



تعیین لایه های کم سرعت در ساختگاه دکل حفاری هندیجان

هادی علی پور^۱، مریم صدقی^۲، سهیل قره^۳، محمد کاظم حفیظی

۱- کارشناس ارشد زمین شناسی

۲- کارشناس ارشد ژئوفیزیک

۳- عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور

Ghareh_Soheil@iust.ac.ir

خلاصه

برای ساخت سازه های مهم مانند سد، پل، فرودگاه، دکل حفاری و نظایر آنها باید مطالعات ساختگاه که شامل شناسایی سنگ بستر و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک در محل برای رسیدن به پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی پی می باشد، انجام شود. در این مطالعه که در منطقه ای واقع در جنوب غربی ایران و در استان بوشهر واقع شده است، برای شناسایی محل احداث دکل حفاری و به منظور استخراج نفت و گاز بر روی سنگ کف منطقه، نتایج مطالعات لرزه نگاری و ژئوالکترونیک با هم مقایسه گردیدند. ابتدا عملیات لرزه ای با دو پروفیل عمود برهم و عملیات ژئوالکترونیک با ۵ سونداژ الکترونیک با آرایش شلومبرگر که به صورت دو پروفیل عمود بر هم و همسو با پروفیل های ثبت امواج لرزه ای بودند انجام شد. سپس برای بررسی دقیق تر منطقه، نتایج این مطالعات با نتایج مطالعات ژئوتکنیک انجام شده در منطقه مقایسه گردید. در تفسیر داده های لرزه ای، با توجه به وجود لایه های ضعیف کم سرعت از تکنیک مدل سازی پیشرو که بر روی تریس های ثبت شده، خود را به صورت پرش موج نشان می دهد، استفاده شده است. در این مطالعه نمای درستی از لایه های زمین توسط روش های مختلف بدست آمده و نقاط ضعف و معایب روش ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: مطالعات ساختگاه، استان بوشهر، لرزه نگاری، ژئوالکترونیک، ژئوتکنیک.

مقدمه

در این مطالعه با استفاده روش لرزه نگاری شکست مرزی برای تعیین لایه سنگ کف منطقه و مطالعه احداث و دکل حفاری استفاده شده است و به همین منظور در این پروژه از دو پروفیل عمود بر هم برای شناسایی بهتر منطقه استفاده گردید که طول هر پروفیل در این پروژه ۲۳۰ متر و فاصله هر ژئوفن ۱۰ متر می باشد. از دینامیت به عنوان چشمه و هر پروفیل ۷ شوت استفاده شد که شامل دو شوت دور و دو شوت اول و آخر خط لرزه ای و مابقی بین ژئوفن ۶-۷، ۱۳-۱۲ و ۱۹-۱۸ انجام شد. بعد از انجام شوت ها امواج توسط ژئوفن ها دریافت و توسط دستگاه ترالوک رکورد شدند و این اطلاعات در یک دیسک ضبط و توسط نرم افزار Winsism زمان اولین رسید آنها قرائت و مراحل تفسیر توسط روش GRM انجام شد. نتایج حاصل از این تفسیر با روش های ژئوالکترونیک و مطالعات ژئوتکنیک که در منطقه مورد مطالعه انجام گردیده، مقایسه شدند. عملیات ژئوالکترونیک با ۵ سونداژ الکترونیک با آرایش شلومبرگر (Scholumberger) که به صورت دو پروفیل عمود بر هم با یک جابجایی حدوداً ۷۰ متر و هم سو با پروفیل های ثبت امواج لرزه ای با حداکثر فاصله الکترودهای جریان $AB=600$ متر انجام شد. عملیات سنجش مقاومت خاک با دستگاه CPT (Cone Penetration Test) به دست آمده است. این دستگاه به عنوان یک وسیله دقیق برای تعیین نوع و مقاومت برشی لایه های خاک به کار می رود که در عملیات ژئوتکنیک بسیار متداول بوده و مورد استفاده مهندسی خاک و پی قرار می گیرد.

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

^۲ باشگاه پژوهشگران جوان و پژوهشکده سوانح طبیعی

^۳ دانشجوی دکتری عمران- مهندسی خاک و پی دانشگاه علم و صنعت ایران

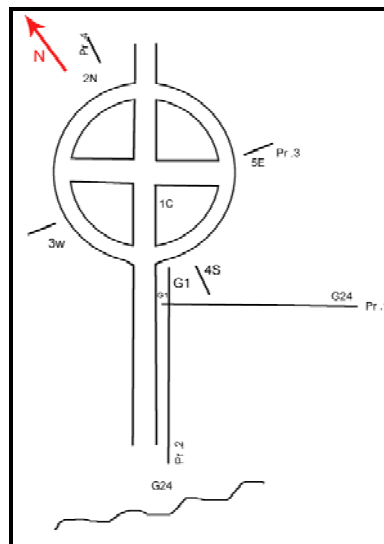


عملیات صحرائی و موقعیت منطقه

روش‌های به‌کار گرفته شده شامل لرزه نگاری شکسته مرزی، که از دو پروفیل عمود بر هم به طول ۲۳۰ متر و فاصله هر ژئوفن ده متر می‌باشد، که برای هر پروفیل هفت شوت انجام شد. پس از ثبت امواج توسط دستگاه ABEM ترالوک و کاربرد نرم افزار winsism زمان اولین رسید قرائت گردید و مراحل تفسیر توسط روش GRM انجام شد. عملیات ژئوالکتریک با ۵ سونداژ الکتریک با آرایش شلومبرگر (Schlumberger) که به صورت دو پروفیل عمود بر هم با یک جایجایی حدوداً ۷۰ متر و هم‌سو با پروفیل‌های ثبت امواج لرزه ای با حداکثر فاصله الکترودهای جریان $AB=600$ متر انجام شد. عملیات ژئوتکنیک توسط دستگاه CPT صورت گرفت. این دستگاه جهت تعیین مقاومت نوک و مقاومت جداره و تعیین فشار آب منفذی در محل حفاری استفاده شد. همچنین در تفسیر داده‌های لرزه‌ای با توجه به وجود لایه‌های کم سرعت ضخیم از تکنیک مدل‌سازی پیش‌رو که بر روی تریس‌های ثبت شده خود را به‌صورت پرش موج (skip) نشان می‌دهد استفاده شده است. پروژه مورد نظر در حاشیه شمالی خلیج فارس و در دشت آبادان در ۴۵ کیلومتری جنوب‌شرقی بندر ماهشهر قرار دارد.

روش کار

پروفیل‌های انجام شده در محل دکل با فواصل ژئوفن ۱۰ متری و دارای گسترش ۲۳۰ متر بوده هر پروفیل شامل ۲۴ ژئوفن و تعداد ۷ چشمه موج می‌باشد. فاصله چشمه‌ها از ژئوفن‌های جانبی برابر نصف فاصله ژئوفن‌ها بوده و به‌ترتیب قبل از ژئوفن شماره ۱، بین ژئوفن‌های ۷-۶، ۱۳-۱۲، ۱۹-۱۸ و در کنار ژئوفن ۲۴ می‌باشد. دو چشمه دیگر با فاصله‌ای به اندازه ۱ تا ۱/۵ برابر گسترش پروفیل در دو طرف ژئوفن‌های ۱ و ۲۴ در نظر گرفته شده است. موقعیت دو پروفیل در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- کروکی موقعیت پروفیل‌ها و سونداژهای منطقه (حقیقی و همکاران ۱۳۷۶)

مقطع لرزه ای مربوط به پروفیل شماره یک

برای پروفیل شماره یک بعد از انجام انفجار و ثبت تریس‌ها، اطلاعات بر روی یک دیسکت ثبت و مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها که برای پروفیل شماره یک شامل ۷ انفجار بوده توسط نرم افزار winsism که یک نرم افزار شکست مرزی بسیار قوی است و در حال حاضر از جدیدترین نرم افزارهای موجود در بازار می‌باشد زمان اولین رسید آنها قرائت شده است و بعد از قرائت اولین رسید نمودار زمان - مسافت مربوط به هر شات رکورد رسم شده و در شکل ۲ نشان داده شده است.

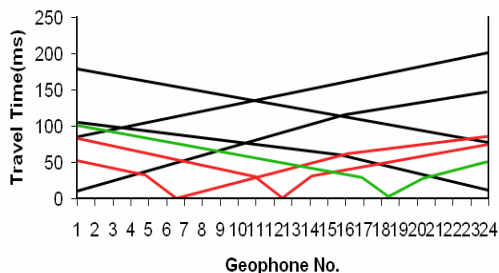
پس از تفسیر داده‌ها، عمق و سرعت لایه‌ها مورد محاسبه قرار گرفت. در مقطع به‌دست آمده از پروفیل به لحاظ اختلاف سرعت انتشار امواج دولایه تشخیص داده شده است (پالمر، ۱۹۹۱).

لایه اول:

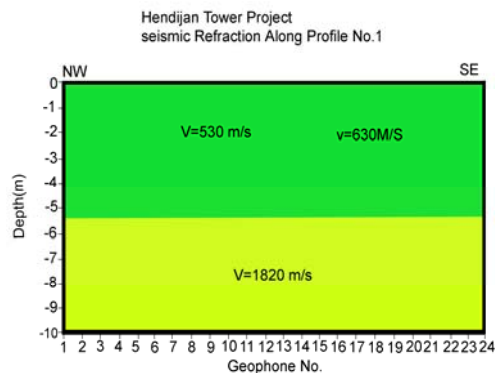
لایه اول دارای سرعت انتشار موج P بین ۵۳۰ تا ۶۳۰ متر بر ثانیه می‌باشد. سرعت موج P از ژئوفن ۱ تا ۱۶ در این لایه ۵۳۰ متر بر ثانیه و از ژئوفن ۱۶ تا ۲۴ برابر ۶۳۰ متر بر ثانیه می‌باشد. ضخامت این لایه ۵/۵ متر محاسبه شده است.

لایه دوم:

سرعت انتشار موج P در این لایه برابر ۱۸۲۰ متر بر ثانیه می‌باشد.



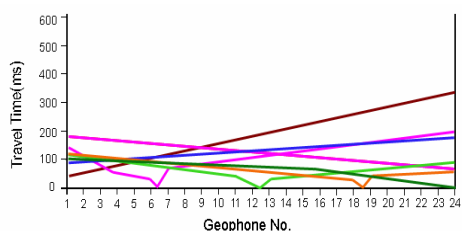
شکل ۲- نمودار زمان-مسافت مربوط به پروفیل شماره یک



شکل ۳- مقطع پروفیل شماره یک ژئوالکترونیک

مقطع لرزه ای مربوط به پروفیل شماره دو

پس از تجزیه و تحلیل بر روی پروفیل اول، پروفیل شماره ۲ نیز به همین روش مورد مطالعه و تفسیر قرار گرفته و به این صورت ابتدا زمان اولین رسید مربوط به هر تریس قرائت شد و بعد از قرائت زمان اولین رسید، نمودار زمان-مسافت هر شات رکورد را رسم کرده که در شکل ۴ نشان داده شده است و سپس سرعت و عمق لایه ها مورد تفسیر قرار گرفت.

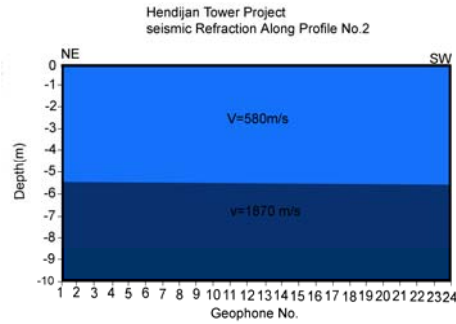


شکل ۴- نمودار زمان-مسافت مربوط به پروفیل شماره دو

این پروفیل از دو لایه به لحاظ اختلاف سرعت انتشار موج به شرح زیر تشکیل شده است (شکل ۵):
لایه اول:

سرعت انتشار موج P در این لایه حدود ۵۸۰ متر بر ثانیه و دارای ضخامتی حدود ۵/۵ متر می باشد که با پروفیل شماره یک هماهنگی دارد.
لایه دوم:

در این لایه موج P دارای سرعتی برابر ۱۸۷۰ متر بر ثانیه است که تقریباً برابر سرعت موج P در لایه دوم پروفیل یک می باشد.



شکل ۵- مقطع پروفیل شماره دو ژئوالکتریک

عملیات ژئوالکتریک منطقه هنديجان

عملیات ژئوالکتریک با ۵ سونداژ الکتریک و آرایه شلومبرگر که به صورت دو پروفیل عمود بر هم با یک جابجایی حدوداً ۷۰ متر و همسو با پروفیل‌های ثبت امواج لرزه‌ای با حداکثر فاصله الکترودهای جریان $AB=600$ متر انجام شده است. موقعیت این دو پروفیل با شماره‌های ۳ و ۴ و همچنین موقعیت سونداژها در شکل ۱ آورده شده است. یک دستگاه سنجش پتانسیل و مقاومت ویژه ظاهری به نام Terrameter مدل SAS-300C ساخت کارخانه ABEM سوئد جهت انجام عملیات ژئوالکتریک استفاده شده است.

مقاطع ژئوالکتریک

جهت تشخیص لایه‌ها دو پروفیل عمود بر هم به موازات پروفیل‌های لرزه شکسته مرزی انجام گرفت که هرکدام دارای سه سونداژ با حداکثر فاصله الکترودهای جریان $AB=600$ متری می‌باشد. پروفیل‌های ذکر شده از لحاظ اختلاف مقاومت ویژه الکتریکی حقیقی سه لایه به قرار زیر تشخیص داده شد.

مقطع ژئوالکتریک مربوط به پروفیل شماره ۳

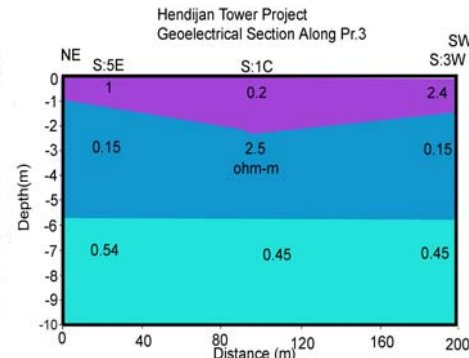
این پروفیل به موازات پروفیل شماره ۱ عملیات لرزه‌ای بوده و دارای لایه‌های زیر می‌باشد که در شکل ۶ نشان داده شده است. لایه اول:

مقاومت ویژه الکتریکی حقیقی این لایه ۰/۲ تا ۲/۴ اهم متر و ضخامت آن ۰/۹ و ۲/۴ متر است و اشباع از آب می‌باشد. لایه دوم:

این لایه دارای مقاومت ویژه الکتریکی حقیقی برابر ۰/۱۵ تا ۲/۵ اهم متر و ضخامت حدود ۴ متر می‌باشد که مانند لایه اول اشباع از آب است و در بعضی نقاط در این لایه مقاومت کمتری از لایه اول را دارا می‌باشد.

لایه سوم:

این لایه با مقاومت ویژه الکتریکی حدود ۰/۵ اهم متر از عمق حدود ۵/۵ متری سطح زمین شروع شده و نسبت به لایه دوم تراکم دانه بندی بیشتری را دارا می‌باشد.



شکل ۶- مقطع پروفیل شماره سه ژئوالکتریک

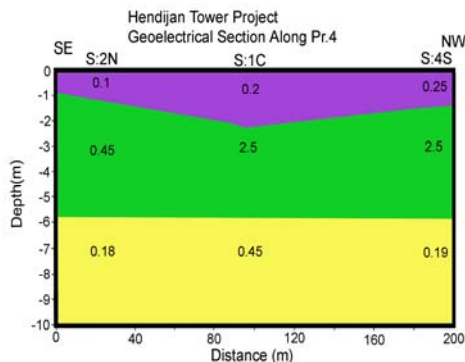
**مقطع ژئوالکتریک مربوط به پروفیل شماره چهار**

این پروفیل تقریباً به موازات پروفیل ۲ و دارای سه لایه به قرار زیر می باشد که در شکل ۷ آورده شده است.
لایه اول:

مقاومت ویژه الکتریکی این لایه بین ۰/۱ تا ۰/۲۵ اهم متر متغیر است و ضخامت آن حدود بین ۱ تا ۲ متر تغییر می نماید.
لایه دوم:

لایه دوم مقاومت ویژه الکتریکی حدود ۰/۴۵ تا ۱۲/۵ اهم متر دارا می باشد که ضخامت حدود ۴ متر دارد.
لایه سوم:

این لایه با مقاومت ویژه الکتریکی حدود ۰/۱۸ تا ۱۰/۴۵ اهم متر از عمق حدود ۵ متری شروع می شود.



شکل ۷- مقطع پروفیل شماره چهار ژئوالکتریک

مقایسه دو روش ژئوالکتریک و لرزه نگاری

در این مطالعات که عمق برداشت حدود ۱۰۰ متر بوده است با روش لرزه نگاری شکست مرزی موج P در ساختگاه دکل حفاری دو لایه تشخیص داده شد، که ضخامت لایه اول حدود ۵/۵ متر می باشد و لایه دوم احتمالاً سنگ کف منطقه است که می تواند خاک متراکم یا سنگ باشد. تغییرات سرعت جانبی در لایه اول پروفیل ۱ وجود دارد. به دلیل باتلاقی بودن منطقه ثبت انرژی موج برشی انکساری صورت نگرفته است. عملیات سونداژ زنی الکتریکی با آرایه شلومبرگر محل مذکور را سه لایه به دلیل اختلاف مقاومت ویژه الکتریکی حقیقی نشان داده است. با به کارگیری دو روش شکست مرزی و ژئوالکتریک و نتایج حاصله از این دو روش سنگ کف را ۵/۵ متر تشخیص داده ایم که با استناد بر این دو روش بنا یا پی دکل بایستی در عمق ۵/۵ متر احداث شود. برای اطمینان بیشتر از نتیجه حاصله به علت مهم بودن پروژه از روش ژئوتکنیک استفاده شده که در بخش های بعدی توضیح داده خواهد شد.

مطالعات ژئوتکنیک مربوط به دکل حفاری

اهداف انجام مطالعات و بررسی های ژئوتکنیکی در محل عبارتند از:

- ۱- شناخت نوع خاک
- ۲- لایه بندی و جنس خاک موردنظر
- ۳- بررسی زمین شناسی عمومی منطقه
- ۴- آگاهی از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک در محل

تجهیزات و ماشین آلات برای آزمایشهای صحرائی

برای شناسایی خاک محل پروژه که از نوع رسوبات نرم دریایی می باشد باتوجه به اینکه خاک سطحی تحمل وزن زیادی ندارد. استفاده از ماشین های حفاری معمولی علاوه بر ایجاد مشکلات اجرایی قادر به تهیه نمونه مناسب و تعیین لایه بندی خاک از نظر مهندسی نمی باشد. به علاوه حفر گمانه دستی نیز با توجه به شرایط خاک محل میسر نمی باشد. به همین خاطر برای تهیه نمونه مناسب از دستگاه Cone Penetration Test و یا به اختصار CPT و از کمپانی Gouda هلند استفاده شده است. این دستگاه با تجهیزات کامل برای تعیین مقاومت نوک، مقاومت جداره و تعیین فشار آب منفذی در محل حفاری استفاده شد و علاوه بر این موارد محل نمونه گیری جهت آزمایش های آزمایشگاهی تا عمق ۳۰ متر نیز به راحتی امکان پذیر گردید.



دستگاه CPT

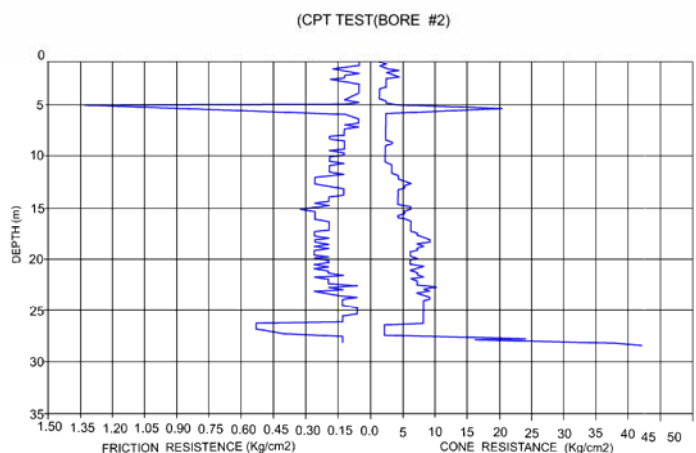
آزمایش نفوذ مخروط به طور روز افزونی به صورت یک آزمایش معروف و متداول در طرح های ژئوتکنیکی شناخته شده است و به عنوان یک وسیله سریع تعیین نوع و مقاومت برشی لایه های خاک این روش مورد استفاده مهندسی ژئوتکنیک در نقاط مختلف دنیا قرار می گیرد.

گمانه های حفاری

در این پروژه ۴ گمانه در نقاط مختلف و به عمق ۳۰ متر با CPT حفر گردید که در هر گمانه به فواصل ۲۰ سانتی متری مقاومت نوک و جداره قرائت و ثبت شد که به این ترتیب با ثبت ۱۵۰ قرائت در هر گمانه می توان تغییرات لایه ها را با دقت بالا به دست آورد. علاوه بر گمانه های ذکر شده چند گمانه دیگر به منظور تعیین تغییرات فشار آب منفذی و همچنین سطح آب زیرزمینی حفر شده است که بدین ترتیب نمونه های لازم تا عمق ۳۰ متر برای تحقیق در آزمایشگاه نیز در منطقه برداشت شد.

بررسی نمودارهای مربوط به تعیین مقاومت نوک و جداره

همانطور که قبلاً ذکر شده بود قرائت به فواصل ۲۰ سانتی متر و تا عمق ۳۰ متری که حداکثر در هر گمانه ۱۵۰ قرائت انجام شد که در شکل ۸ آورده شده است.

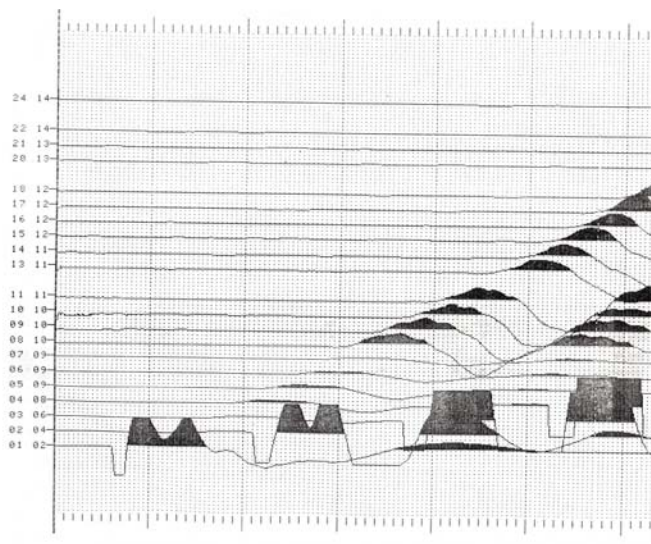


شکل ۸- مقاومت نوک و جداره دستگاه CPT در گمانه ۲ (بازبارو همکاران، ۱۳۷۶)

با توجه به شکل می توان گفت به دلیل خاکی های که مخلوطی از خاک و آهک می باشد مقاومت نوک تا عمق ۲/۵ متر به حداکثر $2/8 \text{ kg/cm}^2$ می رسد که ضخامت این لایه سخت خیلی کم بوده و در حدود ۵۰ سانتی متر می باشد، بعد از لایه سخت یک لایه نرم با حداکثر مقاومت نوک 5 kg/cm^2 موجود می باشد. در عمق ۲۵ متری با توجه به بالا رفتن مقاومت خاک در این تغییرمخروط دستگاه وارد یک لایه سخت شده و به علت مقاومت بسیار بالای این لایه و همچنین سست بودن لایه خاکهای سطحی، مهارهایی که در این گمانه ها استفاده کردیم تحمل نیروی عکس العمل را ندارد به همین خاطر قادر به ادامه کار در اعماق پایین تر نبوده و مقاومت در عمق ۲۵ متری 45 kg/cm^2 اندازه گیری می شود. نتیجه حاصل از عملیات ژئوتکنیک وجود یک لایه کم سرعت ضخیم در منطقه بوده که توسط عملیات لرزه نگاری و ژئوتکنیک قابل تشخیص نبوده است.

استفاده از روش مدلسازی پیشرو در ساختگاه دکل

این روش برای ساختار زمین شناسی که یک لایه نازک پر سرعت روی یک لایه ضخیم با سرعت کم واقع شده مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده از روش ژئوتکنیک ساختاری منطقه مورد مطالعه به این صورت می باشد که یک لایه با سرعت بالا بر روی یک لایه با سرعت کم واقع شده است و ضخامت لایه پنهان در منطقه مورد مطالعه از عمق ۵/۵ متر تا ۲۸ متر ادامه دارد که در روش های لرزه نگاری و ژئوالکترونیک قابل تشخیص نمی باشد، ولی با استفاده از روش ژئوتکنیک و با انجام آزمایش CPT در چهار گمانه و برداشت مقاومت نوک و جداره که قرائت آن به ازاء هر ۲۰ سانتی متر انجام شده لایه پنهان تشخیص داده شد. روش مدلسازی پیشرو برای پروژه مورد استفاده قرار گرفت و حالت پرش موج (Skips) که بیانگر لایه پنهان می باشد بین ژئوفون های ۶ و ۸ مربوط به چشمه شماره یک در پروفیل اول دیده می شود، که پهنای پرش موج (Skips) بیانگر یک لایه کم سرعت ضخیم در منطقه می باشد. (کالچاندساین و همکاران، ۲۰۰۲). در شکل ۹ پرش موج (Skips) که به صورت یک GAP می باشد، نشان داده شده است.



شکل ۹- پرش موج (Skips) در بین ژئوفون های ۶ و ۸

نتیجه گیری

بعد از انجام عملیات مختلف در محل و به منظور شناسایی سنگ کف برای احداث دکل حفاری در کل منطقه مورد مطالعه، یک لایه کم سرعت یافت شد که در ابتدا توسط مطالعات لرزه نگاری و ژئوفیزیک قابل تشخیص نبود. در مطالعات لرزه نگاری از موج p به علت باتلاقی بودن منطقه استفاده گردید و زمین به صورت دو لایه تشخیص داده شد. در عملیات ژئوالکتریک زمین به صورت سه لایه ای تشخیص داده شد که عمق استقرار سنگ کف در ۵/۵ متر به دست آمده است. در برخی نقاط مقاومت ویژه الکتریکی کاهش یافته که علت آن وجود یک لایه سخت و نازک می باشد که جریان به صورت عمودی عبور کرده و لایه دیده نشده است. عملیات ژئوالکتریک با دستگاه CPT که روشی بسیار قوی و دقیق می باشد، با فواصل برداشت ۲۰ سانتی متر و به طور مستقیم انجام شد. در این روش از کوچک ترین تغییرات لایه اطلاع و به طور پیوسته اطلاعات لازم به دست آمد و لایه کم سرعت تشخیص داده شد. روش مدل سازی نیز وجود لایه کم سرعت را بر روی تریس های ثبت شده و به صورت پرش موج (SKIP) نشان می دهد که بصورت GAP ظاهر گردیده است.

قدردانی

بدین وسیله از آقایان دکتر بازاریار و دکتر قربانی از دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت که از نظر اطلاعات ژئوتکنیک کمال همکاری را نموده اند تشکر و قدر دانی را به عمل می آورم.

مراجع

- ۱- بازاریار، م.ج. و همکاران، (۱۳۷۶)، گزارش ژئوتکنیک مربوط به دکل حفاری در جنوب غربی ایران، طرح پژوهشی کاربردی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت.
- ۲- حفیظی، م.ک. و میثاقی، ع.، (۱۳۷۶)، گزارش مطالعات ساختگاه دکل حفاری به روش های لرزه نگاری و ژئوالکتریک، گزارش طرح پژوهشی کاربردی، بخش اکتشافات موسسه ژئوفیزیک.
- 3-Kalachand Sain , P.R, Reddy, Laxmidhar, B., (2002) Imaging of low velocity gondwana sediments in the Mahanadi Delta of India using travelttime inversion of first arrival seismic data, *Journal of Applied Geophysics* **49**, 163-171.
- 4-Palmer, D., (1991), The resolution of narrow low-velocity zones with the generalised reciprocal method, *Geophysical Prospecting*, **39**,1031-1060.
- 5-Palmar, D., (2001) , A new direction for shallow refraction seismology, integrating amplitudes and travel time with the refraction convolution section , *Geophysical Prospecting*, **49**, 657- 673.