh Midook (A.E.M)
GRAVITY (s)		Gravity field	Milligal	Density	Deposites of heavy ores Salt domes (light) Basement rocks	Chromite pyrite Chalcopyrite-Galena	Faryab	Placer configuration Karstic cavities Geothermy	
RADIOACTIVITY (s)		Intensity of gamma rays	μ Roentgen or C.P.S.	Radioactivity	Radioactive elements Uranium-Thorium-Potassium 40	Uranium, thorium Coal, lignite Monazite	South, south East, East and, North wesy IRAN (AIR Borne)	Ground follow-up	
MAGNETIC (s) Ground		Earth magnetic field Vertical component Total intensity	$1n.T=10^{-5}$ Gauss	Magnetic susceptibility,	Contrasts of magnetization Magnetite contents of the materials	Magnetite pyrrhotite Titano-magnetite	Gorveh Yazd	Iron ore Chromite Copper ore Basic rocks	Faryab Nehbandan

Magnetic Air born	Geological mapping Tectonic	Complete Coverage of Iranian territory
	Mineral Exploration	Magnetic anomaly map of Iran
	Direct & Indirect Prospecting	Magnetic lineaments map of Iran Magnetic Basement map of Iran

جدول شمارهٔ ۱ـ روش‌های متداول اکتشافات معدنی که در ایران از آن بهره گرفته می‌شود.

در این آرایش فاصلهٔالکترودهای فرستندهٔجریان B,A ثابت است و پتانسیل زمین در هر حالت قطع و وصل جریان در ایستگاه‌هایی که بر روی مقاطعی در مستطیلی به ابعاد $\frac{AB}{2}$و $\frac{AB}{3}$قرار دارند اندازه‌گیری می‌شود. فاصلهٔالکترودهای فرستندهٔجریان برحسب عمق مورد مطالعه تغییر می‌کند. در مناطق یاد شده فاصلهٔالکترودهای فرستندهٔجریان ۸۰۰ متر و فاصلهٔالکترودهای اندازه‌گیری پتانسیل (N,M) MN = 20 متر انتخاب شده است. پس از زیرپوشش قرار دادن منطقه و مشخص کردن محورهای بی‌هنجاری، برای به دست آوردن اطلاعات تکمیلی از گسترش، شیب و عمق بی‌هنجاری‌ها از آرایش دو قطبی دو قطبی (Dipole - Dipole) استفاده شده است؛ در این آرایش الکترودهای اندازه‌گیری پتانسیل در خارج الکترودهای فرستندهٔجریان قرار دارند و با ثابت نگه‌داشتن الکترودهای فرستندهٔجریان و حرکت الکترودهای اندازه‌گیری پتانسیل در امتداد یک مقطع، فاکتورهای فیزیکی یاد شده در عمق اندازه‌گیری می‌شوند و با تکرار این عمل شبه مقطعی از زمین تهیه می‌شود. در منطقهٔمورد نظر مشخصات آرایش دو قطبی - دوقطبی AB = MN = 40 متر انتخاب شده است، متذکر می‌شود که آرایش‌های الکترودی دیگری وجود دارند نظیر Pole Dipole و IP Sounding, C, R, P, که هر یک در شرایطی اطلاعات تکمیلی از شیب و گسترش محورهای بی‌هنجاری در عمق و سطح به دست می‌دهد.

۲-۴- نحوهٔاجرای عملیات

پس از انتخاب روش‌های ژئوفیزیکی و آرایش‌های لازم و ابعاد آن‌ها برای اندازه‌گیری فاکتور شارژ ابیلیته و مقاومت ظاهری زمین، خط مبنا و مقاطع در زمین توسط اکیپ نقشه‌برداری پیاده می‌شود. مقاطع معمولاً عمود بر محورهای مینرالیزه انتخاب می‌شوند. در مطالعات دامنهٔشمالی ایرانکوه طول خط مبنا در حدود ۱۰ کیلومتر و عرض مقاطع در حدود ۴۰۰ متر است که در مواقعی عرض منطقهٔمورد مطالعه تا یک کیلومتر اضافه شده است. فاصلهٔمقاطع از یکدیگر ۱۰۰ متر انتخاب شده است، ابتدا با آرایش مستطیلی، محدودهٔمورد نظر زیر پوشش اندازه‌گیری Rs, IP قرار گرفت و محورهای بی‌هنجاری‌ها مشخص شد. برای مطالعهٔاین محورهای بی‌هنجاری در عمق، در مراکز آن‌ها شبه مقاطع دوقطبی - دوقطبی تهیه شد. اینک کلیاتی از نتایج به دست آمده که نشان دهندهٔکارآیی این روش است ارائه می‌شود:

۳- کلیاتی از نتایج به دست آمده

نتایج حاصله از بررسی‌های ژئوفیزیکی در هرمنطقه معدنی یا بر روی یک کانسار به صورت نقشه‌های مختلف، از جمله نقشهٔتغییرات شارژ ابیلیته، مقاومت الکتریکی، شبه مقاطع، RS,IP مقاطع تغییرات فاکتورهای فیزیکی، با آرایش‌های الکترودی، IP Sounding،C. R. P، V.E.S، و هم‌چنین نتایج روش‌های دیگر ازجمله پیمایش مغناطیسی و گرانی سنجی وغیره ارائه می‌شوند. در منطقهٔمورد مطالعه از روش ژئوالکتریک با آرایه Dipole - Dipole, Rectangle استفاده شده است. این برر... ها درطول ۱۰ کیلومتر دامنه شمالی ایرانکوه انجام گرفته و محدوده مورد بررسی شامل تشکیلات دولومیت‌های آهکی کرتاسه و شیل‌های ژوراسیک می‌باشد. فاکتورهای اندازه‌گیری شده، شارژ ابیلیته و مقاومت الکتریکی است. با توجه به دو نوع تشکیلات زمین شناسی که زیرپوشش این عملیات قرار گرفته‌اند در مرحله اول باید تغییرات دو فاکتور Rs, IP در آهک‌های دولومیتی و شیل‌های ژوراسیک مشخص گردد تا زمینه (back ground) منطقه برای تشکیلات مذکور معلوم گردد، زیرا تعیین هرنوع بی‌هنجاری منوط به شناخت مقدار زمینه خواهد بود. برای مشخص کردن مقدار زمینه هرفاکتور فیزیکی درمناطقی که تشکیلات زمین‌شناسی دارای تغییرات چندانی نمی‌باشنداین فاکتور مستقیماً اندازه‌گیری و تعیین می‌گردد. در عمل اندازه‌گیری را در برخی از مقاطع که دارای شرایط یاد شده است ادامه داده و با رسم منحنی تغییرات فاکتورفیزیکی موردنظر مقدار زمینه آن تعیین گردیده و برآن مبنا بی‌هنجاری‌ها مشخص می‌گردند. درمنطقه مورد مطالعه، تغییرات شارژ ابیلیته ظاهری در آهک‌های دولومیتی و در مناطق عاری از هرگونه مینرالیزاسیون در حدود $15\frac{mv}{v}$ و در شیل‌ها به علت وجود ذرات ریز پیریت که به صورت پراکندهٔ در آن‌ها مشاهده می‌شود مقدار زمینه حدوداً $25\frac{mv}{v}$ است. که برمبنای زمینه‌های تعیین شده محدوده‌هایی باشارژ ابیلیته بیش‌تر از $30\frac{mv}{v}$ درداخل آهک‌های دولومیتی و محدوده‌هایی باشارژابیلیته بیش‌تراز $40\frac{mv}{v}$ درداخل شیل‌ها به‌صورت بی‌هنجاری تلقی گردیده‌است. در مورد تغییرات مقاومت الکتریکی باید یادآوری شود که مقاومت الکتریکی آهک‌های دولومیتی به سبب تغییرات درجه تراکم آن‌ها و موارد دیگر زیاد بوده مقدار آن بین ۴۰۰ اهم متر تا ۴۰۰۰ اهم متر در تغییراست. مقاومت الکتریکی شیل‌ها بین ۲۵۰- ۱۰۰ اهم متر است که البته در مواردی که شیل‌ها دارای آب املاح‌دار باشند مقدار مقاومت الکتریکی به کم‌تر از ۵۰ اهم متر نیز افت می‌کند.

با توجه به اختلاف مقاومت الکتریکی اندازه‌گیری شده، ردیابی همبری (contact) دو سنگ یاد شده با استفاده از داده‌های مقاومت الکتریکی امکان پذیراست.

باید یادآوری نمود که یکی از هدف‌های این بررسی‌ها تعیین این همبری گسله و احتمالاً تشخیص محدوده‌های مینرالیزه آن می‌باشد. با این مقدمه مختصری از نتایج به دست آمده دردامنه شمالی ایرانکوه ارائه می‌گردد.

۳-۱- محدوده معدن گوش فیل

درازای این محدوده ۲/۵ کیلومتر بوده و شامل معدن گوش فیل نیز می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری شارژ ابیلیته و مقاومت الکتریکی در شکل ۱ ارائه گردیده است. مقدار شارژ ابیلیته در دو زون زیاد بوده که به صورت زون‌های بی‌هنجاری Z2, Z1 در شکل 1A مشخص شده‌اند. درزون Z1 مقدار شارژ ابیلیته حداکثر $45\frac{mv}{v}$ و در زون Z2 مقدار آن در مراکز بی‌هنجاری حداکثر $50\frac{mv}{v}$ می‌باشد. مقدار شارژ ابیلیته از طرف جنوب در زون Z2 به سرعت افت کرده و به حد زمینه نزدیک می‌شود در صورتی که محدوده‌هایی با شارژ ابیلیته زیاد به سوی شمال گسترش داشته و این امر نشان می‌دهد که شیب ناحیه مینرالیزه به طرف شمال می‌باشد.

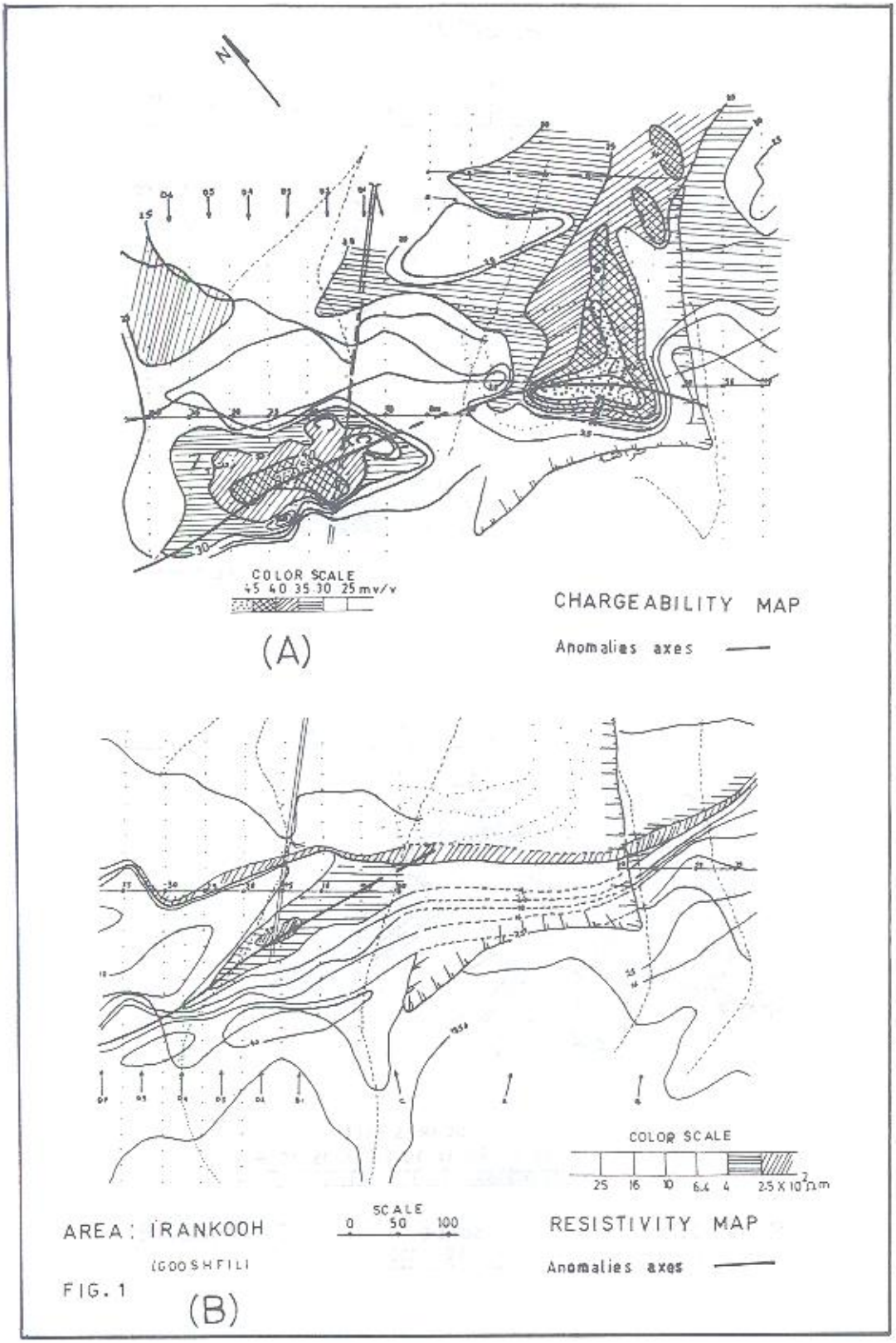
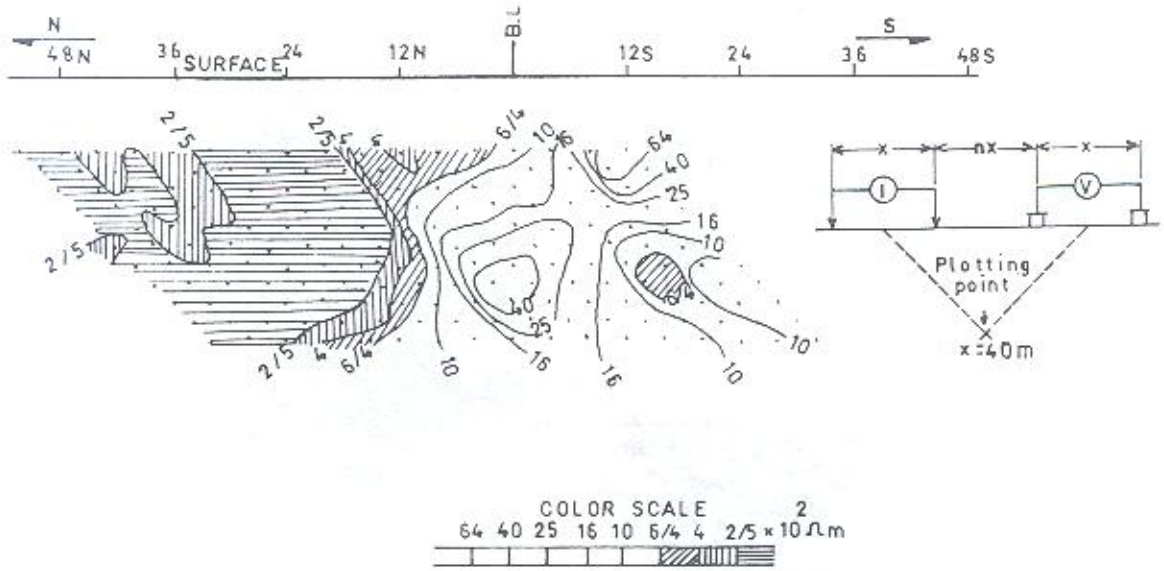
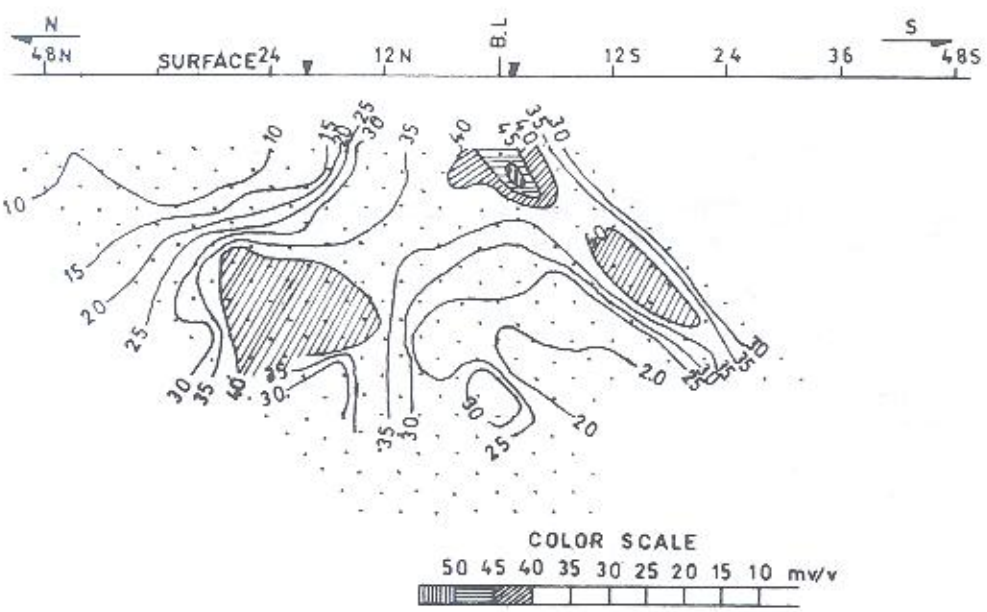

N
COLOR SCALE
45 40 35 30 25 mv/v
CHARGEABILITY MAP
Anomalies axes
(A)
COLOR SCALE
25 16 10 6.4 4 2.5 X 10² Ωm
SCALE
0 50 100
AREA : IRANKOOH
(GOOSHFILI
RESISTIVITY MAP
Anomalies axes
(B)

FIG. 1

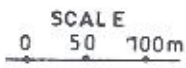
P. 12/5.W



RESISTIVITY MAP



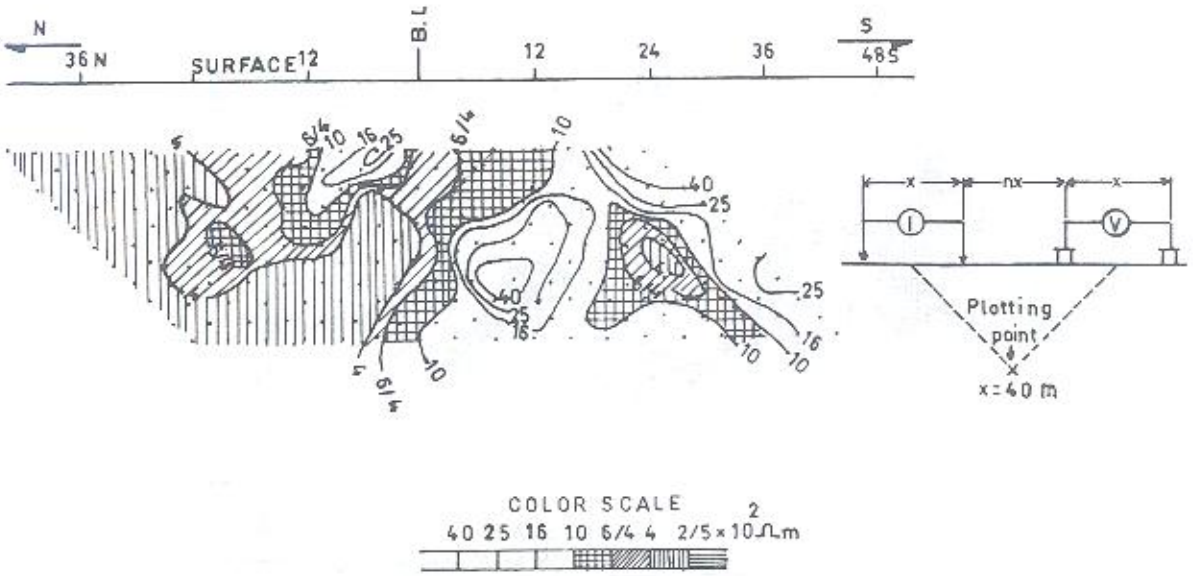
AREA: IRANKOOH
(GOOSHFIL)



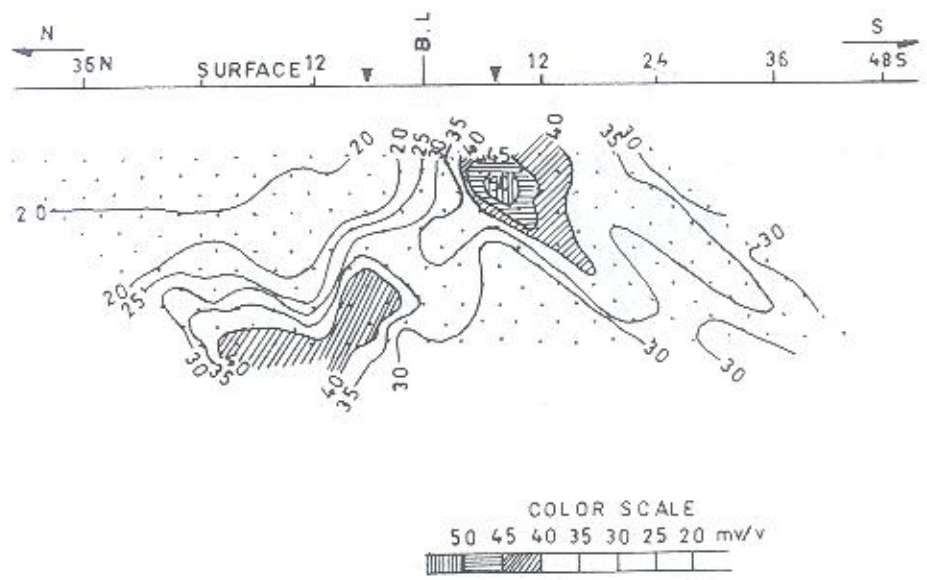
CHARGEABILITY MAP

FIG.2

P.17/5 W



RESISTIVITY MAP

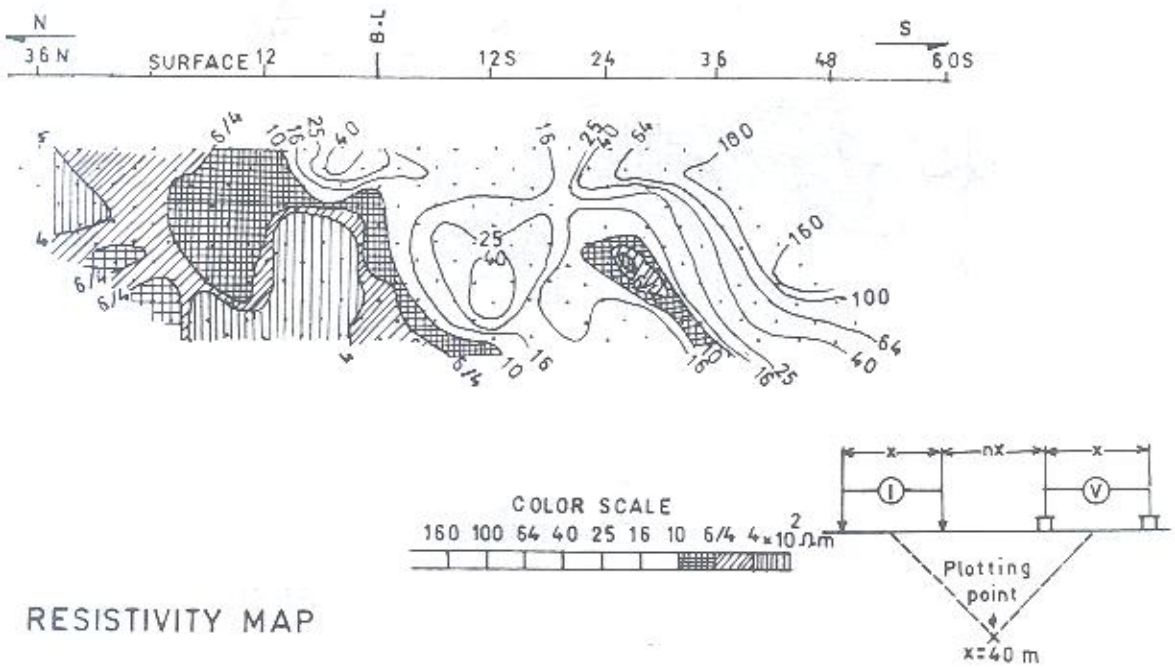


AREA: IRANKOOH
(GOOSHFIL)

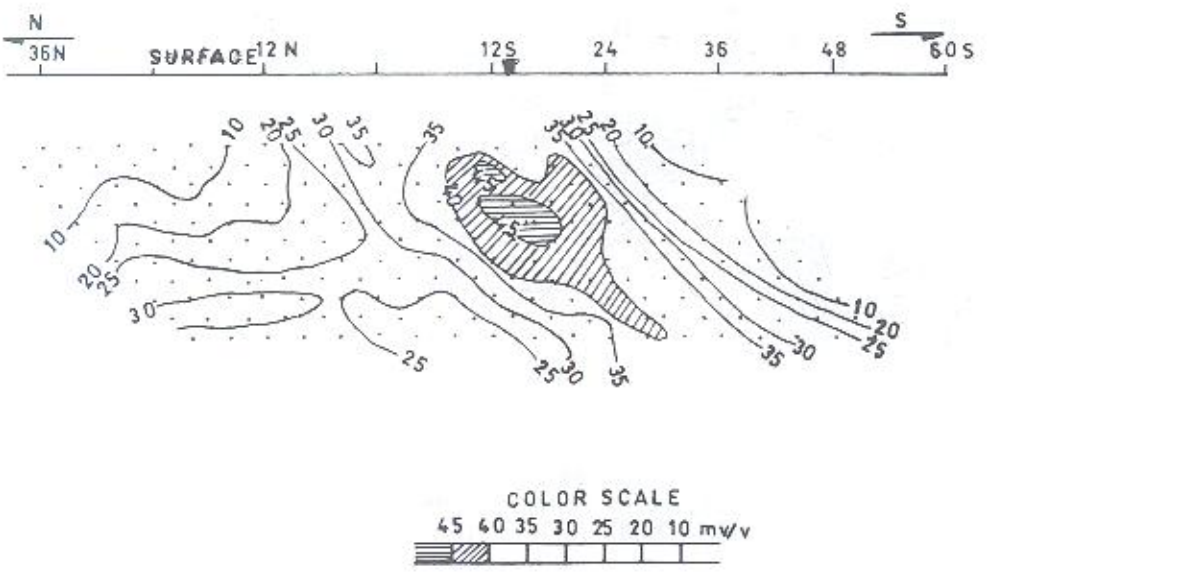
CHARGEABILITY MAP

FIG. 3

P.22/5W



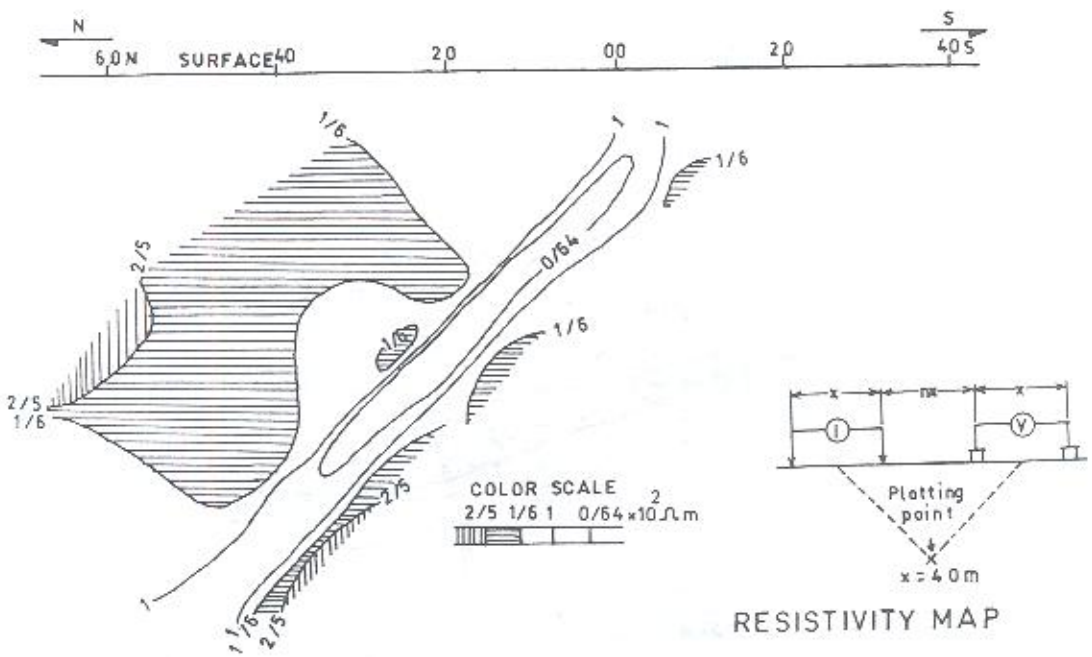
RESISTIVITY MAP



AREA: IRANKOOH
(GOOSHFIL)

CHARGEABILITY MAP

FIG.4


N
60N
SURFACE
40
20
00
20
S
40S
1/6
2/5
1
0/64
COLOR SCALE
2/5 1/6 1 0/64 x10 Ω m
Platting point
x = 40 m
RESISTIVITY MAP

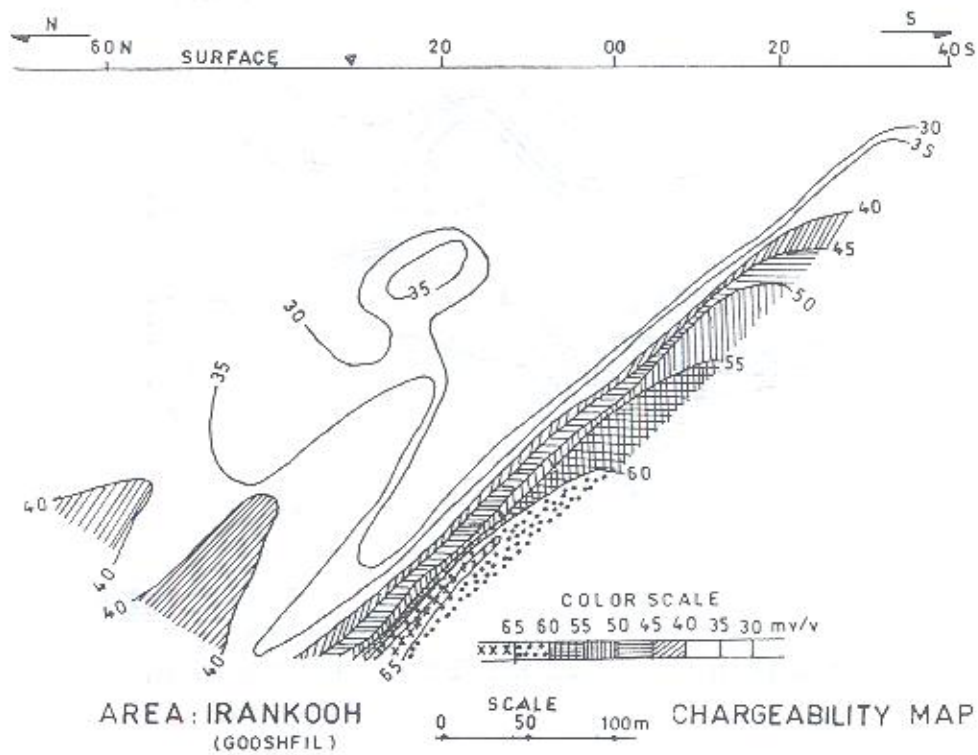
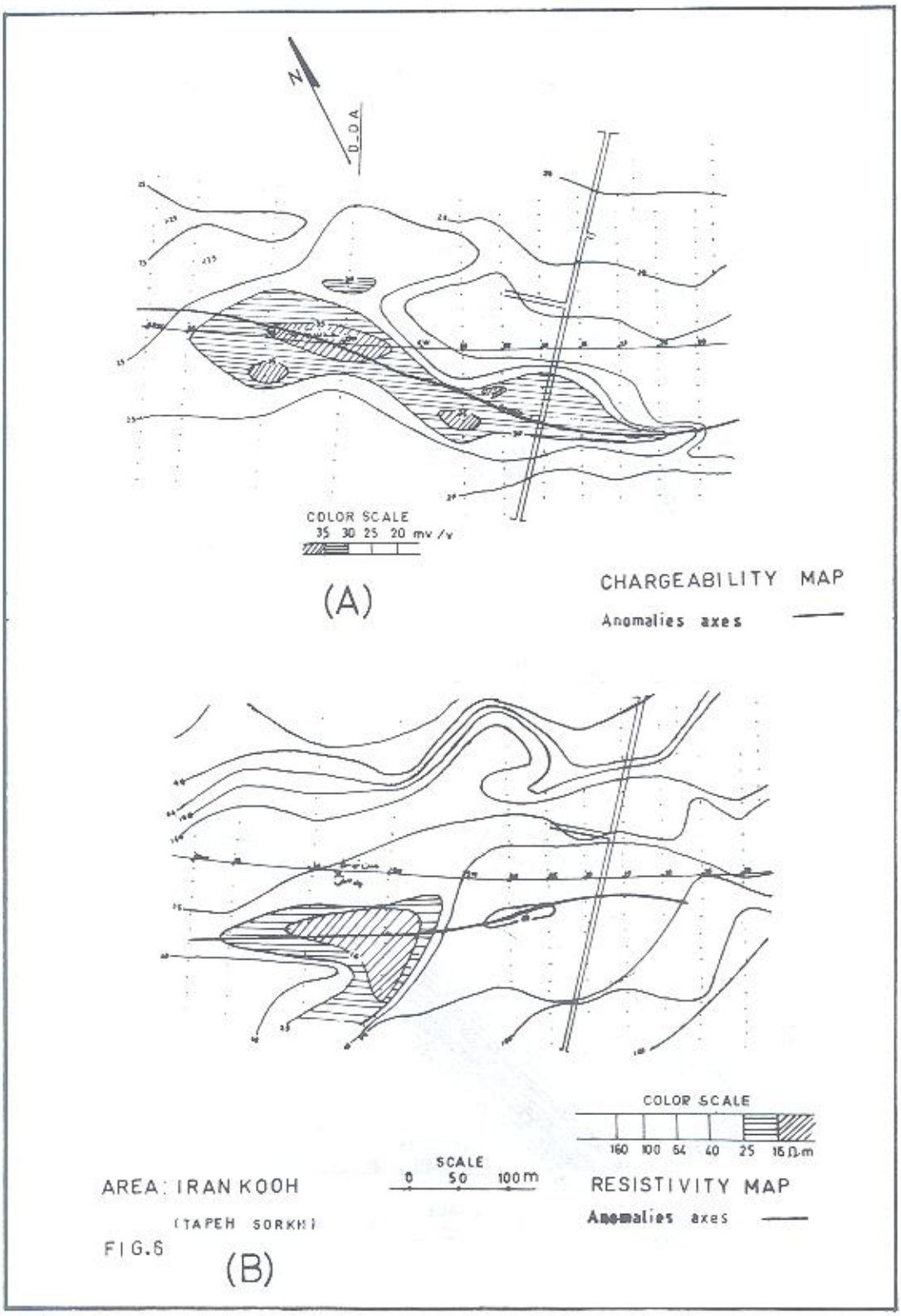
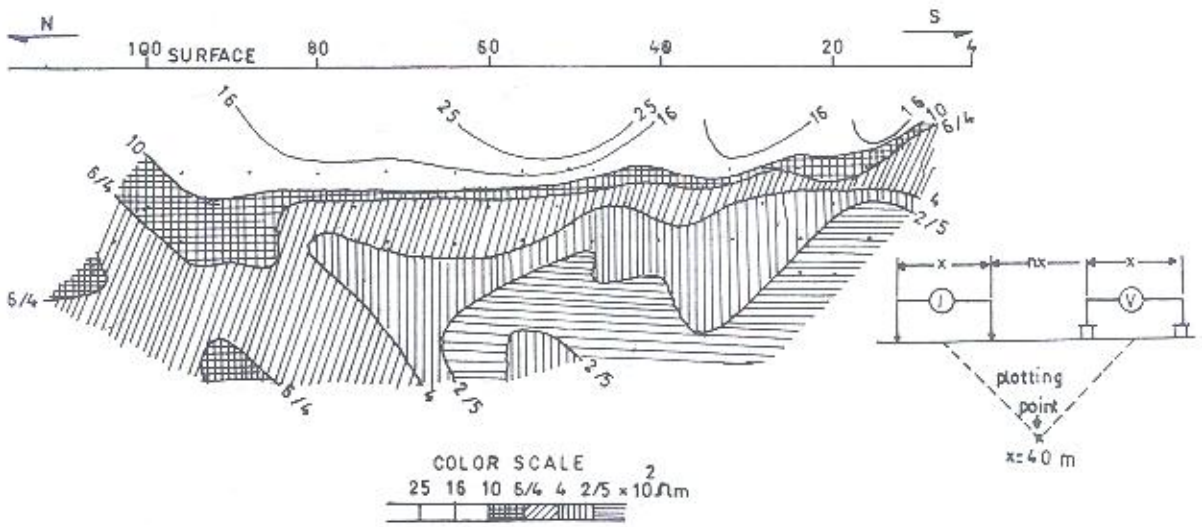

N
60N
SURFACE
20
00
20
S
40S
30
35
40
45
50
55
60
65
COLOR SCALE
65 60 55 50 45 40 35 30 mv/v
AREA: IRANKOOH
(GOOSHFIL)
SCALE
0
50
100m
CHARGEABILITY MAP

FIG.5

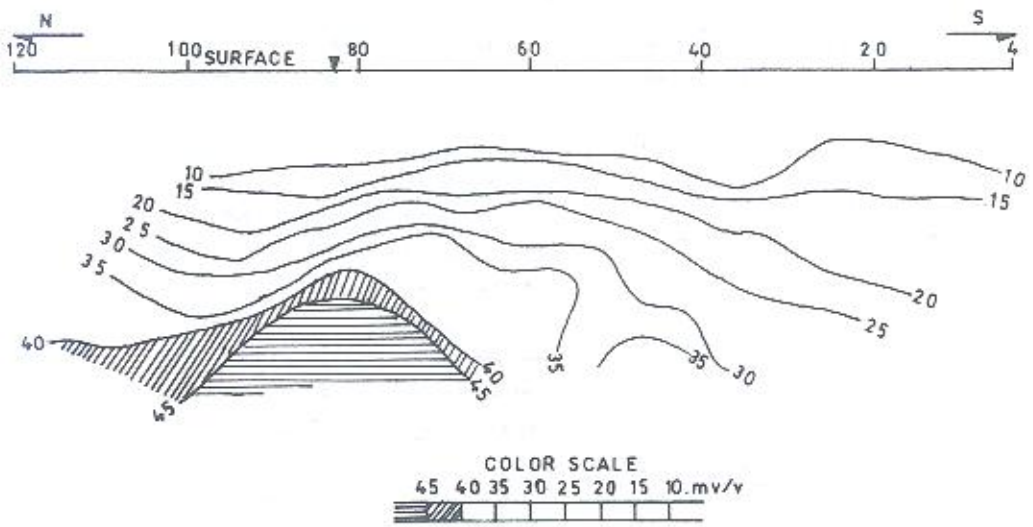

N
D_D A
COLOR SCALE
35 30 25 20 mv /v
(A)
CHARGEABILITY MAP
Anomalies axes
COLOR SCALE
160 100 64 40 25 16 Ω.m
SCALE
0 50 100 m
AREA: IRAN KOOH
(TAPEH SORKH)
FIG.6
(B)
RESISTIVITY MAP
Anomalies axes

P.A



(A)

RESISTIVITY MAP



AREA: IRANKOOH

(TAPEH SORKH)

CHARGEABILITY MAP

FIG.7

(B)

تغییرات مقاومت الکتریکی در شکل 1B نشان داده شده است. یادآوری می‌شود که چون اندازه‌گیری در روی کانسار گوش فیل بر روی مقاطع منظم انجام نگرفته بلکه در روی پله‌هایی که جهت برداشت باطله‌های معدن درست شده انجام گرفته، لذا مقدار مقاومت الکتریکی محاسبه نگردیده است ولی اندازه‌گیری پتانسیل حاصله ناشی از تزریق جریان نشان می‌داد که مقاومت الکتریکی در محدوده معدن دارای افت شدید بوده است. در منطقه Z1 تغییرات مقاومت الکتریکی نشان دهنده یک مرکز بی‌هنجاری است. این مرکز در جنوب مقطع W ۱۵ قراردارد و با توجه به اینکه در این محدوده آهک‌های دولومیتی قرار دارند و از طرف باختر و خاور مقدار مقاومت الکتریکی به بیش از ۱۰۰۰ اهم متر می‌رسد لذا افت سریع مقاومت ویژه به حدود ۲۵۰ اهم متر می‌تواند نتیجه یک بی هنجاری ناشی از مینرالیزاسیون باشد، زیرا در این محدوده مقدار شارژ ابیلیته نیز به حداکثر می‌رسد، و باتوجه به شکل‌های 1B, 1A انطباق نسبی خوبی بین بی‌هنجاری شارژ ابیلیته و مقاومت ظاهری وجود دارد. هم‌چنین باتوجه به تغییرات مقاومت الکتریکی، همبری بین آهک‌های دولومیتی و شیل‌ها در نقشه ردیابی شده است.

برای آگاهی بیش‌تر از گسترش این بی‌هنجاری‌ها در ژرفا، تعداد ۷ شبه مقطع عمود برمحور آن‌ها تهیه شده است. به طور مثال نتایج سه شبه مقطع تهیه شده درشکل‌های ۲،۳،۴، بروی مقاطع W ۱۲/۵، W ۱۷/۵، W ۲۲/۵ از زون Z1 و یک شبه مقطع تهیه شده(شکل ۵) از زون Z2 نشان داده شده است. در این شبه مقاطع که به صورت شبه مقاطع شارژابیلیته و مقاومت الکتریکی تهیه شده‌اند گسترش بی‌هنجاری‌ها در ژرفا و شیب آن‌ها مشخص گردیده‌اند. شکل‌های ۲، ۳، ۴ نشان می‌دهند که منطقه مینرالیزه در زون Z1 زیاد عمیق نبوده و در مواقعی برخی از مراکز بی‌هنجاری به سطح زمین نزدیک می‌باشند و ژرفای آن‌ها از ۳۰- ۲۰ متر تجاوز نمی‌کند. با مقایسه شبه مقاطع شارژابیلیته و مقاومت الکتریکی، هم‌خوانی خوبی بین این دوفاکتور فیزیکی مشاهده می‌شود. بدین معنی که در زون‌هایی که مقدار شارژابیلیته زیاد است مقاومت الکتریکی به علت وجود کانی‌های فلزی دارای افت شدید می‌باشد. در شکل ۵ شبه مقطعی از زون Z2 نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که به سبب وجود پله‌های برداشت باطله‌های معدن انجام یک شبه مقطع کامل و ادامه آن از طرف جنوب امکان پذیر نبوده است ولی با این وجود در همین شبه مقطع، زون مینرالیزه و شیب آن به خوبی مشخص گردیده است. مقدار شارژابیلیته در مرکز بی‌هنجاری از $\frac{mv}{v}$ ۶۵ تجاوز می‌کند و مقاومت الکتریکی به کمتراز ۶۴ اهم مترمی‌رسد که تاییدی بر وجود زون مینرالیزه می‌باشد، برمبنای نتایج به دست آمده در منطقه Z1 و باتوجه به ژرفای کم مینرالیزاسیون، تعدادی حفاری اکتشافی در مراکز بی‌هنجاری‌ها پیشنهاد شد که نتایج به دست آمده نشان‌گر وجود محدوده مینرالیزاسیون قوی می‌باشد. نتایج تجزیه شیمیایی در مواردی حاکی از وجود بیش از ۱۰ درصد سرب و ۱۳ درصد روی بود که در اصل کانی روی به صورت غیرمستقیم اکتشاف شده بود و هم‌چنین برنامه‌ریزی ادامه حفر تونل موجود در این منطقه برمبنای نتایج ژئوفیزیک برنامه‌ریزی گردید. در منطقه Z2 نیزیک گمانه اکتشافی پیشنهاد گردید این گمانه وجود ۱۸ متر ناحیه مینرالیزه از سرب و روی را تایید کرد.

۳-۲- محدوده تپه سرخ

در محدوده تپه سرخ نیز یک محور بی‌هنجاری شارژ ابیلیته ردیابی گردید. درازای این محور در حدود ۳۰۰ متر بود که کانسارهای معدن قدیمی را نیز در برمی‌گیرد. در این محور مراکزی با شدت شارژ ابیلیته بیش‌تر از $\frac{mv}{v}$ ۳۵ مشخص گردیده‌اند. در شکل (A) ۶ محور بی‌هنجاری شارژ ابیلیته[۷] و مراکز آن نشان داده شده و در شکل (B) ۶ نتایج اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ارائه گردیده است، با توجه به این شکل دیده می‌شود که در جنوب محدوده‌بین مقاطع W ۵ تا W ۲۵ مقاومت الکتریکی از ۴۰۰۰ اهم متر به کم‌تر از ۱۶۰۰ اهم متر افت می‌کند که می‌تواند به دلیل وجود مینرالیزاسیونی از سرب نیز باشد و این بی‌هنجاری با بی‌هنجاری شارژ ابیلیته در همین منطقه هم‌خوانی دارد. مقاومت الکتریکی به سوی شمال کم‌تر شده و در مناطقی که از شیل‌های ژوراسیک تشکیل شده‌اند و در زیر رسوبات آبرفتی قرار دارند به کم‌تر از ۱۶۰ اهم متر می‌رسد. در نقشه‌های کلی این منطقه همبری شیل‌های ژوراسیک و آهک‌های دولومیتی به خوبی مشخص گردیده‌اند.

در شکل ۷ شبه مقطع اندازه‌گیری شده در مقطع W ۱۵ و بر روی مرکز بی‌هنجاری شارژ ابیلیته نشان داده شده است. این شکل شامل شبه مقطع شارژ ابیلیته و مقاومت الکتریکی است. منطقه مینرالیزه و گسترش آن در شکل B ۷ مشخص گردیده که بین ایستگاه‌های ۸۰ تا ۱۰۰ واقع شده و از ژرفای حدود ۱۲۰ متری شروع می‌شود. محل گمانه اکتشافی پیشنهادی در این شبه مقطع معلوم و حفاری انجام شده وجود مینرالیزاسیون سرب را تایید کرده است.

۳-۳- محدوده گردنه

در محدوده گردنه که آثاری از معادن قدیمی را نیز دارد هیچ گونه بی‌هنجاری به دست نیامد. لذا از هر گونه عملیات اکتشافی شامل ترانشه‌زنی و حفر گمانه‌های اکتشافی باید پرهیز کرد. ضمناً یادآوری می‌شود که بین محدوده تپه سرخ و گردنه در داخل سنگ‌های دولومیت بی‌هنجاری دیگری ردیابی شده است که اکتشافات تکمیلی بر روی آن هنوز به انجام نرسیده است.

۴- نتیجه‌گیری کلی

با بررسی کلی و مثالی که از کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف معادن ذکر شد به نظر می‌رسد که اهمیت این مرحله از اکتشافات به خوبی مشخص شده باشد. منظور از ارائه این مقاله نشان دادن اهمیت مطالعات ژئوفیزیکی در امر اکتشافات معادن بوده است. همچنین تاکیدی بود برلزوم انجام این نوع مطالعات همراه با مطالعات ژئوشیمیایی در سلسله مراتب اکتشافات سیستماتیک. یادآور می‌شود که آخرین مرحلهٔ اکتشافات، یعنی برنامه‌ریزی جهت حفر گمانه‌های اکتشافی، باید برمبنای مطالعات ژئوفیزیک و ژئوشیمی و تلفیق نتایج

آن‌ها با داده‌های زمین‌شناسی انجام گیرد تا از هزینه‌های اضافی جلوگیری شود.

در مورد مثال ارائه شده باید گفت در سال‌های قبل از انقلاب ۱۶ گمانهٔ اکتشافی هریک به عمق حدود ۲۰۰ متر با توجه به امکان وجود عدسی‌هایی از سرب و روی در کنتاکت شیل‌های ژوراسیک و آهک‌های دولومیتی کرتاسه حفر شد که در مواردی نیز آثاری از سولفور سرب و روی در نمونه‌ها مشاهده شده ولی در نهایت حفاری‌های انجام شده نتیجهٔ مثبتی نداشته‌اند، به ویژه که این گمانه‌های اکتشافی در محدوده‌ای متمرکز بودند که آبرفت‌های دامنه‌ای به صورت مخروط افکنه روی این کنتاکت را پوشانیده‌اند و به دین ترتیب هزینهٔ گزافی به امر اکتشاف تحمیل شده است. در مقام مقایسهٔ عملکرد ژئوفیزیک، فقط این نکته را یادآوری می‌کنیم که منطقهٔ مذکور به مدت سه روز زیرپوشش اکتشاف قرار گرفت و نتایج نشان داد که هیچ گونه تمرکزی از مینرالیزاسیون در کنتاکت مذکور در زیر پوشش آبرفتی وجود ندارد، در صورتی که در این منطقه حداقل ۵ گمانهٔ اکتشافی حفر شده بود. برعکس، در بی‌هنجاری ردیابی شده که در شرق معدن گوشفیل قرار دارد و در داخل آهک‌های دولومیتی مشخص شده، هیچ گونه حفاری اکتشافی قبلاً انجام نگرفته بود و حفاری‌هایی که بعداً برمبنای داده‌های ژئوفیزیک انجام شدند مؤید وجود سولفور سرب و روی در محدودهٔ این بی‌هنجاری بودند. نکتهٔ دیگر این که هزینه‌های انجام شده برای مطالعات ژئوفیزیک به مراتب کم‌تر از هزینه‌های حفاری است و اصولاً نتیجهٔ این نوع مطالعات به حداقل رساندن تعداد گمانه‌های اکتشافی است. از این رو توصیهٔ ما به تمامی مهندسان و افرادی که در امر اکتشاف فعالیت دارند این است که مطالعات ژئوفیزیک و ژئوشیمی را در برنامه‌های اکتشافی قرار دهند و حفاری‌های اکتشافی را برمبنای داده‌های روش‌های مذکور و تلفیق آن‌ها با داده‌های زمین‌شناسی برنامه‌ریزی کنند. در شماره‌های آینده مثال‌های دیگری از کاربرد روش‌های ژئوفیزیک در اکتشاف معادن در ایران ارائه خواهد شد. در این مثال‌ها سعی خواهد شد تجزیه و تحلیل‌های بیش‌تری از نتایج به دست آمده انجام گیرد تا ضمن مقایسه با نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی و داده‌های زمین‌شناسی، لزوم همکاری گروه‌های مذکور در بهره‌گیری از اکتشافات انجام شده نشان داده شود.

کتاب نگاری

کیمیاقلم ، جعفر، و کیمیاقلم، جمشید، ۱۳۶۱- مطالعات ژئوفیزیک در معادن با ما(ایرانکوه).

مؤمن زاده، مرتضی، ۱۳۵۵ - کانسارهای سرب و روی در رسوبات کرتاسه زیرین و ژوراسیک در منطقه ملایر- اصفهان - غرب ایران مرکزی.

References

Blaricom, R. U., 1988- *Practical geophysics for the exploration geologist.* Northwest Mining Association, Spokane, WA 99201, U. S. A., 302 p.

Hailand , C. A., 1968- *Geophysical exploration.* Hanfer publishing Co. New York and London.

Hood, P. J., 1979- *Geophysics and Geochemistry in the search for metallic* ores. Proc. of exploration 77, Ottawa, Canada, 811 p.

Zahedi, M., 1976- *Explanatory text of the Esfahan quadrangle map* 1:250,000, Geol. Surv. Iran, quadrangle No. F8, 49 p.

The application of Geophysic in Mineral Exploration.

* سازمان زمین‌شناسی کشور

* Geological Survey of Iran.