

# بررسی تاثیر مقاومت الکتریکی و ترکیب خاک بر خوردگی لوله های فولادی

علیرضا عراقی<sup>۱</sup>

امین اخباری زاده<sup>۲</sup>

محمد حسین پایدار<sup>۳</sup>

استفاده از لوله های فولادی در خاک و تاثیر ترکیب و مقاومت الکتریکی خاک بر رفتار خوردگی لوله ها جزو مسایل بسیار مهم در صنایع نفت و لوله های آب در چاه ها می باشد. با توجه به عدم امکان استفاده از انواع حفاظت ها در همه شرایط، بررسی تاثیر پارامترهای مختلف در عمر لوله های فولادی در خاک از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در این تحقیق تاثیر مقاومت الکتریکی لایه های مختلف خاک بر میزان خوردگی لوله های فولادی بررسی شد. برای این منظور از روش تعیین مقاومت الکتریکی خاک با استفاده از روش روش سونداژ الکتریکی قائم یا گمانه الکتریکی استفاده شد. در این روش پس از هر اندازه گیری، الکترودهای جریان و پتانسیل در همان موقعیت نسبی باقیمانده ولی الکترودها حول یک نقطه مرکزی از هم دور می شوند در نتیجه همانطور که جریان بتدریج به اعماق بیشتر میرسد، مقاومت ظاهری لایه های مختلف خاک تعیین می شود. نتایج این تحقیق امکان رسم پروفایل خوردگی در محل چاه های مورد بررسی را فراهم و همچنین امکان تعیین عمق های با خطر بالای خوردگی را نیز با دقت نسبتا بالایی فراهم می سازد. ترکیب شیمیایی خاک نیز در محل این چاه ها مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن نیز در تعیین محل هایی که ریسک خوردگی بالاتری دارند بسیار مهم می باشد. حضور عناصر با قدرت بالای خوردگی مانند کلر در برخی تر چاه ها مشاهده شد که باعث افزایش شدید نرخ خوردگی در این چاه ها می شود.

**کلیدواژه:** خوردگی، مقاومت الکتریکی خاک، ترکیب خاک، فولاد ساده کربنی.

---

<sup>۱</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد خوردگی دانشگاه شیراز Email: Araghi\_sciencemail@yahoo.com - Tel: ۰۹۱۷۱۱۳۴۱۶۳

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری مهندسی مواد - دانشگاه شیراز

<sup>۳</sup> - دانشیار - دانشگاه شیراز

## مقدمه

خاک به عنوان یک محیط خورنده از پیچیدگی زیادی نسبت به سایر محیط ها برخوردار است. میزان خوردگی در خاک محدوده بسیار وسیعی دارد و از خوردگی بسیار سریع تا خوردگی قابل اغماض را دارا می باشد. این موضوع با توجه به این که در بعضی از حالات، لوله ها ظرف کمتر از یک سال دچار پوسیدگی می شوند تا اشیا آهنی باستانی مدفون در خاک که صد ها سال بدون خوردگی شدید باقی مانده اند قابل اثبات است [۱]. عمده ترین انواع خوردگی که در لوله های زیر خاک بوجود می آید عبارتند از: خوردگی حفره ای بدلیل حضور یون کلرید و سولفات، خوردگی گالوانیکی در اثر غیر یکنواختی خاک، خوردگی تحت تنش و خوردگی بیولوژیکی [۲]. بدلیل محدوده بسیار وسیع خوردگی لوله های مدفون شده در خاک، متغیر های بسیار زیادی در بررسی میزان خوردگی خاک تاثیر گذارند و بدلیل غیر یکنواختی ترکیب خاک ارائه یک مدل برای تعیین میزان خوردگی خاک غیر ممکن است [۳]. یکی از پارامتر های مهم در خوردگی خاک، مقاومت الکتریکی آن می باشد. با توجه به تغییر جنس مواد تشکیل دهنده لایه های خاک، مقاومت ویژه الکتریکی این لایه ها نیز تغییر می یابد. علاوه بر این، پارامتر های دیگر، از قبیل درجه تراکم، خلل و فرج موجود در خاک، وضع قرار گرفتن خلل و فرج، حجم خلل و فرج و میزان آب موجود در خلل و فرج، در مقاومت مخصوص الکتریکی خاک تاثیر گذار است [۴]. لایه های خاک با مقاومت الکتریکی متفاوت باعث می شوند که لوله فلزی قرار گرفته شده در خاک دچار خوردگی گالوانیکی شود. بخشی از لوله که در خاک با مقاومت الکتریکی بالا قرار دارد به عنوان کاتد و بخشی از لوله که در خاک با مقاومت الکتریکی پایین قرار دارد به عنوان آنود عمل کرده و خورده می شود. بنابر این به منظور تعیین نرخ خوردگی لوله ها در زیر خاک تعیین مقاومت الکتریکی خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۵].

در این تحقیق مقاومت الکتریکی چهار منطقه در شهر شیراز و تاثیر آن بر میزان خوردگی لوله های جدار چاه بررسی شده است. نتایج حاصله، لایه های خاک و مقاومت الکتریکی هر لایه را مشخص نمود. همچنین با استفاده از نرم افزار، تغییرات لایه های خاک، در فاصله طولی ما بین این چهار منطقه، با برش از مقطع زمین رسم شد و رفتار خوردگی لایه های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین ترکیب شیمیایی لایه های خاک، از چهار چاه در حال حفر شرکت آب و فاضلاب در مناطق نزدیک به چاه هایی که مقاومت الکتریکی آنها محاسبه شده است، نمونه برداری صورت گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون تعیین مقاومت الکتریکی خاک، تعداد لایه های خاک و ارتفاع هر لایه برای مناطق مختلف تعیین شد. با توجه به این نتایج، ترکیب شیمیایی لایه های مورد نظر آنالیز شدند.

## مواد و روش تحقیق

در این تحقیق مقاومت الکتریکی لایه های خاک مناطق مختلف شهر شیراز مورد بررسی قرار گرفت. منطقه ۱، بلوار نصر واقع در جنوب شرقی شهر شیراز، منطقه ۲، تخت ضرابی واقع در شرق دروازه قرآن، منطقه ۳، محوطه دانشگاه شیراز واقع در میدان ارم، و منطقه ۴، دامنه های شمالی بلوار چمران، انتخاب شد. موقعیت جغرافیایی و اطلاعات ثبت شده بوسیله دستگاه GPRS در شکل ۱ و جدول شماره ۱ آمده است. مقاومت الکتریکی لایه های خاک، به روش سونداژ الکتریکی قائم محاسبه شد. این روش عمدتاً در مطالعه سطوح افقی مورد استفاده قرار می گیرد. در روش مقاومت سنجی جریانات الکتریکی مصنوعی توسط دو الکترود به زمین تزریق می شود و اختلاف حاصل بین دو نقطه در سطح زمین اندازه گیری می شود. انحراف از شکل اختلاف

پتانسیل های قابل انتظار در مورد زون های هموزن اطلاعاتی در مورد شکل و خواص الکتریکی ناهمگنی های زیر سطحی ارائه می دهد. از طریق دو الکتروود جریان (A و B) ، جریان مستقیم به درون زمین فرستاده میشود و اختلاف پتانسیل حاصل بین دو الکتروود پتانسیل (M و N) در زمین اندازه گیری می گردد (شکل ۲).

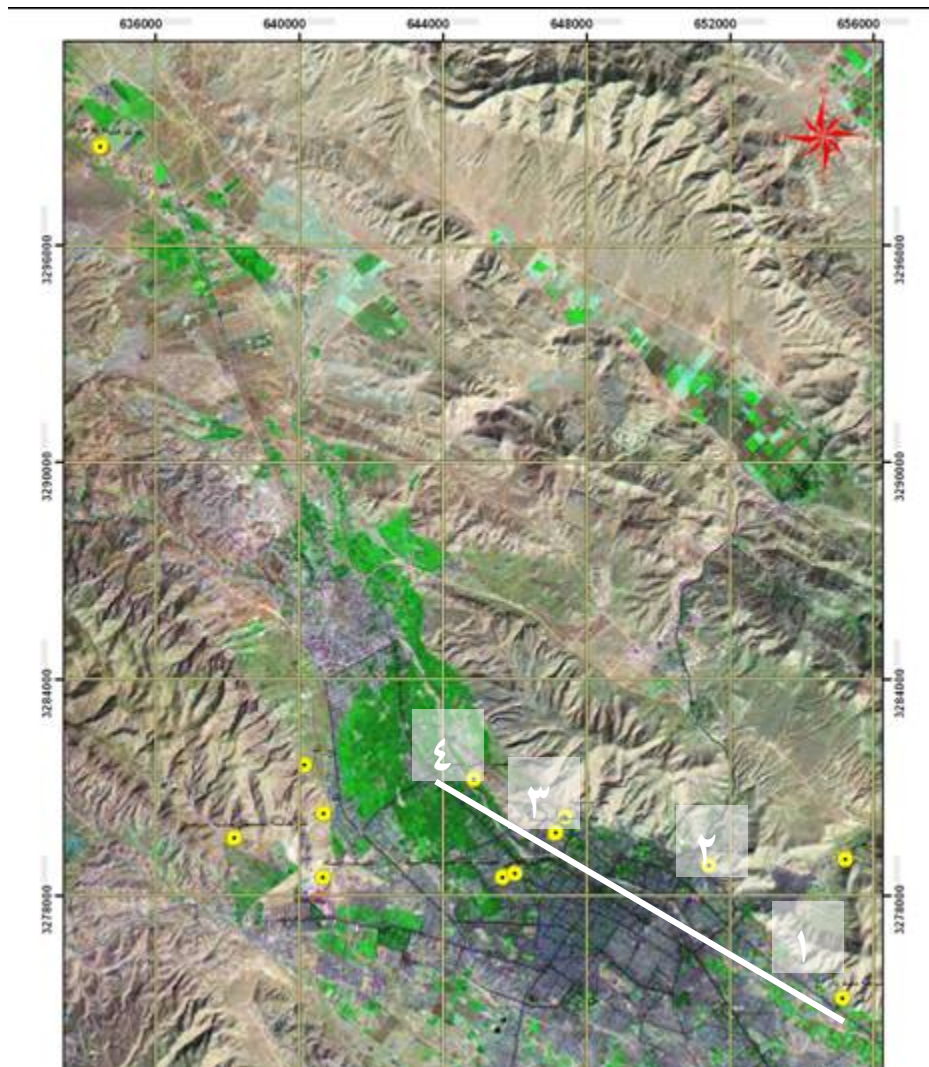
وقتی جنس زمین یکنواخت باشد مقاومت محاسبه شده بر اساس این روش ثابت بوده و مستقل از فاصله الکتروود ها خواهد بود ولی از آنجایی که لایه های زیر سطحی غیر همگن می باشند، مقاوت با موقعیت نسبت الکتروودها تغییر میکند و مقدار محاسبه شده، مقاوت ویژه (pa) نامیده می شود و تابعی از شکل غیر یکنواختی مربوطه خواهد بود.

در این روش پس از هر اندازه گیری، الکتروودهای جریان و پتانسیل در همان موقعیت نسبی باقیمانده و کل آنها بطور فزاینده حول یک نقطه مرکزی از هم دور می شود در نتیجه همانطور که جریان بتدریج به اعماق بیشتر می رسد قرائت ها انجام می گیرد [۵]. در این فاصله الکتروود جریان همیشه مساوی یا بزرگتر ۵ برابر پتانسیل است ( $AB \geq MN$ ) و الکتروود پتانسیل در میان الکتروود جریان قرار می گیرد (شکل ۲).

پس از انجام اندازه گیریهای صحرائی و محاسبه (pa) ابتدا نمودار تغییرات مقاوت در مقابل زیاد شدن فاصله الکتروودهای جریان یعنی افزایش عمق رسم می شود. برای این کار از فرمهای مخصوص لگاریتم استفاده می شود، بدین ترتیب که مقاوت ظاهری اندازه گیری شده روی محور قائم و فاصله  $OA = AB/2$  روی محور افقی در نظر گرفته و منحنی سونداژ الکتریکی ترسیم می گردد. تغییرات این منحنی نشان دهنده تغییرات مقاوت در عمق های مختلف می باشد. این نمودار با منحنی قوسی شکل در شکل ها مشخص شده است. پس از بدست آمدن منحنیها اطلاعات، آنها به کامپیوتر منتقل و با استفاده از نرم افزار مربوطه، مقاطع رسم و ضخامت و مقاوت هر لایه مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. این مقاوت که به مقاوت ویژه معروف است توسط نمودار پله ای شکل نشان داده شده است.

دستگاه مقاوت سنج مورد استفاده مدل ABMN است که در آن علاوه بر اندازه گیری مقاوت زمین، پتانسیل خودزا و سایر عوامل موثر در خطا بصورت اتوماتیک حذف می شوند.

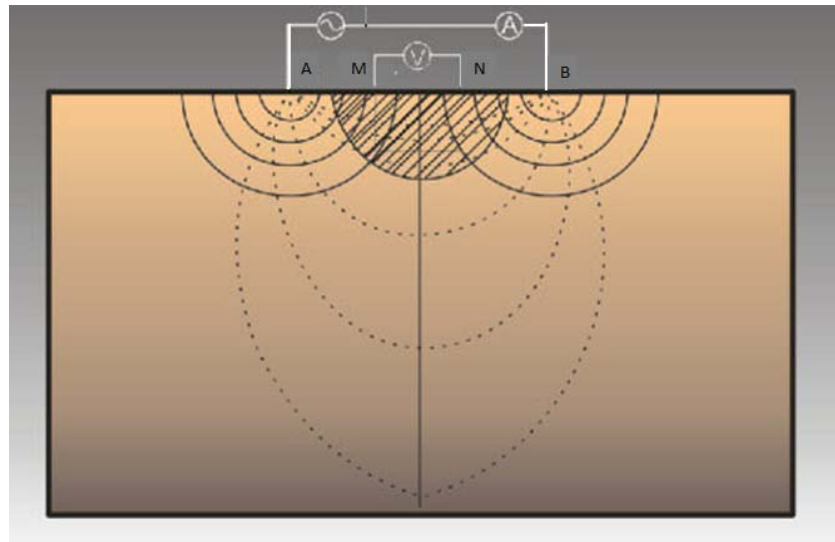
به منظور تعیین ترکیب شیمیایی لایه های خاک، از چهار چاه در حال حفر شرکت آب و فاضلاب در مناطق اشاره شده در جدول ۲ نمونه برداری صورت گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون تعیین مقاوت الکتریکی خاک، تعداد لایه های خاک و ارتفاع هر لایه برای مناطق مختلف تعیین شد. با توجه به این اطلاعات برای منطقه عفیف آباد چهار نمونه خاک از اعماق ۳، ۶، ۲۵ و ۷۰ متری مورد بررسی قرار گرفت. به همین ترتیب از مناطق دو کوهک، چمران و بلوار رحمت نیز به ترتیب ۴، ۵ و ۶ لایه مور آنالیز قرار گرفت.



شکل ۱. تصویر هوایی از شهر شیراز و موقعیت مناطق بررسی شده که با شماره ۱ الی ۴ مشخص شده اند.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی مناطق بررسی شده.

UTM		ارتفاع از سطح دریا(متر)	منطقه مورد بررسی
X	Y		
۶۵۵۱۴۹	۳۲۷۵۱۵۸	۱۵۲۳	۱
۶۵۱۴۴۰	۳۲۷۸۸۳۴	۱۵۱۴	۲
۶۴۷۴۳۲	۳۲۸۰۱۷۵	۱۶۱۶	۳
۶۴۴۹۰۲	۳۲۸۱۲۳۷	۱۶۱۰	۴



شکل ۲. طرز کار دستگاه سنجش مقاومت الکتریکی.

جدول ۲. محل چاه هایی که نمونه گیری از آنها به عمل آمد

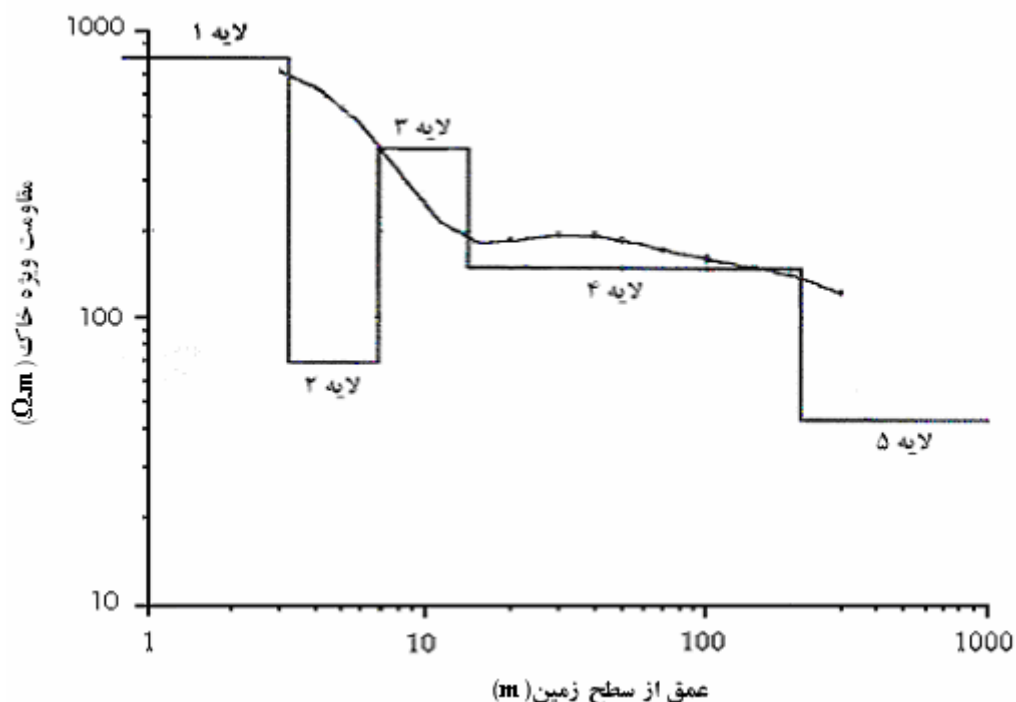
محل حفر چاه	علامت اختصاری چاه
عقیف آباد (فروشگاه شرکت)	A
اتفاقات جنوب	E
دو کوهک	D
چمران	CH

## نتایج و بحث

نتایج بدست آمده برای مناطق چهار گانه بررسی شده به شرح زیر است:

### منطقه ۱

سونداژ الکتریکی به طول فرستنده جریان  $AB=600$  متر در منطقه ۱ انجام گردید. بررسی مقاومت های بدست آمده و تفسیر کمی و کیفی منحنی سونداژ الکتریکی نشان دهنده ۵ لایه ژئوالکتریک است. لایه اول با مقاومت ۸۰۰ اهم متر، آبرفت دانه درشت و واریزه های آهکی خشک به ضخامت ۳ متر و لایه دوم که مقاومت الکتریکی آن به حدود ۶۸ اهم متر رسیده است مربوط به شن و ماسه درشت و خشک به ضخامت ۴ متر است. لایه های اول و دوم مجموعاً لایه آبرفتی را تشکیل می دهند. لایه سوم با مقاومت الکتریکی ۴۰۰ اهم متر و لایه چهارم به ضخامت ۲۰۳ متر و مقاومت حدود ۱۴۹ اهم متر است. این کاهش مقاومت نشان دهنده لایه آهک کارستی آبدار است. در انتهای منحنی سونداژ، مقاومت کاهش یافته و به ۴۴ اهم متر رسیده است (لایه پنجم) که مربوط به لایه آهک مارنی خشک است (شکل ۳).



شکل ۳: نمودار مقاومت ویژه لایه های مختلف خاک در منطقه ۱.

#### منطقه ۲

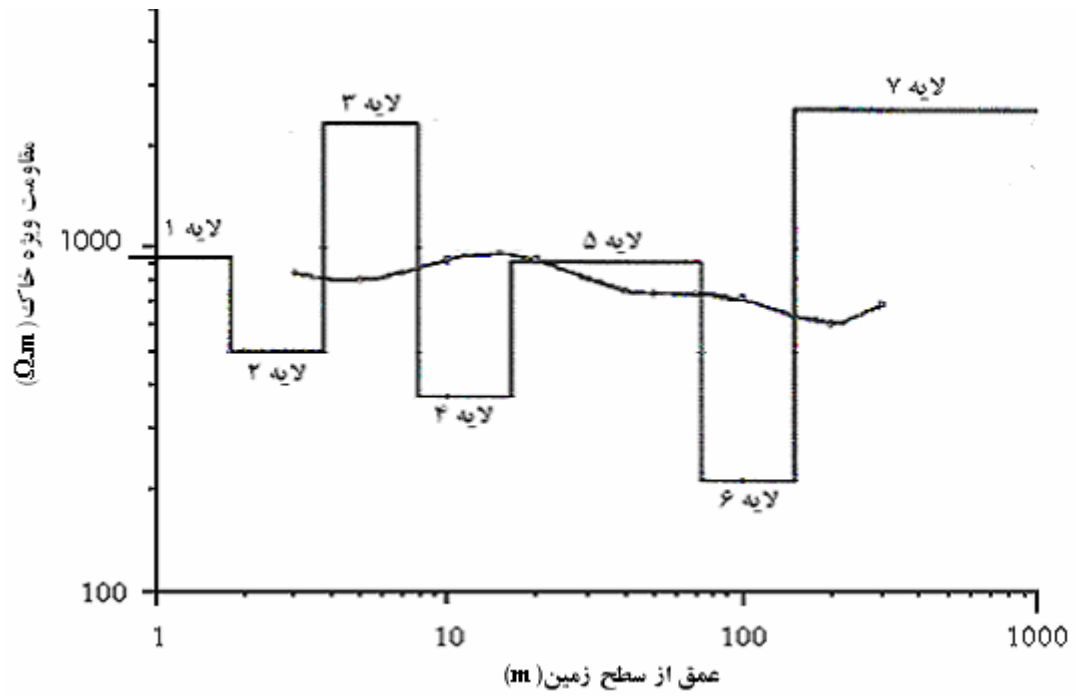
در منطقه دوم آزمون مقاومت سنجی انجام شد و بررسی مقاومت‌های بدست آمده و تفسیر کمی و کیفی منحنی سونداژ الکتریکی نشان دهنده ۷ لایه ژئوالکتریک بود. لایه اول با مقاومت حدود ۹۰۰ اهم متر و ضخامت ۲ متر آهک خرد شده و هوا زده خشک، لایه دوم با مقاومت حدود ۵۰۰ اهم متر و به ضخامت ۲ متر، آبرفت دانه درشت قلوه سنگ، لایه سوم با مقاومت ۱۱۲۷ اهم متر و به ضخامت ۴ متر و لایه چهارم با مقاومت مخصوص ۳۷۳ اهم متر، آبرفت و واریزهای آهکی خشک است. لایه ژئوالکتریک اول تا چهارم مجموعاً مربوط به لایه آبرفتی می باشد. لایه پنجم با مقاومت مخصوص ۹۰۰ اهم متر به ضخامت ۵۶ متر آهک خشک و لایه ششم با مقاومت مخصوص ۲۰۰ اهم متر، احتمالاً آهک کارستی آبدار است. در انتهای منحنی سونداژ، مقاومت افزایش یافته و به ۱۱۸۰ اهم متر برای لایه هفتم رسیده است (شکل ۴).

#### منطقه ۳

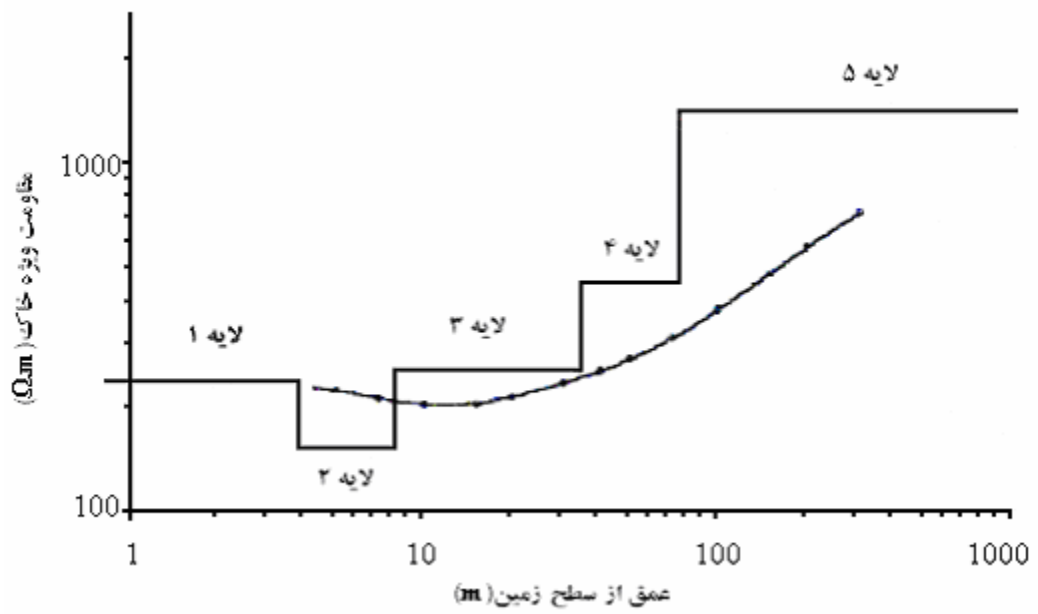
سونداژ الکتریکی به طول فرستنده جریان  $AB=600$  متر در منطقه ۳ انجام گردید. بررسی مقاومتها و تفسیر منحنی سونداژ الکتریکی تا عمق مورد مطالعه نشان دهنده پنج لایه ژئوالکتریک است. لایه اول با مقاومت حدود ۲۴۰ اهم متر و ضخامت حدود ۴ متر شامل واریزه های آهک خرد شده است لایه دوم دارای مقاومت ۱۵۷ اهم متر و ضخامت ۴ متر، آهک مارنی خشک، لایه سوم با مقاومت الکتریکی ۲۷۰ اهم متر و ضخامت ۲۶ متر، آهک مارنی و لایه چهارم با مقاومت ۴۹۰ اهم متر، احتمالاً مربوط به آهک کارستی آبدار است. در انتهای منحنی سونداژ، مقاومت افزایش یافته و به ۱۰۵۰ اهم متر برای لایه پنجم رسیده است (شکل ۵).

#### منطقه ۴

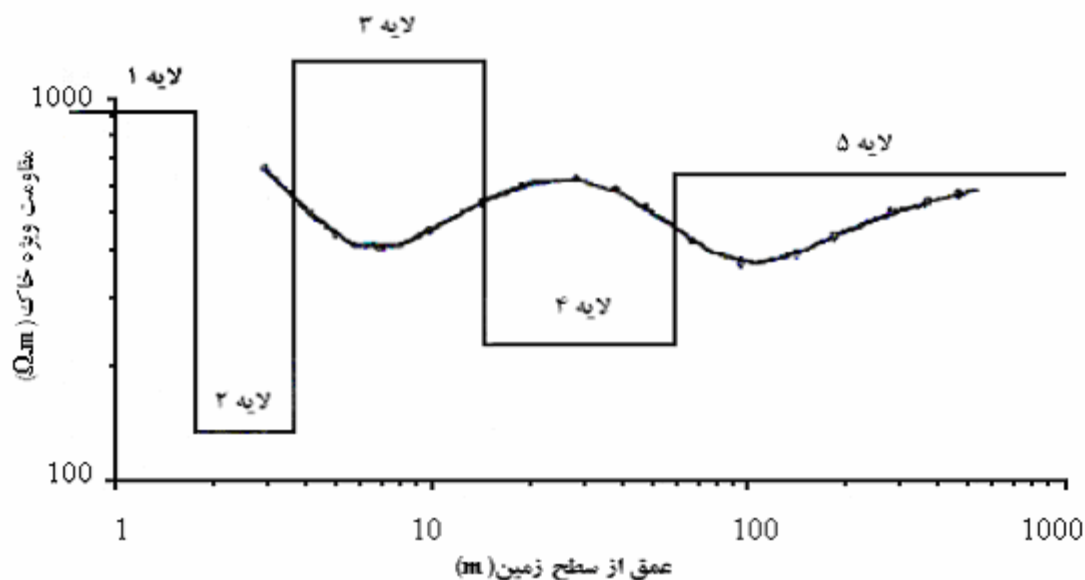
سونداژ الکتریکی به طول فرستنده جریان  $AB=1000$  متر در این منطقه انجام شد. بررسی مقاومتها و تفسیر منحنی سونداژ الکتریکی نشان دهنده پنج لایه ژئوالکتریک است. لایه اول به ضخامت ۲ متر و مقاومت مخصوص ۹۳۴ اهم متر شامل آهکهای هوا زده خرد شده و خشک، لایه دوم با مقاومت مخصوص ۱۳۳ اهم متر به ضخامت ۲ متر دارای ساختار آهکی، لایه سوم با مقاومت ۱۲۲۰ اهم متر و ضخامت ۱۱ متر، آهک خشک و لایه چهارم با مقاومت مخصوص ۲۲۳ اهم متر احتمالاً مربوط به آهک کارستی آبدار است. در انتهای منحنی سونداژ، مقاومت افزایش یافته و به ۶۵۰ اهم متر برای لایه پنجم رسیده است (شکل ۶). مشاهدات صحرائی نشان داد که سنگ آهک منطقه مورد مطالعه از درجه خلوص بالایی برخوردار است.



شکل ۴: نمودار مقاومت ویژه لایه های مختلف خاک در محل منطقه ۲.



شکل ۵: نمودار مقاومت ویژه لایه های مختلف خاک در محل منطقه ۳.



شکل ۶: نمودار مقاومت ویژه لایه های مختلف خاک در محل منطقه ۴.

تغییرات لایه های مختلف خاک در طول مناطق چهارگانه (در طول خط نشان داده شده در شکل ۱) در شکل ۷ آمده است. همانطور که از شکل مشخص است، به طور کلی مقاومت الکتریکی خاک منطقه ۲ بالاتر از مناطق دیگر می باشد و در لایه های پایین منطقه ۱ مقاومت الکتریکی شدیداً کاهش می یابد. همچنین با توجه به شکل، برای منطقه ۳، تا عمق ۵۰ متر و برای منطقه ۴ تا عمق ۳۰۰ متر، مقاومت مخصوص خاک متوسط است.

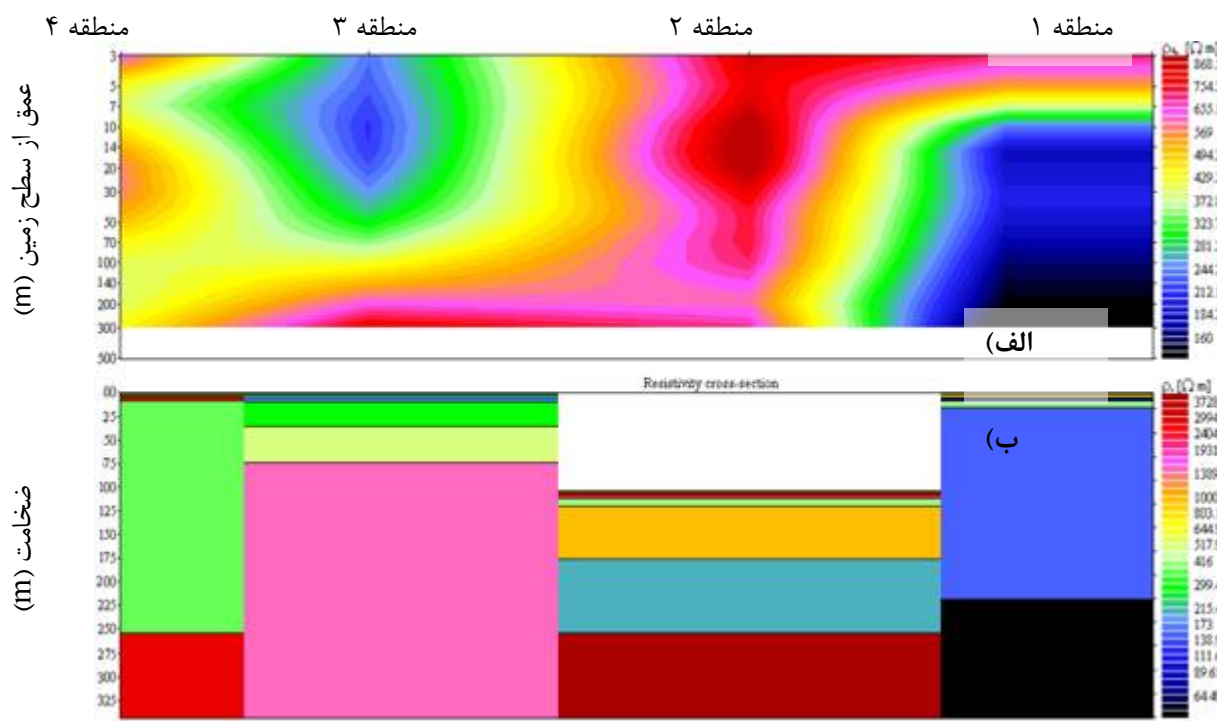
تاثیر مقاومت مخصوص خاک بر میزان خوردگی در جدول ۳ آمده است [۵،۶]. با توجه به جدول ۳ و نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت الکتریکی خاک می توان نتیجه گرفت که برای منطقه ۱، در لایه دوم (با مقاومت مخصوص الکتریکی  $68 \Omega.m$ )، یعنی در عمق ۴-۷ متر، خوردگی لوله جدار چاه ملایم و در لایه پنجم (با مقاومت مخصوص الکتریکی  $44 \Omega.m$ )، یعنی در عمق ۱۵۰-۳۰۰ متر، خوردگی لوله جدار چاه کمی بیشتر از لایه دوم است. میزان خوردگی ملایم در این دو لایه به خاطر مقاومت الکتریکی پایین خاک می باشد. بخشی از لوله که در این دو لایه قرار می گیرد به عنوان آند و مابقی لوله به عنوان کاتد عمل کرده و در اثر تشکیل پیل گالوانیکی، قسمت آندی لوله خورده می شود. برای منطقه ۲، مقاومت مخصوص الکتریکی تمامی لایه ها بالای  $100 \Omega.m$  می باشد. بنابر این سرعت خوردگی لوله های جدار چاه در این منطقه بسیار ناچیز و قابل چشمپوشی است. بنابر این می توان نتیجه گرفت که میزان خوردگی لوله های جدار چاه در منطقه اول بسیار شدید و در منطقه دوم بسیار ناچیز است [۵].

در منطقه ۳، در عمق ۴ تا ۸ متر، بعلاوه حضور لایه دوم با مقاومت مخصوص  $77/4$  اهم متر، خوردگی ملایم پیش بینی می شود. در منطقه ۴، در محدوده لایه چهارم خوردگی ملایم و در سایر لایه ها خوردگی بسیار ناچیز است. بنابراین با توجه به مطالب گفته شده می توان نتیجه گرفت که میزان خوردگی لوله جدار چاه در منطقه ۱ بسیار شدید، در منطقه ۳ و ۴، متوسط و در منطقه ۲ بسیار ناچیز است [۵].



جدول ۳: تاثیر مقاومت مخصوص خاک بر میزان خوردگی.

میزان خوردگی	مقاومت مخصوص الکتریکی خاک ( $\Omega.m$ )
بسیار شدید	۰-۵
شدید	۵-۱۰
متوسط	۱۰-۲۰
ملايم	۲۰-۱۰۰
ناچيز	بالای ۱۰۰



شکل ۷: الف) تغییرات لایه های مختلف خاک در طول ۴ منطقه بررسی شده، ب) تغییرات لایه های خاک و ضخامت آنها در ۴ منطقه بررسی شده.

نتایج بدست آمده از آنالیز لایه های مختلف خاک در چاه های در حال حفر در جدول ۴ آورده شده است. نتایج حاصل از آنالیز ترکیب شیمیایی لایه های خاک در هر چاه اختلاف بسیار کمی از نظر ترکیب شیمیایی بین لایه های مختلف مورد بررسی را نشان می دهد. برای مثال در چاه اتفاقات جنوب تفاوت یون کلر در ۴ لایه مورد بررسی ۰/۲۵ الی ۰/۷۵ اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک می باشد. این میزان تفاوت بسیار کمتر از مقدار لازم برای بررسی تاثیر یون کلر بر خوردگی لوله های این چاه می باشد. در سایر لایه ها و در سایر چاه ها نیز این مشکل وجود دارد. به عبارت دیگر تفاوت ترکیب شیمیایی و اسیدیته در هیچ یک از لایه های چاه های مورد بررسی به حدی نیست که امکان تمیز دادن شدت خوردگی در لایه های مختلف به شکل محسوسی قابل تعیین باشد.

دلیل اصلی عدم امکان بررسی تاثیر یون ها و میزان اسیدیته در لایه های مختلف چاه به نوع حفاری چاه ها مربوط می شود. در حفاری چاه بدلیل استفاده از مخلوط آب و صابون لایه های بالایی شسته شده و به سمت قسمت های پایین تر سرازیر می شود، بهمین دلیل نمونه های بدست آمده از هر قسمت در واقع ترکیبی از آن قسمت و مقداری از لایه های بالاتر است که در اثر جریان آب شسته شده و به پایین آورده شده است.

جدول ۳. ترکیب شیمیایی لایه های مختلف خاک چاه های در حال حفر در مناطق چهار گانه بررسی شده.

منطقه	لایه خاک	EC	pH	کلر (اکی والان)	سولفات (اکی والان)	آهک (اکی والان)
عقیف آباد	اول	۲/۱	۸/۱۱	۸/۷۵	۴/۱۵	۵۸/۷۵
	دوم	۲/۷۴	۸/۱۸	۱۲/۰۰	۷/۹۶	۵۲/۵۰
	سوم	۱/۶۴	۷/۹۴	۷/۲۵	۴/۲۷	۵۰/۰۰
	چهارم	۲/۳۲	۷/۹۱	۷/۵۶	۴/۳۱	۵۱/۵۰
دوکوهک	اول	۱/۱	۸/۶۵	۵/۰۰	۱/۰۸	۶۰/۰۰
	دوم	۱/۹۶	۸/۳۷	۶/۷۵	۲/۱	۶۱/۷۵
	سوم	۱/۱۲	۸/۷۲	۵/۰۰	۱/۲۷	۳۷/۵
	چهارم	۱/۰۰	۸/۷۴	۴/۹۵	۰/۹۶	۵۹/۵
چمران	اول	۱/۵۴	۸/۳۶	۶/۶۱	۲/۲	۶۱/۰۰
	دوم	۱/۶۶	۸/۲۳	۶/۵۹	۲/۱	۶۰/۶۱
	سوم	۱/۳۰	۸/۴۶	۶/۷۰	۲/۰۰	۶۱/۴۳
	چهارم	۱/۴۷	۸/۵۰	۶/۸۱	۲/۳۴	۶۱/۳۱
	پنجم	۱/۵۰	۸/۴۱	۶/۶۰	۲/۲۱	۶۰/۹۸
اتفاقات جنوب بلوار رحمت	اول	۱/۵۷	۷/۶۹	۵/۷۵	۴/۱۵	۴۵/۰۰
	دوم	۱/۴۶	۷/۷۷	۵/۲۵	۳/۴۲	۴۵/۰۰
	سوم	۱/۶۶	۷/۸۴	۵/۰۰	۵/۱۵	۴۵/۲۵
	چهارم	۱/۷۳	۷/۹۵	۵/۷۵	۵/۰۸	۴۵/۰۰
	پنجم	۱/۸۱	۷/۸۶	۵/۰۰	۵/۱۸	۴۵/۲۱
	ششم	۱/۶۸	۷/۷۵	۵/۳۴	۵/۰۹	۴۵/۰۰

در طول حفاری و در اثر بالا آمدن نمونه از لایه های خاک در اثر حرکت چرخشی دستگاه حفاری، مقداری از لایه های بالایی نیز در حین حفاری با لایه خاک مورد نظر مخلوط شده و با نمونه اصلی به سطح می آید. به همین دلیل نمونه های بدست آمده

از هر لایه در واقع میانگین ترکیب تمام لایه های چاه می باشد و به همین دلایل میزان این یون ها و اسیدیته لایه ها تا این حد به هم نزدیک است. بنابراین خاک لایه های مختلف خاک در یک منطقه را نمی توان با این روش با یکدیگر مقایسه کرد ولی می توان خاک مناطق بررسی شده را می توان به طور کلی با یکدیگر مقایسه نمود. از نتایج بدست آمده (جدول ۴) می توان نتیجه گرفت که EC خاک به طور کلی در مناطق عفیف آباد و اتفاقات جنوب بالاتر از مناطق چمران و دوکوهک می باشد. همچنین میزان یون های کلر و سولفات موجود در خاک منطقه عفیف آباد بیشترین و منطقه دوکوهک کمترین است و میزان آن برای مناطق چمران و اتفاقات جنوب ما بین این مقادیر است. همچنین نتایج نشان داد که به طور کلی آهک خاک در مناطق چمران و دوکوهک بالا بوده و منطقه اتفاقات جنوب کمترین میزان آهک را داراست.

### جمع بندی

- بررسی لایه های زمین شناسی در چهار منطقه بررسی شده، نشان می دهد که میزان خوردگی لوله جدار چاه در منطقه ۱ ملایم و متوسط، در منطقه ۳ و ۴ ملایم و در منطقه ۲ بسیار ناچیز است.

- در منطقه ۲، بدلیل حضور لایه های خاک با مقاومت الکتریکی بالا، سرعت خوردگی بسیار ناچیز است.

- در منطقه ۱، بدلیل حضور لایه های خاک با مقاومت الکتریکی پایین، سرعت خوردگی بالاتر از سایر مناطق می باشد.

- روش سونداژ الکتریکی قائم، اطلاعات مفیدی از قبیل، تعیین لایه های مختلف خاک، ضخامت لایه ها و مقاومت الکتریکی هر لایه در اختیار قرار می دهد. بنابر این استفاده از این روش، برای تعیین میزان خوردگی خاک، بسیار سودمند می باشد.

- با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز ترکیب شیمیایی خاک و مشکلاتی که بدلیل ترکیب شیمیایی لایه های مختلف خاک به دلیل نوع حفاری و نمونه گیری بوجود می آید و با توجه به نزدیکی بسیار زیاد نتایج بدست آمده از آنالیز لایه های مختلف خاک در چاه های مورد بررسی، امکان استفاده از این روش برای بررسی و مقایسه لایه های مختلف خاک در یک منطقه مشخص امکان پذیر نمی باشد و عملاً هیچگونه اطلاعات قابل استنادی به دست نمی آید. ولی از آنجایی که نمونه های بدست آمده از هر لایه در واقع میانگین ترکیب تمام لایه های چاه می باشد، می توان خاک مناطق بررسی شده را می توان به طور کلی با یکدیگر مقایسه نمود. با توجه به نتایج بدست آمده خاک مناطق عفیف آباد و اتفاقات جنوب از خوردگی بالا، چمران از خوردگی متوسط و دوکوهک از خوردگی پایینی برخوردارند.

### تشکر و قدردانی

با تشکر بسیار زیاد از کمک های آقایان مهندس مرادی، شرفی و سادات که در انجام این پروژه نهایت همکاری را با دانشگاه شیراز به عمل آورده اند.

### منابع

- ۱- S. Srikanth, P. S. N. Sankaranarayana, K. Gopalakrishna, Corrosion in a buried pressurised water pipeline Engineering Failure Analysis, Volume 12, Issue 4, August 2005, Pages 634-651
- ۲- D. Neff, P. Dillmann, L. Bellot-Gurlet, G. Beranger, Corrosion of iron archaeological artefacts in soil, characterisation of the corrosion system, Corrosion Science, Volume 47, Issue 2, February 2005, Pages 515-535
- ۳- D. Neff, P. Dillmann, M. Descostes, G. Beranger, Corrosion of iron archaeological artefacts in soil, Estimation of the average corrosion rates involving analytical techniques and thermodynamic calculations

Corrosion Science, Volume 48, Issue 10, October 2006, Pages 2947-2970  
-Richard C. Selley, Robin Cocks, Ian Plimer," Encyclopaedia of Geology", Academic Press, London, 2007.  
- A. W. Peabody, "Control of pipeline corrosion" NACE International, Texas, 2001.  
- Zaki Ahmad, " Principles of corrosion engineering and corrosion control", Elsevier science & technology, 2006.