

روش و چگونگی مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک در محل یک تونل انتقال آب

عباس صمدیان^۱، ثمانه نائیج زاده^۲، حسین تسییحی^۳، فؤاد غلامی قره شیران^۴

کارشناس ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران.^۱

کارشناس ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات، تهران.^۲

دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه پیام نور تهران، تهران.^۳

کارشناس ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران شمال، تهران.^۴

شرکت مهندسی مشاور صحراکاو، تهران.^{۱و۳و۴}

E-mail: A.Samadian@saharakav.ir

چکیده

در این مقاله روش و چگونگی مطالعات ژئوفیزیک به روش ژئوالکتریک، روی مسیر تونل انتقال آب جهت تهیه و بررسی اهداف این اجرا شد: ۱. تعیین ضخامت آبرفت و عمق دقیق سنگ پی؛ ۲. شناسایی و تفکیک لایه‌های روباره محور تونل؛ ۳. شناسایی و تفکیک لایه‌های زیرمحور تونل؛ ۴. شناسایی گسل‌ها و مناطق خرد شده و ناپایدار؛ ۵. وضعیت تراز سطح ایستایی؛ ۶. بررسی وضعیت توسعه حفرات زیرزمینی؛ ۷. شناسایی و تفکیک زون‌های خرد شده و اشباع و گسترش قائم و جانبی آن‌ها؛ ۸. تعیین وضعیت و جنس توده سنگ‌ها در زیر مسیر آبرفتی در مورد مطالعه؛ ۹. تلفیق نتایج مطالعات با اطلاعات موجود زمین‌شناسی؛ بدین منظور از مجموع ۱۶۱ سونداژ ژئوالکتریک برداشت شده به روش شلومیرژه با طول فرستنده $AB=1400m$ و نیز تفسیر سونداژها و روند منحنی‌های هم مقاومت ویژه ظاهری با در نظر گرفتن اطلاعات زمین‌شناسی و گمانه‌های حفاری شده، لایه‌ها و گسل‌هایی در مقاطع ژئوالکتریک شناسایی شده است. تحلیل و بررسی مطالعه فوق در جهت ارزیابی کیفی و کمی ساختار زمین‌شناسی مسیر تونل جهت تعیین پارامترهای مورد نیاز گروه‌های اجرایی حفاری و کاهش هزینه‌های احتمالی حین حفاری مفید است. از این رو ۷۱۰۰ کیلومتر تونل مورد مطالعه ژئوفیزیک قرار گرفت.

کلمات کلیدی: ژئوالکتریک، گسل، سطح ایستایی، تونل، مقاومت ویژه ظاهری.

مقدمه

به منظور نیل به اهداف فوق اقدام به طراحی ۱۴ خط اصلی به نام های A تا L و شماره های 30, 14 و نیز ۴۵ خط فرعی به شماره های (۱ الی ۱۳ و ۱۵ الی ۲۹ و ۳۱ الی ۴۷) و سپس برداشت ۱۶۱ سونداژ در سه منطقه مجزا شامل (ورودی تونل، قسمت میانی و انتهای تونل) کرد که پس از تلفیق داده های ژئوالکتریک برداشت شده و اطلاعات زمین شناسی موجود لایه های گسترده مقاومت ویژه الکتریکی لایه ها در محل پروژه مسیر تونل به شرح زیر تعیین شد: رسوبات آبرفتی (Qt)، رسوبات آبرفتی دانه ریز احتمالاً آبدار (Qt1)؛ رسوبات آبرفتی دانه متوسط احتمالاً آبدار (Qt2)؛ رسوبات آبرفتی دانه درشت احتمالاً آبدار (Qt3)؛ گرانیت و گرانودیوریت هوازده (Gr)^W؛ دولومیت تیره هوازده و دولومیت ماسه دار همراه با چرت (KD,DS)^W؛ هورنفلس (Hf)؛ گرانیت و گرانودیوریت (Gr)؛ دولومیت تیره و دولومیت ماسه دار همراه با چرت (KD,DS)؛ دولومیت به همراه شیل اسلیتی بین لایه ای (KD,Sh)؛ دولومیت و آهک متبلور (KLD)؛ شیل - اسلیت - فیلیت (Ksh,sl,fl)؛ شیل (Ksh)؛ شیست (Ksch)؛ مرمر - دولومیت و شیل (KM,D,SL)؛ آهک مرمریتی و دولومیتی (KMLD)؛ کنگلومرا (Kc). جدول یک.

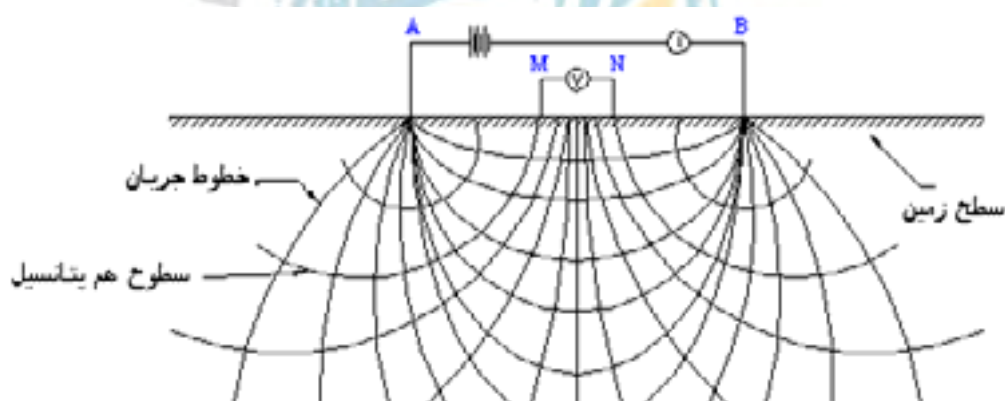
جدول ۱: فهرست کامل سونداژها و خطوط برداشت

تعداد خط های برداشت	۱۴
تعداد سونداژها	۱۶۱
طول فرستنده جریان (AB)	۱۴۰۰ متر
مقادیر مقاومت ویژه ظاهری	
• حداقل	۵,۹ اهم متر
• حداکثر	۷۲۹۴ اهم متر
ارتفاع سونداژها	
• حداقل	۱۳۶۵,۹ متر
• حداکثر	۱۶۹۵,۶ متر
خط برداشت	تعداد سونداژها
A	۷
B	۱۲
C	۷
G	۴
H	۷
I	۴
D	۱۶
E	۳۱
F	۱۶
J	۱۶
K	۱۶
L	۱۶
BH19, BH20 شماره خط ۱۳ در حوالی گمانه های	۲
BH11, BH10, BH9 شماره خط ۳۰ در حوالی گمانه های	۳
BH14, BH16, BH15, BH21 در حوالی گمانه های	۴

روش اندازه‌گیری

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان روش‌های ژئوالکتریک را به دو بخش عمده تقسیم کرد: ۱- روش‌هایی با استفاده از چشمه انرژی طبیعی؛ ۲- روش‌هایی با استفاده از چشمه انرژی مصنوعی؛ متدهای مقاومت ویژه از روش‌های دسته دوم محسوب می‌شوند. در متد مقاومت ویژه، جریان الکتریکی معمولاً از دو الکترود به زمین تزریق شده و توسط دو الکترود دیگر اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود و سپس با توجه به فرمول ذیل $\rho = k \times \Delta V / I$ می‌توان مقاومت ظاهری به دست آورد. با استفاده از این آرایه می‌توان از نسبت اختلاف پتانسیل و شدت جریان اندازه‌گیری شده در سطح کمیتی به نام مقاومت ویژه ظاهری را به دست آورد. از آنجا که با گسترش فاصله AB، جریان به عمق‌های بیشتری نفوذ می‌کند، مقاومت ویژه ظاهری با تغییر فاصله AB تغییر خواهد کرد. روند این تغییر بستگی به ویژگی‌های الکتریکی لایه‌های زیرزمینی دارد. از تحلیل مقاومت ویژه ظاهری برای عمق نفوذهای مختلف می‌توان به لایه‌بندی زیرزمینی و بی‌هنجاری‌های موجود در آن‌ها پی برد و مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌های مختلف را به دست آورد. روش بالا را گمانه‌زنی الکتریکی می‌خوانند و روش ژئوالکتریک اشاره به مطالعه لایه‌بندی زمین بر اساس مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده دارد. در این مطالعه از این روش برای اندازه‌گیری‌های لایه‌های مسیر تونل انتقال آب استفاده شده است.

نتایج مطالعات الکتریک محل تونل انتقال آب در قالب نقشه‌ها و مقاطع هم مقاومت ویژه ظاهری و ژئوالکتریک مورد بررسی قرار گرفت. (شکل ۱)



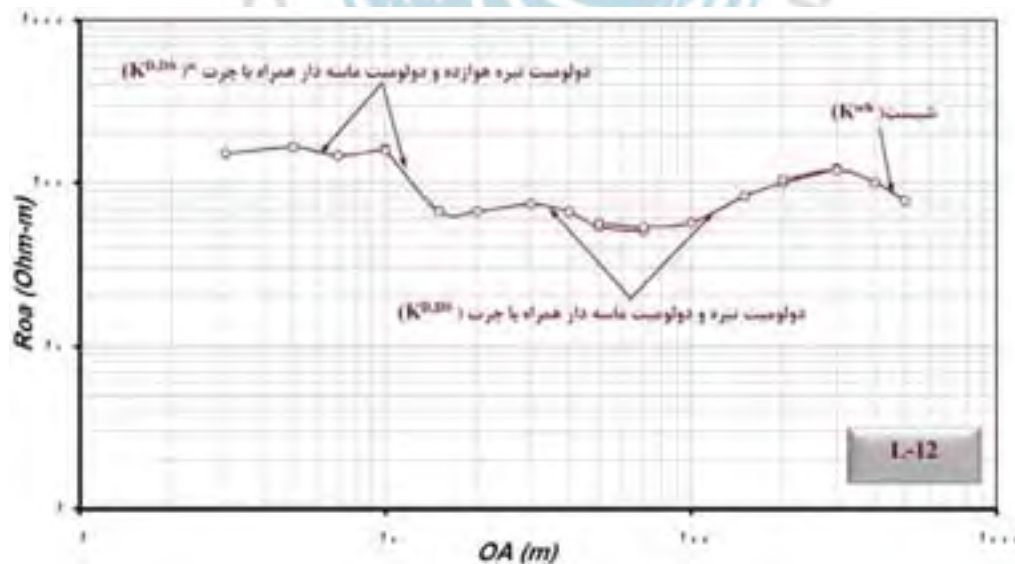
شکل ۱: خطوط جریان و سطوح هم پتانسیل برای ارائه مقارن شلومبرژه.

گستره مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌ها

از بررسی کلیه سونداژهای برداشت شده و با در نظر گرفتن اطلاعات زمین‌شناسی، گستره تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌ها در محل تونل انتقال آب به شرح جدول ۲ و شکل ۲ است.

جدول ۲: گستره مقاومت ویژه الکتریکی لایه ها در محل تونل انتقال آب.

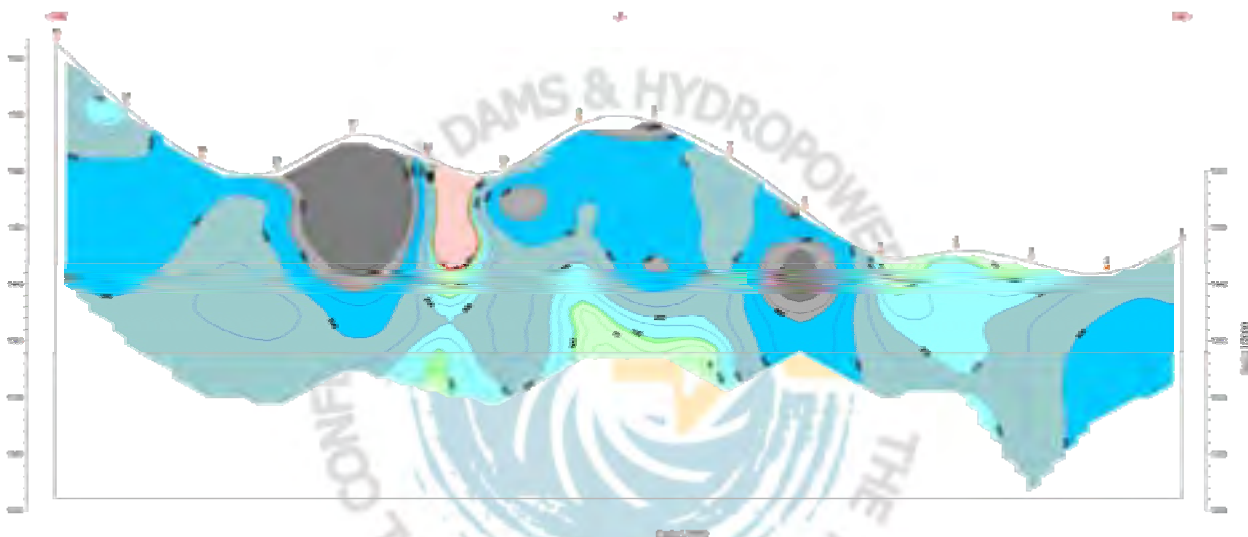
لایه	مقاومت ویژه الکتریکی غالب (اهم متر)	سونداژ نمونه
رسوبات آبرفتی (Q_t)	۱۰-۱۰۰	K-5, A-3
رسوبات آبرفتی دانه ریز احتمالاً آب دار (Q_{t1})	۵-۱۰	A-3
رسوبات آبرفتی دانه متوسط احتمالاً آب دار (Q_{t2})	۱۷-۳۲	A-3
رسوبات آبرفتی دانه درشت احتمالاً آب دار (Q_{t3})	۴۰-۷۰	A-5
گرانیت و گرانودیوریت هوا زده (Gr^W)	۵۰-۱۰۰۰	E-27
دولومیت تیره هوا زده و دولومیت ماسه دار همراه با چرت (KD, DS^W)	۵۰-۱۰۰۰	L-12, L-15
هورنفلس H_f	۲۰-۴۰	F-14
گرانیت و گرانودیوریت Gr	۶۰۰	E-27
دولومیت تیره و دولومیت ماسه دار همراه با چرت (KD, DS)	۲۰۰-۴۰۰۰	L-12, L-15
دولومیت به همراه شیل اسلیتی بین لایه ای (KD, Sh)	۶۰-۹۰	L-15
دولومیت و آهک متبلور (KLD)	۲۰۰-۱۰۰۰	K-5
شیل - اسلیت - فیلیت ($K_{sh, sl, fl}$)	۱۰۰-۴۰۰	K-5
شیل (K_{sh})	۷۰-۱۳۰	F-1A
شیست (K_{sch})	۲۰-۵۰	L-12
مرمر - دولومیت و شیل (KM, D, SL)	۱۱۰-۴۰۰	B-11
آهک مرمریتی و دولومیتی ($KMLD$)	۲۰۰-۸۰۰	L-2
کنگلومرا K_c	۸۰-۲۰۰	A-3



شکل ۲: نمونه سونداژ E-27.

مقاطع هم مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری

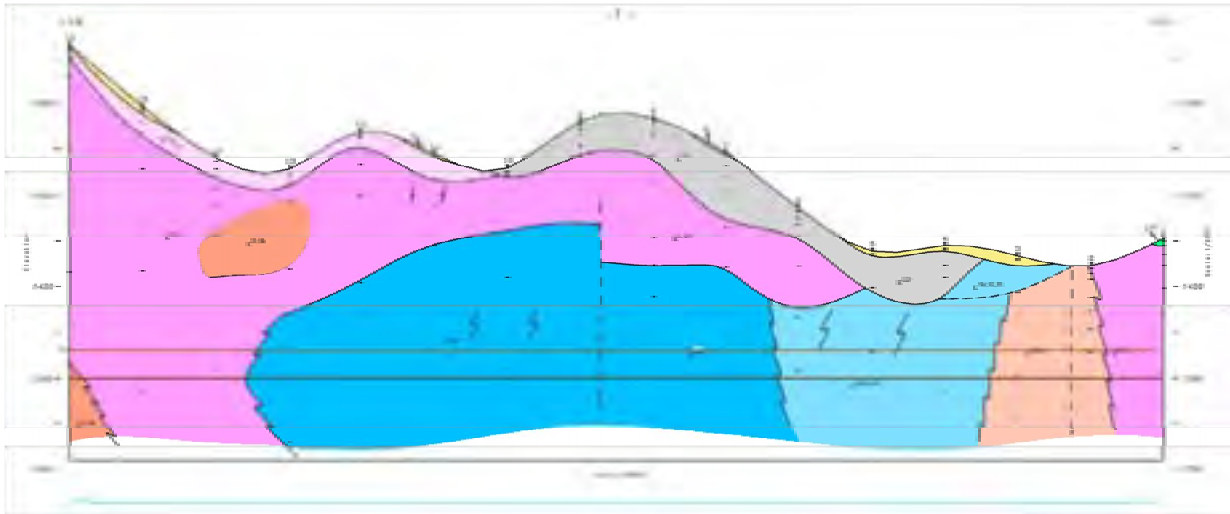
مقاطع های هم مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری نشان دهنده نحوه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در صفحه های قائمی است که از امتداد خط های برداشت می گذرند. بر اساس روند پربندها در این مقطع ها می توان گسترش لایه ها و نیز تغییرات روند گسترش آن ها را به طور کیفی مورد ارزیابی قرار داد. در این مقطع ها می توان روند همبری ها و شکستگی های احتمالی را از روی شیب نسبتاً تند پربندها تشخیص داد. برای تهیه این مقطع ها مقادیر مقاومت ویژه ظاهری در ارتباط با عمق مؤثر نفوذ جریان مربوط (در این بررسی عمق مؤثر یک چهارم فاصله الکترودهای فرستنده جریان در نظر گرفته شده است) منظور شده اند و سپس پربندهای هم مقاومت ویژه ظاهری (منحنی های هم مقدار) رسم شده اند. منحنی های هم مقاومت ویژه ظاهری در این مقطع ها غالباً برای مقادیر ۵ تا ۱۵۰۰ اهم متر رسم شده اند. (شکل ۳)



شکل ۳: نمونه مقطع هم مقاومت ویژه ظاهری

مقاطع ژئوالکتریک

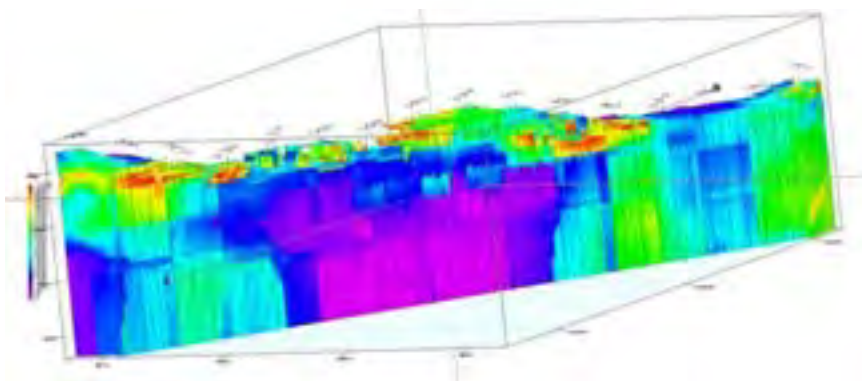
این مقاطع به منظور بررسی کمی تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی زمین در منطقه مورد مطالعه، از نتایج داده های خام صحرائی بر اساس مقاومت حقیقی آن ها محاسبه شده است. با توجه به کالیبره کردن این مقاومت ها با ساختار زمین شناسی منطقه می توان نوع و مشخصات لایه بندی را از یکدیگر تفکیک داد. (شکل ۵، جدول ۲)



شکل ۴: نمونه مقطع ژئوالکتریک.

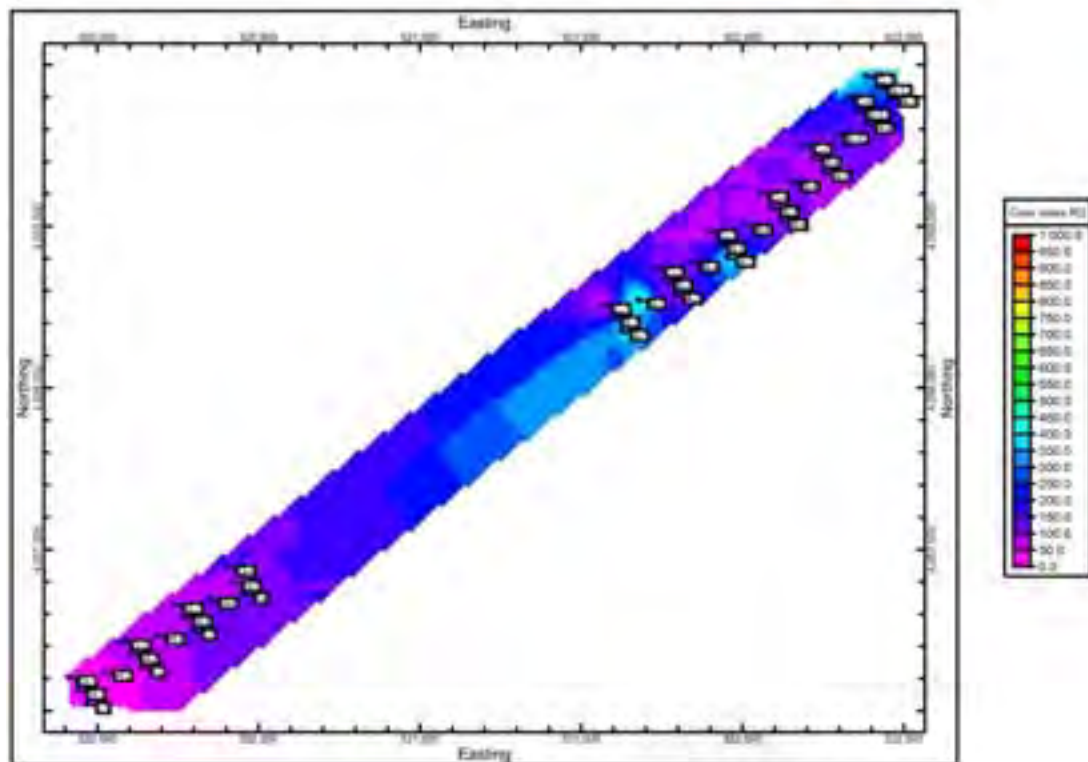
مدل سازی سه بعدی

باتوجه به مقادیر مقاومت حقیقی و ضخامت لایه های تفسیر شده توسط نرم افزار ELECTRIC^۱ در محدوده مورد مطالعه به صورت اطلاعات ورودی در نرم افزار ROCK WORK V.15_2011 جهت تهیه نتایج ذیل استخراج شد: ۱- مدل سه بعدی مقاومت حقیقی؛ ۲- تهیه برش عمقی (Plan map)؛ ۳- مدل سه بعدی پراکندگی مقاومت حقیقی؛ ۴- تهیه مقاطع عرضی از مقاومت حقیقی؛ ۵- مدل شبکه ای مقاومت حقیقی (Fence Diagram)؛ ۶- نمودار میله ای فراوانی مقاومت حقیقی (Histogram Curve)؛ شکل ۵، شکل ۶، شکل ۷.

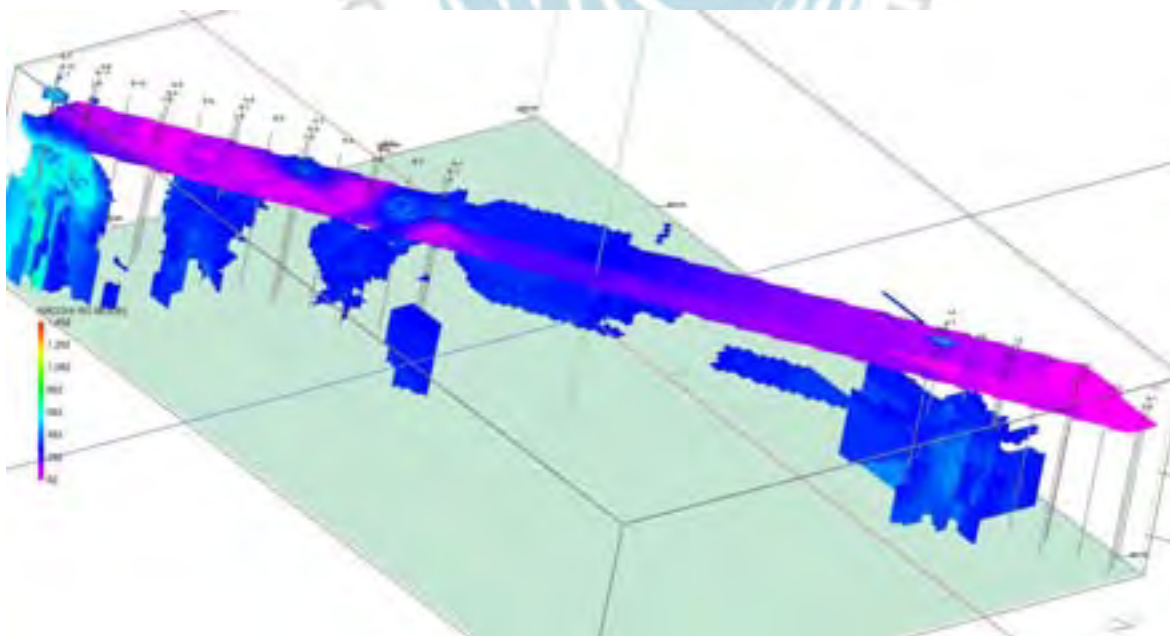


شکل ۵: نمونه سه بعدی مقاومت ویژه حقیقی از کیلومتر ۱۲+۲۲۰ الی ۱۵+۴۲۰ تونل انتقال آب.

^۱ نرم افزار ژئوالکتریک (Electric) تهیه شده در شرکت مهندسی مشاور صحراکاو.



شکل ۶: نمونه برش عمقی (Plan map) مقاومت ویژه حقیقی از کیلومتر ۰+۰۰ الی ۰+۵۶۰ و ۱+۹۲۰ الی ۲+۹۶۰ تونل در تراز ۱۳۵۰ متر.



شکل ۸: نمونه مدل سه بعدی پراکندگی مقاومت ویژه حقیقی از کیلومتر ۰+۰۰ الی ۰+۵۶۰ و ۱+۹۲۰ الی ۲+۹۶۰ تونل انتقال آب.

نتیجه گیری

از مجموع ۱۶۱ سونداژ ژئوالکتریک برداشت شده به روش شلومبرژه با طول فرستنده $AB=1400m$ و نیز تفسیر سونداژها و روند منحنی های هم مقاومت ویژه ظاهری با در نظر گرفتن اطلاعات زمین شناسی و گمانه های حفاری شده، لایه ها و گسل هایی در مقاطع ژئوالکتریک شناسایی شده است.

جدول ۳: تعیین جنس و ضخامت آبرفت در محدوده تونل انتقال آب.

بخش تونل	نام مقطع	تعداد سونداژ	ضخامت آبرفت (متر)	محدوده آبرفت
کیلومتر ۰+۰۰ الی ۰+۵۶۰	G	۴	۷ تا ۳۵	شماره سونداژ ۱ تا ۳
	H	۷	۹ تا ۸۵	شماره سونداژ ۱ تا ۵
	I	۴	۱۵ تا ۹۰	شماره سونداژ ۱ تا ۳
کیلومتر ۱+۹۲۰ الی ۲+۹۶۰	A	۷	۴۰ تا ۶۶	شماره سونداژ ۱ تا ۶
	B	۱۲	۱۰ تا ۸۲	شماره سونداژ ۱ تا ۱۱
	C	۷	۴۲ تا ۶۶	شماره سونداژ ۱ تا ۶
کیلومتر ۱۲+۲۰۰ الی ۱۵+۴۲۰	D	۱۶	۶۰ تا ۱۶۰	شماره سونداژ ۱ تا ۱۳
	E	۳۱	۱۸ تا ۱۶۰	شماره سونداژ ۱D تا ۲۶
	F	۱۶	۷ تا ۱۷۰	شماره سونداژ ۱ تا ۱۴
کیلومتر ۳۰+۶۰۰ الی ۳۳+۶۰۰	J	۱۶	بسیار محدود	شماره سونداژ ۳ تا ۱۶، ۱۵، ۱۱، ۷، ۵
	K	۱۶	بسیار محدود	شماره سونداژ ۳ تا ۱۶، ۱۵، ۱۱، ۷، ۵
	L	۱۶	بسیار محدود	شماره سونداژ ۲ تا ۱۶، ۱۵، ۱۱، ۷، ۵
موقعیت گمانه ها	14,30	۹	-	-

جدول ۴: تعیین محل گسل های شناخته شده در محدوده تونل انتقال آب

بخش تونل	نام مقاطع	نام گسل
کیلومتر ۰+۰۰ الی ۰+۵۶۰	G , H , I	-
کیلومتر ۱+۹۲۰ الی ۲+۹۶۰	A , B , C	IF3 , IF4 , NF2
کیلومتر ۱۲+۲۰۰ الی ۱۵+۴۲۰	D , E , F	IF6 , IF7 , IF8 , IF9
کیلومتر ۳۰+۶۰۰ الی ۳۳+۶۰۰	J , K , L	(از این بخش دو گسل مشخص شده اند که به ترتیب از شمال شرق به جنوب غرب در مقطع J مابین سونداژ ۹، ۸ و مابین سونداژ ۳، ۲ در مقطع K مابین سونداژ ۹، ۸ و مابین سونداژ ۳، ۲ در مقطع L مابین سونداژ ۹، ۸ و مابین سونداژ ۳، ۲)

سپاسگزاری

از مسوولان و کارشناسان محترم قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء موسسه عمران و همچنین مسوولان و کارشناسان محترم موسسه مهندسين مشاور ایمن سازان که در این بررسی نهایت همکاری را با این مهندسين مشاور به عمل آورده اند، نهایت امتنان را داشته و تشکر می نمایم.

مرجع ها

[۱] حاجب حسینی ، حسن؛ زمردیان، حسین؛ [ژئوفیزیک کاربردی]، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۹۸۹، اردیبهشت ۱۳۷۵.