

## برآورد رابطه همبستگی بین داده های ژئوالکتریک و سائزمیک در شهر بم

بیانا نفی لو<sup>۱</sup>، دکتر علی بیت اللهی<sup>۲</sup> و دکتر سعید هاشمی طباطبایی<sup>۳</sup>

### چکیده

زلزله بم در تاریخ پنجم دی ماه ۱۳۸۲ در جنوب شرقی ایران رخ داد. هدف این تحقیق برآورد رابطه همبستگی بین داده های ژئوالکتریک و سائزمیک در شهر بم است. در شهر بم در ۱۱ پروفیل ژئوالکتریک که شامل ۲۱۳ سونداژ است، مقاومت ویژه الکتریکی و در ۸۰ پروفیل سائزمیک سرعت موج  $S$  و  $P$  اندازه گیری شده است. با استفاده از روش  $T$  و نرم افزارهای  $GIS$ ،  $IPI2WIN$ ،  $EXCEL$  روی داده ها در افق های عمقی مختلف تا ۳۰ متر پردازش صورت گرفته است. ملاحظه می شود که ضریب همبستگی بین سرعت امواج الاستیک و مقاومت ویژه الکتریکی تا عمق ۵ متری ۰/۲، از ۵ تا ۱۰ متری ۰/۵، همچنین از ۱۰ تا ۲۰ متری ۰/۳ و از عمق ۲۰ تا ۳۰ متری ۰/۰۴ است. ضریب همبستگی سرعت موج  $P$  و مقاومت ویژه الکتریکی در حالت کلی ۰/۰۰۰۱ و ضریب همبستگی بین سرعت موج  $S$  و مقاومت ویژه الکتریکی در همان عمق ۰/۰۰۰۷ است. بنابراین در مطالعات شهر بم، به دلیل تنوع دانه بندی و جنس لایه ها و مقدار رطوبت نمی توان بر مبنای فاکتور الکتریکی (مقاومت ویژه الکتریکی) حدسی از سرعت امواج الاستیک زد.

**کلید واژه ها:** ژئوالکتریک، مقاومت ویژه الکتریکی، سرعت امواج  $P$  و  $S$ .

## Estimation of correlation between geoelectric and seismic refraction data in Bam city

Bitanaghilo, Dr. Ali Beitollahi and Dr. Saeed Hashemi Tabatabaei

### Abstract

Bam earthquake occurred in the southeastern part of Iran in 26 Dec, 2003. The aim of this study is the investigation of correlation between resistivity and seismic refraction in Bam city. The geophysical investigation consisted of 11 electrical profiles including 213 sounding for measurement of resistivity and 80 seismic stations for measurement of P and S-wave velocities.

Using IPI2WIN and ARCGIS softwares, image contours up to 30 meters occurring at different depths were prepared. The correlation coefficient between electrical resistivity and elastic wave for depth less than 5m is 0.2 for 5m to 10m is 0.5 also for 10m to 20m is 0.3 and for depth 20m to 30m is 0.04. The correlation coefficient between electrical resistivity and P-wave velocities is 0.0001 and correlation coefficient for total depth between electrical resistivity and S-wave velocities is 0.0007. The main conclusion from our findings is that we

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه ژئوفیزیک واحد تهران شمال [b.naghilo@gmail.com](mailto:b.naghilo@gmail.com)

<sup>۲</sup> استادیار مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن [beitollahi@bhrc.ac.ir](mailto:beitollahi@bhrc.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن [htabatabaei@bhrc.ac.ir](mailto:htabatabaei@bhrc.ac.ir)

can not estimate elastic wave velocities on the basis of electrical resistivity because there are various grain size distributions and humidities at different depths.

**Keywords:** Geoelectric, Resistivity, P and S-wave velocities.

#### مقدمه:

شده است. پردازشهای سائزمیکی در محدوده مطالعات این پژوهش نبوده ولی از نتایج آن در این پژوهش استفاده شده است. با توجه به اینکه کاوشهای سائزمیکی همیشه مقرون به صرفه نیست، نگارنده در پی این مطلب است که آیا می توان رابطه ای بین پارامتر ژئوالکتریک یعنی مقاومت ویژه الکتریکی با سرعت موج P و S در افقهای عمقی مختلف بدست آورد و تا چه حد می توان اندازه گیری ژئوالکتریک را در مورد اندازه گیریهای سائزمیک تعمیم داد.

#### مطالعات ژئوالکتریک انجام یافته در پروژه بم

طراحی مطالعات این پروژه بر اساس پیش دانسته هائی از خصلت آبرفت های گستره (بر مبنای بازدیدهای بعمل آمده)، روند گسل مدفون شناخته شده بر اساس داده های پسلرزه های زمین لرزه بم و مطالعات دورسنجی و نیز بر اساس روند گسله شناخته شده بم صورت گرفته است، بر همین اساس سعی شده است تا پوشش مناسبی به کل گستره مورد نظر از نظر پراکندگی نقاط اندازه گیری داده شود.

پیکره اصلی پروژه را نقاط سونداژ سونداژ الکتریک تشکیل می دهد که مشتمل بر ۲۱۳ سونداژ می باشد. آرایه بکار گرفته شده شلومبرگر و حداکثر طول الکترودهای جریان ۲۰۰۰ متر (تقریباً معادل عمق ۵۰۰ متری) می باشد. روشهای ژئوالکتریک توانایی به نقشه در آوردن ساختهایی با مقاومت ویژه بالا و پایین را دارا هستند و همچنین ابزاری برای ارزیابی مطالعات آسیب پذیری آبخیزها هستند (Chistensen and Sorensen 1998; Sorensen et al. 2005).

در ۲۱ ایستگاه و بر روی پروفیلی در وسط گستره اندازه گیری با روش 3MN بعمل آمد. بر اساس تحقیقات

زلزله بم در تاریخ پنجم دی ماه ۱۳۸۲ در جنوب شرقی ایران رخ داد. بنابر گزارش USGS مشخصات کانون زلزله  $29.004^{\circ} N$  و  $58.337^{\circ} E$  و عمق 10km است. این گسل امتداد لغز راست گرد بوده است. این زمین لرزه خسارات زیادی را به شهر بم و روستاهای اطراف آن وارد کرده است. از جمعیتی در حدود ۱۴۲۰۰۰ نفر ۲۶۲۷۱ نفر کشته شدند و دهها هزار نفر مجروح شدند و به شهر باستانی و معروف ارگ بم خسارات شدیدی وارد آمد. زلزله معروفی که قبلاً در این منطقه اتفاق افتاده بود مربوط به گسلی بود که در سمت غربی روستای بروات است. این روستا تقریباً در ۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر بم واقع است (Nakamura et al. 2005).

پس از این زمین لرزه به نظر رسید این زلزله مربوط به گسل بم است (Ahmadizadeh and Shakib 2004). اما شواهد کافی برای تعیین مکان آن وجود نداشت و این سوال مطرح شد که چشمه این زمین لرزه در کجا قرار دارد. خسارات سنگین در نزدیکی روستای بروات نبود بلکه در ۲ تا ۴ کیلومتری شرق بم مشاهده می شد. در این رهگذر مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن بر اساس اهداف کلی مطالعات زمین شناسی مهندسی محدوده شهر بم و بمنظور ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله یک سلسله تحقیقاتی را در جهت پوشش دادن به برخی از ابهامات و برآورد برخی دیگر از پارامترهای زیرسطحی و کاوشهای ژئوالکتریک آغاز کرد.

بر همین اساس کاوشهای سائزمیکی همپای کاوشهای ژئوالکتریک انجام شده است. در محدوده شهر بم در ۱۱ پروفیل ژئوالکتریک که شامل ۲۱۳ سونداژ است، مقاومت ویژه الکتریک اندازه گیری شده است. حال آنکه فقط در ۸۰ پروفیل سائزمیکی سرعت موج P و S اندازه گیری

۱- با تبدیل نتیجه ها از الگوریتم وارون سازی ساده time-term که شامل برنامه ای است که مدل دو بعدی را سلول بندی کرده است.

۲- با بوجود آوردن یک مدل دو بعدی با ورودیهای مانند محدوده سرعت مورد انتظار عمق عمیقترین لایه و تعداد لایه های موجود که بطور مجزا قرار دارند. در این مورد این برنامه قادر است مدل اولیه را بر اساس توزیع سرعت و هندسه مناسب تولید کرد.

با سه روش می توان پروفیل سرعت را بدست آورد:

۱- آزمایشهای نفوذی مخروطی شکل لرزه ای

(Seismic Cone Penetration Tests).

۲- تحلیل طیفی امواج سطحی

(Spectral Analysis of Surface Wave).

۳- تداوم سیستم امواج سطحی

(Continuous Surface Wave System).

در هر سه روش از چشمه فعال استفاده می شود که تولید کننده امواج سطحی و امواج برشی است. بطور کلی عمق مورد بررسی با استفاده از این روشها به چندین ده متر محدود است. در روش SASW عمق مورد بررسی در محدوده ۱۷ تا ۹ متر است و معمولاً به سنگ کف نمی رسد در CSWS نیز عمق مورد بررسی در حدود ۱۲.۵ تا ۲۱ متر است (Molnar et al. 2007).

روشهای سونداژ الکتریکی و شکست لرزه ای نقش مهمی را در ارزیابی آب زیر زمینی بازی میکنند. گرچه سونداژ الکتریکی مواردی را به خود اختصاص می دهد که واحد های زمین شناسی و هیدرولوژی وسعت جانبی زیادی داشته باشند و تغییرات سنگ شناسی کمی در آنها وجود داشته باشد. معادل سازی این موارد برای روش شکست لرزه ای موفقیت آمیز نیست و اکتشافات در این زمینه را با محدودیت همراه می کند که معمول ترین آنها ناتوانایی در شناسایی لایه های نازک (مناطق کور) است.

انجام یافته، از این روش می توان در برآورد امتداد ناپیوستگی جانبی استفاده کرد. روش اندازه گیری صحرائی بدین صورت بود که بازای هر فاصله الکترودهای جریان، سه اندازه گیری مقاومت الکتریکی با سه طول مختلف الکترودهای پتانسیل انجام یافت و برای هر ایستگاه سه منحنی جداگانه بدست آمد.

بمنظور تعیین مکان های ناپیوستگی های جانبی در عمق های مختلف یک مقطع، در پروفیل دیگر و برای ۲۱ ایستگاه اندازه گیری های CRP<sup>۴</sup> در نظر گرفته شد.

در پروفیل دیگر و در وسط گستره مورد مطالعه و در ۲۱ ایستگاه سونداژهای عمود بر هم ( آرایش صلیبی<sup>۵</sup>) اجرا شد. با این روش قرارگیری ناپیوستگی جانبی ( گسله ها و...) نسبت به نقطه اندازه گیری مشخص می شود. محققین مختلفی محاسباتی را در مورد پاسخهای تئوری ساختارهای دو بعدی برای هر دو آرایه موازی و عمودی انجام داده اند و دریافتند که پروفیل عمودی وقتی نا همگنی محدود باشد حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات جانبی از خود نشان می دهد

(Van Nostrand and Cook 1955; Schulz et al. 1988; Mundry, 1984; Pous et al. 1996).

آرایه صلیبی همراه با روش اندازه گیری CRP روش های مناسبی برای برآورد ناهمسانگردی الکتریکی بشمار می روند. مکان سونداژها در شکل ۱ مشخص شده است.

Seisimager بر اساس روش پرتو نگاری زمان  $\pm$

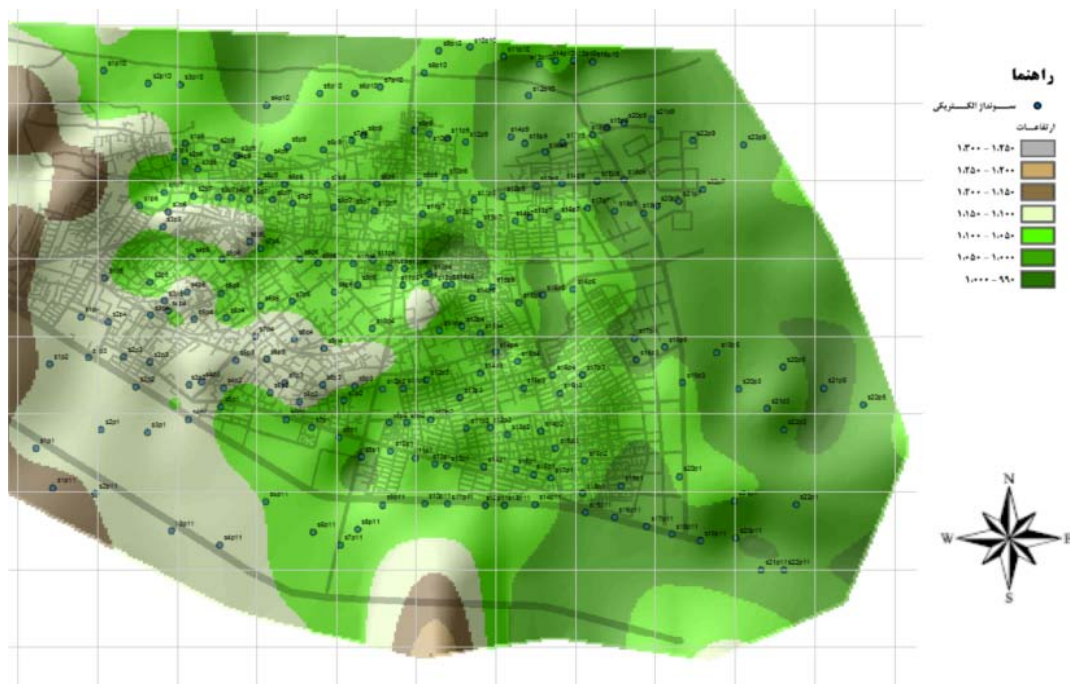
مسافت غیر خطی است

(Hayashi and Takahashi 2001). الگوریتم

Shortest-path توسط Moser در ۱۹۹۱ توضیح داده شده است که از یک مدل پیش رونده و وارون سازی تشکیل شده است که بوسیله روش تکرار شبه سازی مدل (SIRT) اجرا می شود (Moser, 1991). مدل اولی سرعت می تواند از دو راه تولید شود Sheehan et al. (2005).

<sup>4</sup> - Combined resistivity profiling method

<sup>5</sup> - Cross array



شکل ۱. مکان سونداژهای الکتریکی در محدوده مورد مطالعه

### پردازش داده ها

در نرم افزار IPI2WIN برای تمام سونداژهای پروفیلها ۲۱ لایه در نظر می گیریم و پارامتر عمقی را در ۰/۲۶، ۰/۳۳، ۰/۴۱، ۰/۵۲، ۰/۶۶، ۰/۸۲، ۱، ۱/۳۱، ۱/۶۵، ۲، ۲/۶، ۳/۳، ۴/۱، ۵/۲، ۶/۶، ۸/۲، ۱۰، ۱۳/۱، ۱۶/۵، ۲۰، ثابت نگه می داریم، سپس در ستون R عدد ثابت ۱ را جایگزین می کنیم و یک باربرگردان (Inversion) می کنیم. در سونداژ ۱ پروفیل ۱ جدول ۱ ایجاد می شود.

N	R	h	d	Alti	
1	39	0.26	0.26	1141	
2	88	0.33	0.59	1140	
3	58	0.41	1	1140	
4	370	0.52	1.52	1139	
5	254	0.66	2.18	1139	
6	91	0.82	3	1138	
7	153	1	4	1137	
8	362	1.31	5.31	1136	
9	409	1.65	6.96	1134	
10	291	2	8.96	1132	
11	196	2.6	11.56	1129	
12	185	3.3	14.86	1126	
13	169	4.1	18.96	1122	
14	121	5.2	24.16	1117	
15	118	6.6	30.76	1110	
16	153	8.2	38.96	1102	
17	212	10	48.96	1092	
18	185	13.1	62.06	1076	
19	74	16.5	78.56	1062	
20	53	20	98.56	1042	
21	311				

جدول ۱. تفسیر ۲۱ لایه ای از slp1

خطا ۱/۵۲٪ است.

در مبحث سائیزمیک که در تخصص نگارنده نیست، برای ۸۰ پروفیل سرعت موج P و سرعت موج S اندازه گیری شده است و داده های مربوط به این مبحث موجود است. در ۶۰ پروفیل، زیر زمین تا عمق ۳۰ متری، دولایه در نظر گرفته شده است و برای آن دو لایه VS1، VP1، VS2، VP2، اندازه گیری شده است و برای ۲۰ عدد از پروفیلها زمین تا عمق ۳۰ متری سه لایه مجزا در نظر گرفته شده و VS1، VP1، VS2، VP2، و VP3، و VS3 اندازه گیری شده است.

در پروفیل ۱ سائیزمیک زیر زمین تا عمق ۸/۱ متر لایه اول و از ۸/۱ متر تا ۳۰/۷۶ متر لایه دوم است. در پروفیل ۲۵ سائیزمیک از سطح زمین تا عمق ۵ متر لایه اول، از ۵ متر تا ۱۹/۵ متر به ضخامت ۱۴/۵ متر لایه دوم و از ۱۹/۵ متر تا ۳۰/۷۶ به ضخامت ۱۱/۲۶ متر لایه سوم قرار دارد.

بنابر این در این اعماق در داده های الکتریکی (مقاومت الکتریکی) میانگین وزنی می گیریم. برای لایه دوم از عمق ۸/۱ متر تا ۳۰/۷۶ میانگین وزنی مقاومت ویژه الکتریکی محاسبه می شود. برای تمام پروفیلهای سائیزمیک که زیر سطح آنها دو لایه است با توجه به ضخامت لایه ها میانگین وزنی در تمام سونداژهای الکتریکی محاسبه شده است.

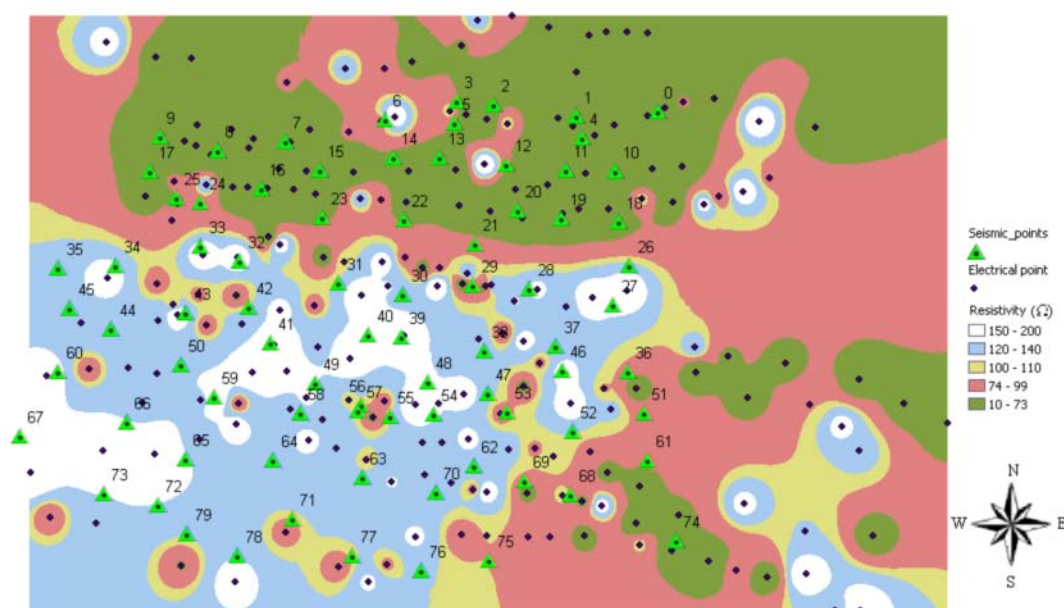
ویژه الکتریکی این لایه ۴۱ اهم متر است. در لایه دوم هم که از عمق ۸/۱ تا ۳۰/۷۶ متر است سرعت موج  $P$  برابر  $2600 \text{ m/s}$  است و سرعت موج  $S$  برابر  $1450 \text{ m/s}$  است. و با توجه به محاسبات بالا، مقاومت ویژه الکتریکی لایه دوم پروفیل ۱ برابر ۵۰ اهم متر است. در پروفیل ۲۵ سائیزمیک، میانگین وزنی تا عمق ۵ متر و برای لایه دوم یعنی از عمق ۵ تا ۱۹/۵ متر و برای لایه سوم از عمق ۱۹/۵ تا ۳۰/۷۶ متر میانگین وزنی محاسبه می شود.

برای کل پروفیل‌های سائیزمیک که زیر سطح آنها سه لایه می باشد با توجه به ضخامت لایه ها، میانگین وزنی مقاومت ویژه محاسبه می شود.

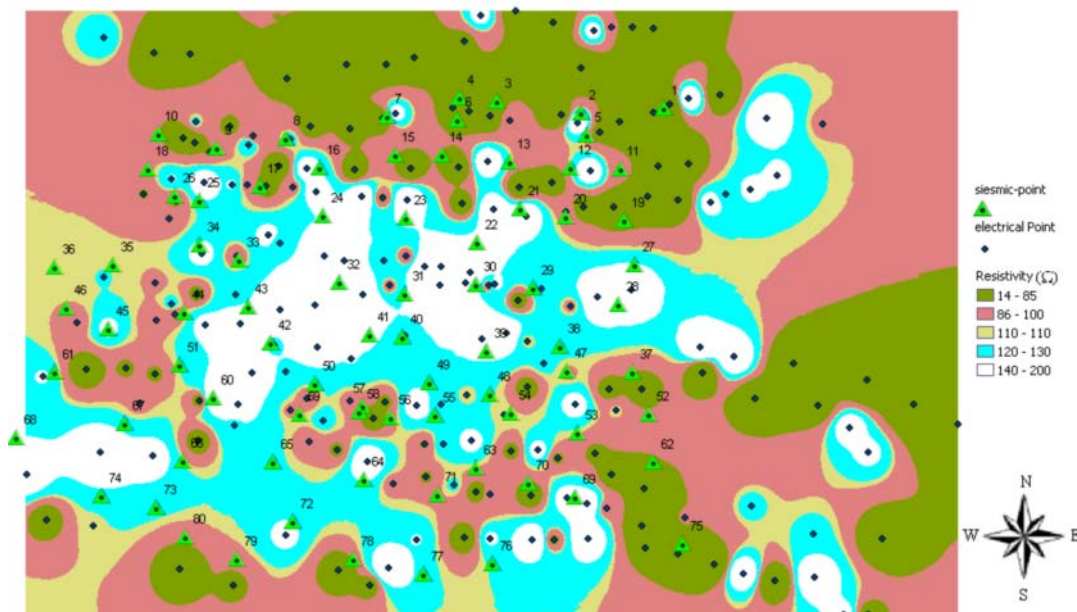
با استفاده از نرم افزار GIS برای این سه لایه، مطابق قبل، پربند مقاومت ویژه رسم شده است. از هم پوشانی پربند مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۵ با مکان پروفیل‌های سائیزمیک، همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می شود، پروفیل شماره ۲۵ سائیزمیک بر روی رنگ صورتی قرار گرفته و دارای میانگین مقاومت ویژه الکتریکی ۴۷ اهم متر است. در ضمن پربند مقاومت ویژه عمق ۳ متر برای عمق ۵ متر در نظر گرفته شده است.

سپس با استفاده از نرم افزار GIS، مختصات نقاط سوندازهای الکتریکی را در سیستم WGS 1984 UTM و در ZONE 40N.Prj رسم شده است. برای کار آمدتر کردن پربندها از روش Geometrical Interval در ۵ رنگ پربند رسم شده است.

چون مقاومت‌های بالای ۲۰۰ اهم متر در فرآیند رسم پربند اختلال ایجاد می کند و تشخیص را ضعیف می نمایند از آنها صرف نظر شده است. از هم پوشانی پربند مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۸/۱ متر و مکان پروفیل‌های سائیزمیک در شکل ۲ ملاحظه می شود که پروفیل شماره ۱ سائیزمیک بر روی رنگ سبز قرار گرفته و دارای میانگین مقاومت ویژه ۴۱ اهم متر است. بنابر این میانگین مقاومت ویژه لایه اول در پروفیل ۱ سائیزمیک ۴۱ اهم متر در نظر گرفته می شود. برای لایه دوم پروفیل ۱ همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می شود، ایستگاه شماره ۱ سائیزمیک در رنگ سبز قرار دارد که دارای مقاومت ویژه میانگین ۵۰ اهم متر است. بنابراین میانگین مقاومت ویژه لایه دوم در پروفیل ۱ سائیزمیک برابر ۵۰ اهم متر است. در پروفیل ۱ سائیزمیک در لایه اول که تا عمق ۸/۱ متر ادامه دارد سرعت موج  $P$  برابر  $490 \text{ m/s}$  است و سرعت موج  $S$  برابر  $240 \text{ m/s}$  است. با توجه به محاسبات، مقاومت



شکل ۲. پربند مقاومت ویژه الکتریکی تا عمق ۸ متر و ایستگاههای سائیزمیک.



شکل ۳. پربند مقاومت ویژه الکتریکی از عمق ۸/۱ تا ۳۰/۷۶ متر و ایستگاه های سائزمیک.



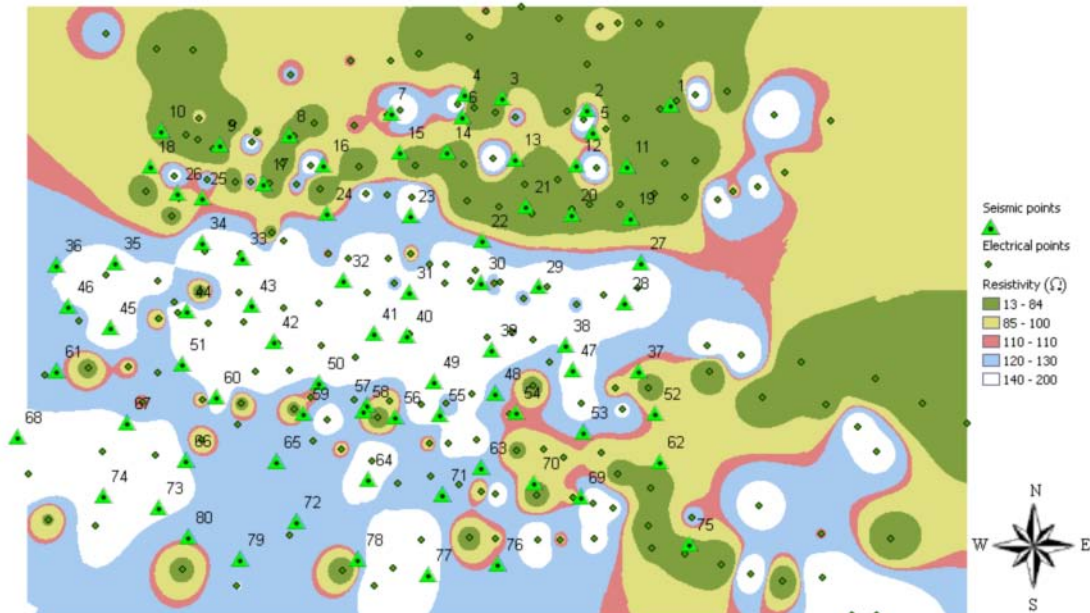
شکل ۴. پربند مقاومت ویژه الکتریکی تا عمق ۳ متر و ایستگاه های سائزمیک.

سپس از هم پوشانی پربند مقاومت ویژه الکتریکی لایه سوم یعنی از عمق ۱۹/۵ تا ۳۰/۷۶ با پروفیل سائزمیک شکل ۶ رسم شده است. ملاحظه می شود که پروفیل ۲۵ بر روی رنگ سفید قرار گرفته و دارای میانگین مقاومت ویژه الکتریکی ۱۶۷ اهم متر است. در پروفیل ۲۵ سائزمیک در لایه اول که تا ۵ متر سطح زمین است، سرعت موج P برابر  $\frac{m}{s}$  ۴۰۵ و سرعت

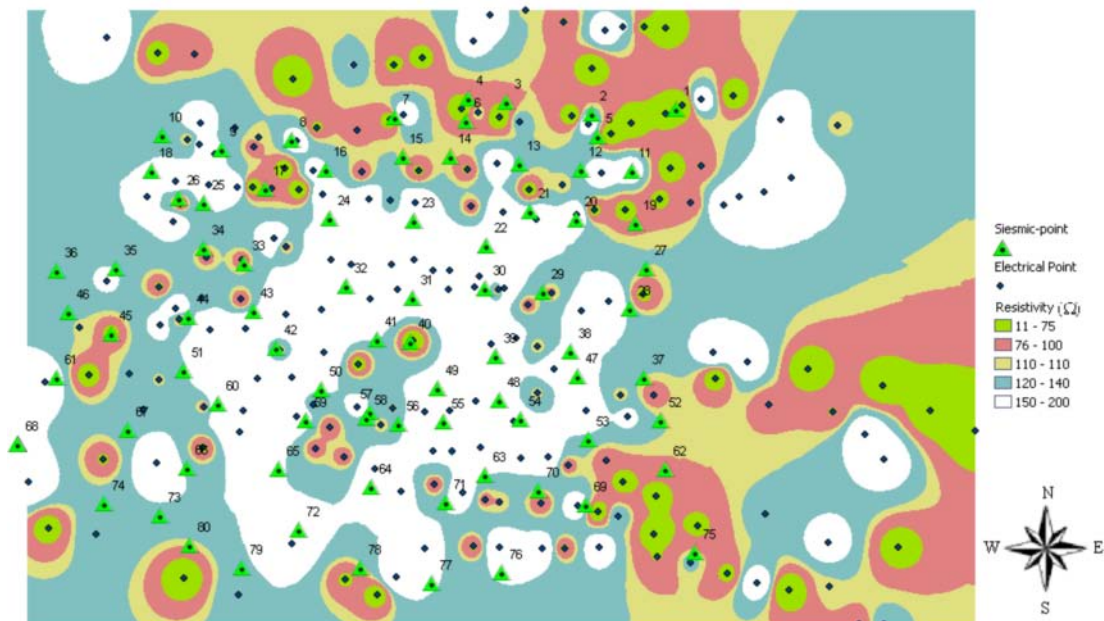
پربند مقاومت ویژه الکتریکی برای لایه دوم یعنی از عمق ۵ تا ۱۹/۵ متر را روی مکان پروفیل های سائزمیک را منطبق می کنیم (شکل ۵). در شکل ۵ مشاهده می شود که پروفیل شماره ۲۵ سائزمیک در روی رنگ صورتی قرار گرفته و دارای میانگین مقاومت ویژه الکتریکی ۱۰۶ اهم متر است.

عمق ۱۹/۵ تا ۳۰/۷۶ ادامه دارد، سرعت موج P برابر  $2580 \text{ m/s}$  و سرعت موج S برابر  $1590 \text{ m/s}$  است. طبق محاسبات میانگین مقاومت ویژه الکتریکی ۱۶۷ اهم متر است.

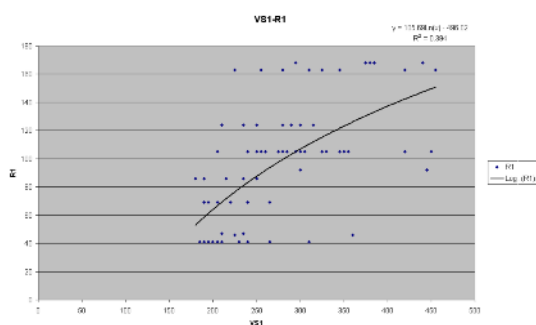
موج S برابر  $210 \text{ m/s}$  است و میانگین مقاومت ویژه الکتریکی ۴۷ اهم متر است و در لایه دوم که از ۵ متری تا ۱۹/۵ متر است، سرعت موج P برابر  $1340 \text{ m/s}$  و سرعت موج S برابر  $750 \text{ m/s}$  است و میانگین مقاومت ویژه الکتریکی ۱۰۶ اهم متر می باشد. در لایه سوم که از



شکل ۵. پربند مقاومت ویژه الکتریکی از عمق ۵ تا ۲۰ متر و ایستگاههای سائزمیک.

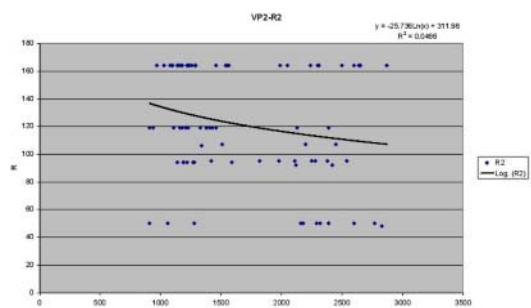


شکل ۶. پربند مقاومت ویژه الکتریکی از عمق ۱۸ تا ۳۰ متر و ایستگاههای سائزمیک.



شکل ۸. نمودار سرعت موج S در لایه و مقاومت ویژه الکتریکی.

شکل ۹ برای لایه دوم تمام پروفیل‌های سائزیمیک، برای سرعت موج P بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی رسم شده است. روش لگاریتمی بیشترین برازش بین دو پارامتر VP و R را در لایه دوم نشان می‌دهد. معادله خط برازش  $y = -11.922 \ln(x) + 203.63$  و  $R^2 = 0.0446$  می‌باشد سرعت موج P از حدود  $900 \text{ m/s}$  تا  $45 \text{ m}\Omega$  و مقاومت ویژه الکتریکی از حدود  $3000 \text{ m}\Omega$  تا  $160 \text{ m}\Omega$  گسترده است. تراکم نقاط بیشتر در سرعت‌های بین  $900 \text{ m/s}$  تا  $1500 \text{ m/s}$  است.

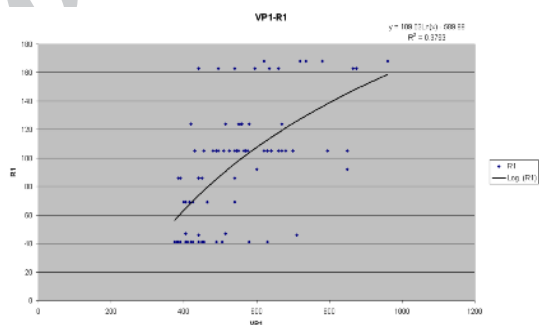


شکل ۹. نمودار مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب سرعت موج P در لایه دوم.

شکل ۱۰ نمودار مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب سرعت موج S در لایه دوم است. سرعت موج S از حدود  $500 \text{ m/s}$  تا  $1700 \text{ m/s}$  گسترده شده است. مقاومت ویژه الکتریکی از حدود  $45 \text{ m}\Omega$  تا  $170 \text{ m}\Omega$  است. تراکم نقاط در مقاومت ویژه های بین  $90 \text{ m}\Omega$  تا  $130 \text{ m}\Omega$  است. معادله خط برازش به روش لگاریتمی به صورت  $y = -22.673 \ln(x) + 276.31$

به همین ترتیب محاسبات برای ۸۰ پروفیل سائزیمیک انجام گرفته است و برای پروفیل‌های دو لایه، دو مقاومت ویژه الکتریکی و برای پروفیل‌های سه لایه، سه مقاومت ویژه الکتریکی محاسبه شده است.

با استفاده از نرم افزار Excel برای لایه اول تمام پروفیل‌های سائزیمیک، بین میانگین مقاومت ویژه الکتریکی و سرعت موج P نموداری رسم شده است. به روش لگاریتمی بیشترین برازش بین دو پارامتر VP و R وجود دارد. همانطور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود در لایه اول سرعت موج P از حدود  $400 \text{ m/s}$  تا  $1000 \text{ m/s}$  گسترده است. مقاومت ویژه الکتریکی از حدود  $170 \text{ m}\Omega$  تا  $40 \text{ m}\Omega$  است. تجمع نقاط در حدود سرعت‌های  $400 \text{ m/s}$  تا  $700 \text{ m/s}$  بیشتر است. معادله خط برازش در روش لگاریتمی  $y = 109.03 \ln(x) - 589.99$  و  $R^2 = 0.376$  است. همانطور که ملاحظه می‌شود این دو پارامتر، برازش کمی دارند.

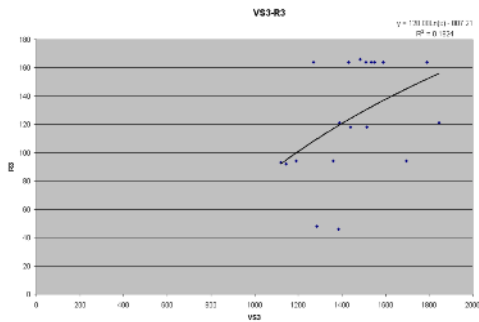


شکل ۷. نمودار سرعت موج P و مقاومت ویژه الکتریکی

شکل ۸ برازش بین دو پارامتر میانگین مقاومت ویژه الکتریکی و سرعت موج S، در لایه اول را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که سرعت موج S از حدود و میانگین مقاومت ویژه از  $180 \text{ m/s}$  تا  $170 \text{ m/s}$  است. معادله خط برازش در روش لگاریتمی به صورت  $y = 105.69 \ln(x) - 496.02$  و  $R^2 = 0.394$  می‌باشد. میزان برازش سرعت موج S و مقاومت ویژه الکتریکی کم است.



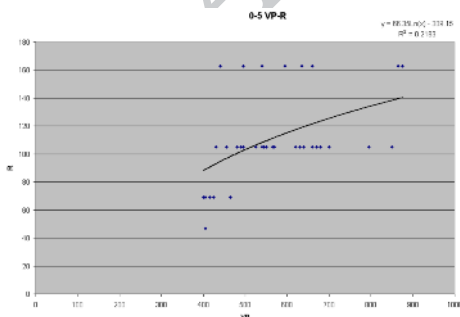
اندک می باشد. تراکم نقاط بیشتر در حدود مقاومت ویژه بین  $85\text{m}\Omega$  تا  $165\text{m}\Omega$  است.



شکل ۱۲. نمودار سرعت موج S و مقاومت ویژه الکتریکی در لایه سوم.

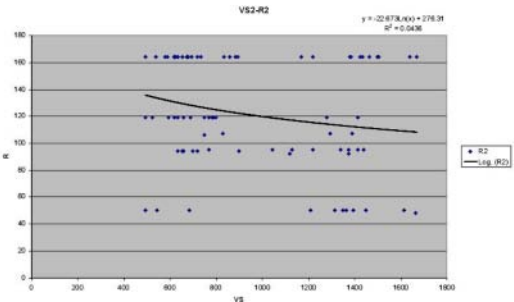
بر اساس عمق هم بین سرعت موج S و P و مقاومت الکتریکی برآزشی صورت گرفته است. به روش لگاریتمی برآزش بین سرعت موج P و مقاومت ویژه الکتریکی تا عمق ۵ متری به صورت نمودار ۱۳ نمایش داده شده است. ملاحظه می شود که سرعت موج P از حدود  $400\text{m/s}$  تا  $900\text{m/s}$  و مقاومت ویژه الکتریکی از  $45\text{m}\Omega$  تا  $165\text{m}\Omega$  تغییر می کند. معادله خط برآزش به صورت  $y = 66.35\text{Ln}(x) - 309.15$  و  $R^2 = 0.2183$  است. تراکم نقاط با مقاومت ویژه الکتریکی  $105\text{m}\Omega$  از همه نقاط بیشتر است.

شکل ۱۴ نمودار سرعت موج S و مقاومت ویژه الکتریکی تا عمق ۵ متری است.



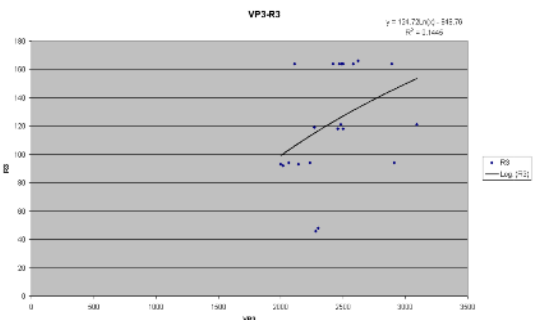
شکل ۱۳ نمودار سرعت موج P و مقاومت ویژه الکتریکی در ۰-۵ متری.

همانطور که ملاحظه می شود دو کمیت Vs و R برآزش کمی دارند.



شکل ۱۰. نمودار مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب سرعت موج S در لایه دوم.

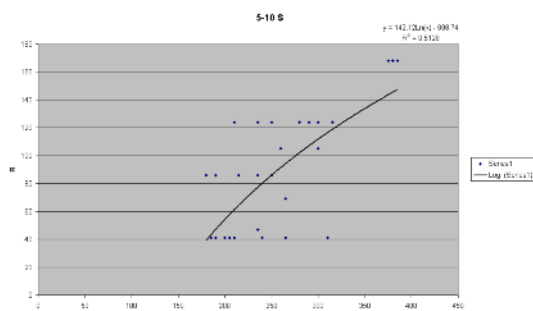
برای لایه سوم تمام پروفیل های سائزیمیک هم با نرم افزار Excel بین سرعت موج S, P و مقاومت ویژه الکتریکی نمودار ۱۱ رسم شده است همانطور که مشاهده می شود سرعت موج P در لایه سوم از حدود  $1900\text{m/s}$  تا  $3200\text{m/s}$  در تغییر است. مقاومت ویژه الکتریکی از  $40\text{m}\Omega$  تا  $165\text{m}\Omega$  متغیر است. تراکم نقاط بیشتر در مقاومت ویژه الکتریکی  $80\text{m}\Omega$  تا  $165\text{m}\Omega$  متغیر است. معادله خط برآزش به روش لگاریتمی  $y = 124.72\text{Ln}(x) - 848.76$  و  $R^2 = 0.1445$  است.



شکل ۱۱. نمودار سرعت موج P و مقاومت ویژه الکتریکی در لایه سوم.

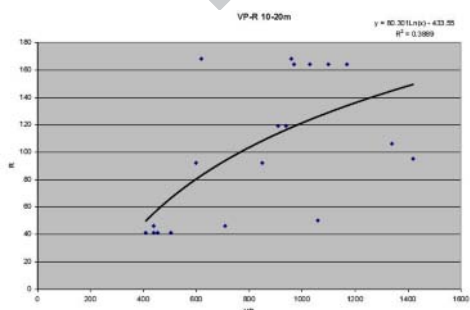
در شکل ۱۲ نمودار مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب سرعت موج S در لایه سوم نمایش داده شده است سرعت موج S از  $1100\text{m/s}$  تا  $1900\text{m/s}$  و مقاومت ویژه الکتریکی از  $40\text{m}\Omega$  تا  $160\text{m}\Omega$  متغیر است. معادله خط برآزش لگاریتمی  $R^2 = 0.1924$

شکل ۱۶ نمودار مقاومت ویژه الکتریکی بر حسب سرعت موج S در عمق ۵-۱۰ متری است. گستره سرعت موج S از  $180 \text{ m/s}$  تا  $400 \text{ m/s}$  و مقاومت ویژه الکتریکی از  $40 \text{ m}\Omega$  تا  $120 \text{ m}\Omega$  است. معادله خط برازش به روش لگاریتمی  $y = 142.12 \ln(x) - 698.74$  و  $R^2 = 0.5128$  است. ملاحظه میشود که میزان برازش در عمق ۵-۱۰ متری هم برای موج P و هم برای موج S به میزان قابل توجهی بیشتر از عمق ۰-۵ متری است.



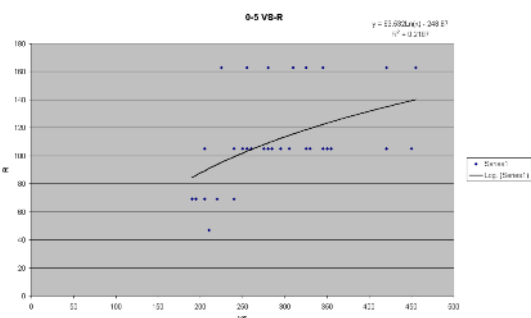
شکل ۱۶. نمودار سرعت موج S و مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۵-۱۰ متری.

در عمق ۱۰-۲۰ متری هم نمودار مشابهی برای سرعت موج P بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی رسم شده است. همانطور که در شکل ۱۷ آمده است، بازه سرعت موج P در این عمق از  $400 \text{ m/s}$  تا حدود  $1400 \text{ m/s}$  تغییر می کند و مقاومت ویژه الکتریکی از  $40 \text{ m}\Omega$  تا حدود  $170 \text{ m}\Omega$  گسترده شده است. معادله خط برازش به روش لگاریتمی  $y = 80.30 \ln(x) - 433.55$  و  $R^2 = 0.3889$  است.



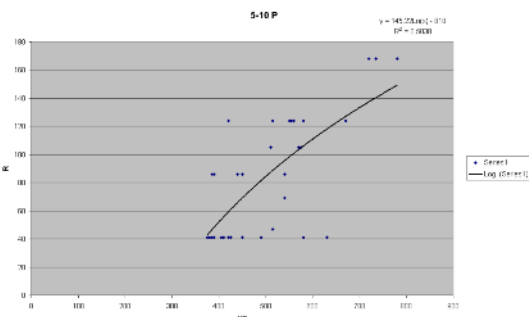
شکل ۱۷. نمودار سرعت موج P بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۱۰ تا ۲۰ متری.

همانطور که مشاهده می شود، سرعت موج S از  $190 \text{ m/s}$  تا  $450 \text{ m/s}$  تغییر می کند. در حالیکه بازه مقاومت ویژه الکتریکی از  $40 \text{ m}\Omega$  تا  $160 \text{ m}\Omega$  است. معادله خط برازش  $y = 63.532 \ln(x) - 248.86$  و  $R^2 = 0.2187$  می باشد. تجمع نقاط با مقاومت ویژه الکتریکی  $100 \text{ m}\Omega$  از همه بیشتر است. میزان برازش دو پارامتر VS, R هم بسیار اندک است.



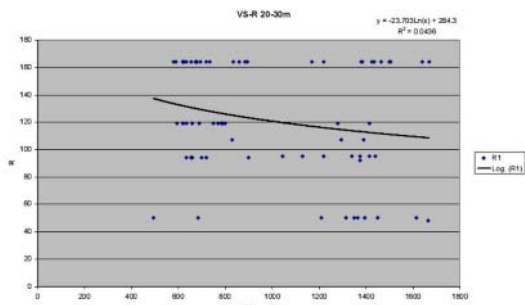
شکل ۱۴. نمودار سرعت موج S و مقاومت ویژه الکتریکی در ۰-۵ متری.

برای عمق ۵-۱۰ متر نمودار های بین مقاومت ویژه و سرعت موج P در شکل ۱۵ آورده شده است. گستره سرعت موج P از  $380 \text{ m/s}$  تا  $800 \text{ m/s}$  در تغییر می باشد و بازه مقاومت ویژه الکتریکی از حدود  $40 \text{ m}\Omega$  تا  $170 \text{ m}\Omega$  است. معادله خط برازش به روش لگاریتمی  $y = 145.22 \ln(x) - 818$  و  $R^2 = 0.5038$  است.



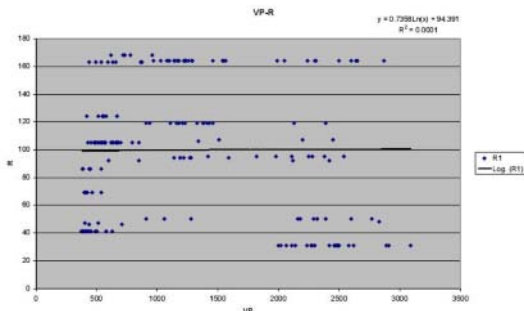
شکل ۱۵. نمودار سرعت موج P و مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۵-۱۰ متری

برای سرعت موج S و مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۲۰-۳۰ متر هم نمودار مشابهی رسم شده است. شکل ۲۰ نشان می دهد که سرعت موج S در این عمق از حدود  $500 \text{ m/s}$  تا  $1700 \text{ m/s}$  و مقاومت ویژه الکتریکی از  $50 \text{ m}\Omega$  تا  $170 \text{ m}\Omega$  در حال تغییر است. تجمع در نقاطی است که مقاومت ویژه بین  $90 \text{ m}\Omega$  تا  $130 \text{ m}\Omega$  دارند. معادله خط برازش به صورت  $y = -23.703 \ln(x) + 284.3$  و  $R^2 = 0.0436$  است.



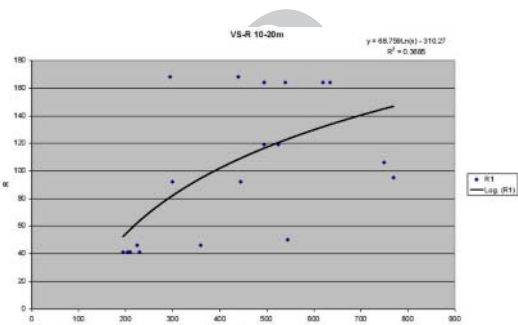
شکل ۲۰. نمودار سرعت موج S بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی در ۲۰ تا ۳۰ متری.

در بررسی که روی سرعت موج P و S با مقاومت ویژه الکتریکی به عمل آمده است، ملاحظه می شود که در عمق ۱۰-۵ متر بیشترین برازش و در ۵-۰ متر کمترین برازش بین پارامترهای فوق وجود دارد، که البته در هر دو مورد در حالت کلی میزان برازش کم است. در نمودار ۲۱ در حالت کلی سرعت موج P بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی در نظر گرفته شده است. معادله خط برازش به صورت  $y = 0.7358 \ln(x) + 94.391$  و  $R^2 = 0.0001$  است. سرعت موج P از  $300 \text{ m/s}$  تا  $3000 \text{ m/s}$  در حال تغییر است.



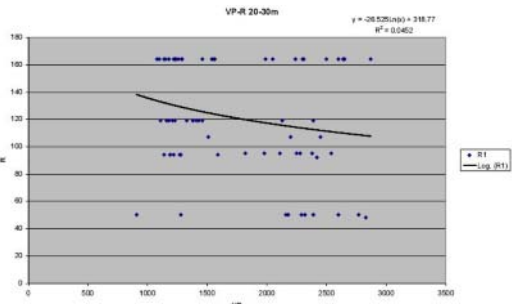
شکل ۲۱. نمودار سرعت موج P بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی در حالت کلی.

در شکل ۱۸ نمودار سرعت موج S و مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۲۰-۱۰ متر آورده شده است. گستره سرعت موج S از  $200 \text{ m/s}$  تا  $800 \text{ m/s}$  و مقاومت ویژه الکتریکی از  $40 \text{ m}\Omega$  تا  $170 \text{ m}\Omega$  متغیر است. معادله خط برازش به صورت  $y = 68.759 \ln(x) - 310.27$  و  $R^2 = 0.3685$  است. مشاهده می شود که میزان برازش بین دو پارامتر سرعت و مقاومت ویژه الکتریکی در این عمق نسبت به عمق ۱۰-۵ متر کمتر است، اما نسبت به رو لایه ۵-۰ متری بیشتر می باشد.



شکل ۱۸. نمودار سرعت موج S بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۱۰ تا ۲۰ متر.

در عمق ۲۰-۳۰ متری تعداد نقاط بیشتری وجود دارد. نمودار شماره ۱۹ برای سرعت موج P و مقاومت ویژه الکتریکی در این عمق رسم شده است. سرعت موج P از حدود  $1000 \text{ m/s}$  تا  $3000 \text{ m/s}$  و مقاومت ویژه الکتریکی از  $50 \text{ m}\Omega$  تا  $170 \text{ m}\Omega$  متغیر می باشد. بیشترین تراکم در نقاطی است که مقاومت ویژه بین حدود ۹۰ تا  $130 \text{ m}\Omega$  دارند. معادله برازش لگاریتمی به صورت  $y = -26.525 \ln(x) + 318.77$  و  $R^2 = 0.0452$  است.



شکل ۱۹. نمودار سرعت موج P بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی در ۲۰ تا ۳۰ متری.

است در مکانهای دیگر با توجه به نوع دانه بندی و رسوبات سطحی رابطه مناسبتری با ضریب همبستگی بالاتر در مورد مقاومت الکتریکی و سرعت امواج الاستیک بدست آورد.

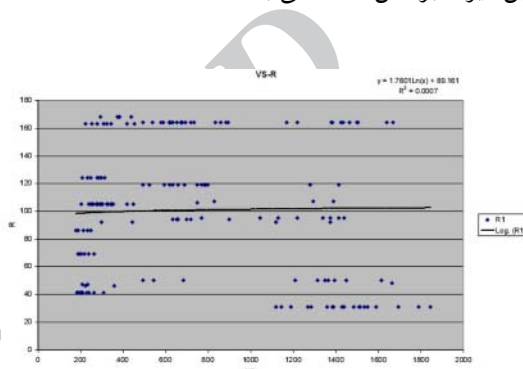
### قدردانی

نهایت سپاس و تشکر را از مرکز تحقیقات و مسکن به خاطر در اختیار گذاشتن داده های بکار رفته در این پژوهش، دارم.

### منابع

- Ahmadizadeh, M. and Shakib, H. (2004), On the December 26,2003, southeastern Iran earthquake in Bam region, Eng. Struct., 26,10551070,doi:10.1016/g.engstruct.2004.03.006.
- Christensen, N.B, Sorensen,K.I (1998): Surface and borehole electric and electromagnetic methods for hydrogeological investigations. European Journal of Environmental DQG(QJQIHUQI \* HRSK VFV ±
- Hayashi, K. and Takahashi, T.,<sup>3</sup>+ IJK 5 HROVRQ 6HXP IF Refraction Method Using Surface and Borehole Data for Site &KIDFWUJ DWQ RI 5 RENV International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 38, pp. 807-813.
- Molnar,S., Cassidy, J.F., Monahan, P.A. and Dosso, S.E., 2007, Comparison of Geophysical Shear-Wave Velocity Methods, Earthquake Engineering Ottawa, Ontario, Canada 26-29 June 2007.
- 0 RVU 7-<sup>3</sup>6 KRUMW3DK &DFXDWQ RI 6HXP IF 5 DV Geophysics, Vol. 56, No. 1, January, pp. 59-67.
- Mundry, E., 1984, Geoelectrical model calculations for two-dimensional resistivity distributions, \* HRSK V8 URV±

در شکل ۲۲ در حالت کلی نمودار سرعت موج S بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی رسم شده است ملاحظه می شود سرعت موج S از  $200 \text{ m/s}$  تا  $1800 \text{ m/s}$  تغییر می کند. بیشترین تراکم نقاط در مورد نقاطی است که حدود سرعتشان  $200 \text{ m/s}$  است. معادله خط برازش به صورت  $R^2 = 0.0007$  و  $y = 1.7601 \ln(x) + 89.161$  است. مشاهده می شود که میزان برازش در موج S به مقدار کمی بیشتر از موج P است، که البته در حالت کلی این میزان برازش اندک می باشد.



شکل ۲۲. نمودار سرعت موج S بر حسب مقاومت ویژه الکتریکی در حالت کلی.

### نتیجه گیری

علت وجود تغییرات در مقاومت ویژه الکتریکی دانه بندی و جنس لایه ها است که مقاومت ویژه الکتریکی را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. وجود عدسی های ریز دانه و درشت دانه در تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی موثر هستند.

مجموع عوامل ذکر شده باعث می شود که تغییرات وسیعی در نهشته های سطحی که تا ۳۰ متر مورد بررسی بوده، مشاهده شود. این تغییرات وسیع در برازش با سرعت امواج الاستیک ظاهر می شود. ملاحظه می شود که رابطه مشخصی با ضریب همبستگی بالا در مورد مقاومت الکتریکی و سرعت امواج الاستیک وجود ندارد.

بنابراین در مطالعات در گستره شهر بم به دلیل تنوع دانه بندی و رسوبات سطحی نمی توان بر مبنای فاکتور الکتریکی حدسی از سرعت امواج الاستیک زد. ممکن

- Sheehan, J., Doll, W. and Mandell, : <sup>3</sup>\$ Q ( YDXWRQ RI Methods and Available Software for Seismic Refraction Tomography \$ QIQVV *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, Vol. 10, No. 1, March, pp. 21-34.
- Sorensen, K.I., Auken, E., Christensen, N.B. and Pellerin, L., (2005), An Integrated Approach for Hydrogeophysical Investigations: New Technologies and a Case + LWRU ± ,Q %XWU' . HG 1 HDU Surface Geophysics 2, Investigations IQ \* HRSK VEV ± 6RHHW of Exploration Geophysics.
- Van Nostrand, R.G. and Cook, K.L., ' LFXWRQ RI μ\$ SSDHQW UHMWLV IRU GESSIQJ EHG E\ Maeda, K. (GEO-20-01-0123-0147), \* HRSK VEV±
- Nakamura, T., Suzuki, S., Sadeghi, H., Fatemi Aghda, S.M., Matsushima, T., Ito, Y., Hosseini, S.K., Jafar Gandomi, A. and Maleki,
- M., 2005 , Source fault structure of the 2003 Bam earthquake, southeastern Iran, inferred from the aftershock distribution and its relation to the heavily damaged area: Existence of the Arg-e-Bam fault proposed., *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L09308, doi: 10.1029/2005GL022631, 2005.
- Pous, J., Queralt, P. and Chavez, R., 1996, Lateral and topographic effects in geoelectrical soundings, *J. \$ SSQ HRSK V±*
- Schulz, R. and Tezkan, B., 1988, Interpretation of resistivity measurements over two-dimensional *WXFXLV \* HRSK V3 UR8 ±* 975.

Archive