

محاسبه توزیع پتانسیل برای شناسایی عوامل موثر در طراحی بهینه بستر زمین حفاظت کاتدی شبکه گاز

سید علی نبوی نیاکی - استادیار

دانشگاه مازندران - دانشکده فنی - گروه برق

صندوق پستی ۴۸۴ - بابل

seyed@umcc.ac.ir

چکیده:

در این مقاله عوامل موثر در طراحی بهینه بستر آندی حفاظت کاتدی مورد بررسی قرار می گیرد. منظور از بهینه سازی بستر زمین، کاهش ابعاد آن تا حد امکان می باشد. در بعضی مناطق اجرای طرح استاندارد که محتاج زمینی به عرض کم و طول زیاد می باشد از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست و از طرفی تاسیس بسترهای چاهی در مناطقی که سطح آبهای زیر زمینی بالاست (شمال کشور) بسیار پر هزینه است. در این مقاله راه حل به صورت استفاده از بسترهای نزدیک پیشنهاد می شود. در این راستا روابط مربوط به توزیع پتانسیل بسترهای نزدیک و مقاومت آن بدست آورده می شود و پارامترهای موثر برای کاهش ابعاد زمین شناسایی می شود. در خاتمه یک مورد عملی تاسیس بستر نزدیک جهت تایید مطالعات انجام شده معرفی می گردد.

فهرست علائم:

E: میدان الکتریکی

Q: بار الکتریکی

I: جریان الکتریکی

J: چگالی جریان

V: پتانسیل الکتریکی

R: مقاومت الکتریکی

فهرست علائم یونانی:

p: مقاومت ویژه محیط

لغات کلیدی: حفاظت کاتدی، توزیع پتانسیل، لوله های گاز

۱- مقدمه

حفاظت لوله های گاز در مقابل خوردگی، بخصوص در مناطق شهری از اهمیت خاصی برخوردار است. اعمال جریان تزریقی در ناحیه ای بنام بستر زمین که توسط آندهای خاصی شکل می گیرد، موثر ترین راه حفاظت لوله های گاز در مقابل خوردگی شناخته شده است. هدف عمده در طراحی بستر زمین، تامین جریان تزریقی مناسب جهت مقابله با خوردگی می باشد. برای تاسیس این بستر از آرایش های مختلفی استفاده می شود که طرحهای مورد استفاده (استاندارد شرکت ملی گاز) به دو صورت آرایش سطحی و چاهی می باشد. آرایش سطحی به دو نوع آند های افقی و آند های عمودی تقسیم می شود. در آرایش سطحی، آند ها در نزدیکی سطح زمین و به فواصل معین از یکدیگر قرار می گیرند که زمینی به عرض کم و طول زیاد (بطور متوسط ۳ در ۴۵ متر) را شکل می دهد. برای مناطقی که تهیه چنین زمینهایی امکانپذیر نیست و یا در

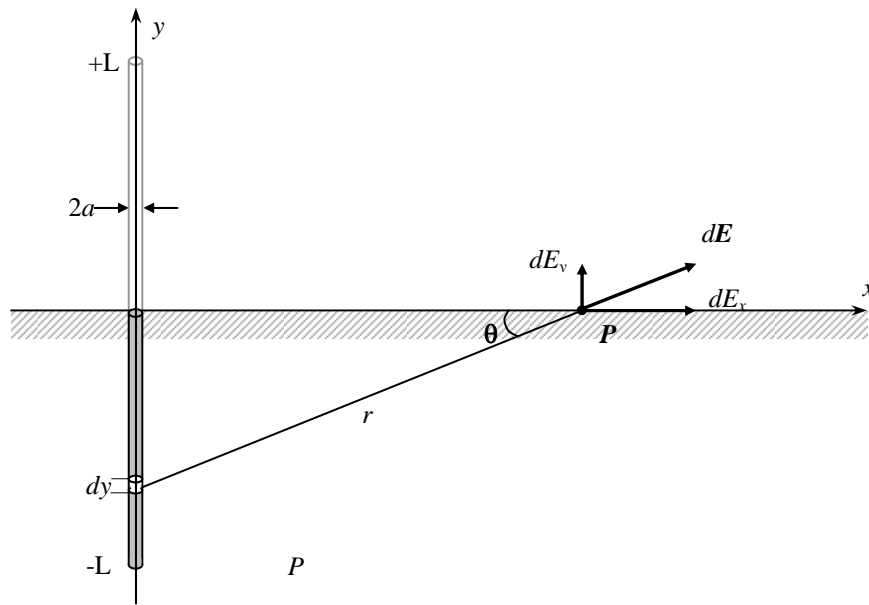
صورت امکان، هزینه زیادی را طلب می کند (مناطق شهری)، از آرایش چاهی استفاده می شود. آند ها در این آرایش، در چاههایی به طول متوسط تقریباً ۷۵ متر در عمق زمین قرار می گیرند. البته برای مناطقی که سطح آبهای زیر زمینی بالاست، مثل مناطق شمالی کشور، این مزیت کم رنگ شده و هزینه ایجاد چاههای عمیق قابل مقایسه با قیمت زمین برای آرایشهای سطحی می باشد.

آرایش های مذکور، برای طراحی بستر زمین کلیه مناطق (شهری و بیابانی) بطور یکسان اعمال می شود. بر این اساس چون برای همه جا قابل اعمال است، لزوماً بهینه نخواهد بود. منظور از بهینه در این حالت، کاهش ابعاد بستر زمین تا حد امکان می باشد. در مقاله [1] امکان تغییر آرایش آند های حفاظت کاتدی لوله های گاز مورد بررسی قرار گرفت و بیان شد که طرحهای استاندارد موجود قابل تغییر می باشد و پارامتر های دخیل در این طراحی شناسایی شدند. در این مقاله عوامل موثر در طراحی بهینه بستر زمین دقیقاً مورد بررسی قرار گرفته و شاخصهای اصلی طراحی بهینه بسترهای دور و نزدیک ارائه خواهد شد. برای انجام اینکار، توزیع پتانسیل بستر زمین بایستی دقیقاً محاسبه شوند تا بر اساس آن معیار حفاظت کاتدی که حداکثر و حداقل پتانسیل لوله به خاک (حداقل $0/8$ ولت و حداکثر 2 ولت) را تعیین می کند اعمال شود. به این ترتیب شعاع تحت پوشش حفاظتی و ابعاد بهینه زمین را می توان بدست آورد.

۲- بستر آند های دور و نزدیک

طراحی کلیه آرایشهایی که بصورت استاندارد ذکر شده اند بصورت بستر های آندی دور هستند. به این معنی که فاصله بستر آندی تا لوله های تحت پوشش به اندازه ای دور انتخاب می شود تا کاهش ولتاژ ناشی از جریان تزریقی، افت ولتاژ زیادی را در فواصل طولانی ایجاد نکند. در بستر های دور، توزیع پتانسیل بر حسب مقاومت معادل بستر زمین بدست می آید. در این نوع آرایش، چون فاصله لوله ها از بستر به اندازه کافی دور است، لذا مقاومت زمین به نحو چشمگیری کاهش یافته و مقدار موثر آنرا مقاومت خود بستر تشکیل می دهد. ولی در بستر های نزدیک لوله های گاز در فاصله نزدیکتری نسبت به بستر زمین قرار دارند. در این نوع بستر ها بعلاوه شدت جریانی که از واحد سطح زمین در نزدیکی بستر خارج می شود به مراتب بیشتر از شدت جریان عبور کننده در فواصل دور تر از آندهاست، توزیع پتانسیل بر حسب فاصله دارای تغییرات زیادی است. چون تغییرات پتانسیل برای تامین حفاظت کاتدی بین $0/8$ تا 2 ولت محدود می شود، شعاع تحت پوشش این نوع بسترها بر حسب جریان تزریقی، مقاومت خاک و آرایش آندها بسیار متغیر خواهد بود. بخاطر این مشکلات، طرح مدونی برای تاسیس بسترهای نزدیک وجود ندارد و استفاده از روابط موجود که مختص محاسبه مقاومت بستر های دور است، در این حالت قابل اعمال نیست. ولی در این مقاله نشان داده می شود که با بدست آوردن روابط مورد نیاز جهت محاسبه توزیع پتانسیل و مقاومت زمین، می توان برای شرایط خاص مکانی و مشخصه شبکه گاز رسانی، از بستر های نزدیک استفاده و ابعاد زمین را بصورت بهینه انتخاب کرد.

۳- محاسبه پتانسیل ولتاژ برای بسترهای نزدیک



برای محاسبه توزیع پتانسیل الکتریکی بسترهای آندی، سیستم ساده شکل ۱ بعنوان مبنا در نظر گرفته می شود و بر اساس آن برای آرایش های پیچیده تر این مفهوم می تواند توسعه داده شود. در این شکل، آند بصورت عمودی در زمین قرار گرفته است. برای درک مفهومی مسئله و استخراج معادلات به شکل ساده تر، فرض می شود سطح بالای آند منطبق بر سطح زمین است. آند به طول L و قطر $2a$ دارای بار الکتریکی کل Q می باشد. این بار الکتریکی، جریان I را بطور یکنواخت از سطح آند به اطراف تزریق می کند. این جریان توسط یک منبع dc با ولتاژ Va تامین می شود. با استفاده از تئوری تصویر مجازی برای محاسبه میدان الکتریکی [2,3] تصویر آینه ای آند در سطح زمین در نظر گرفته می شود. جهت محاسبه میدان الکتریکی E ، المان کوچکی از آند به طول dy و چگالی بار $dq = Q/L$ انتخاب می شود میدان ناشی از این المان dE در نقطه p به فاصله r از این المان بصورت زیر است.

$$dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} dy \quad (1)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \text{که در این رابطه}$$

این میدان را می توان بر حسب مولفه های محور x و y بصورت زیر نشان داد.

$$dE_x = \cos \theta \cdot dE = \frac{x}{r} \cdot dE \quad (2)$$

$$dE_y = \sin \theta \cdot dE = \frac{y}{r} \cdot dE \quad (3)$$

چون y محور تقارن میدان می باشد، انتگرال مولفه dE_y در این محور صفر می شود و تنها مولفه dE_x روی سطح زمین باقی می ماند.

$$E_x = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0} \int_{-L}^{+L} \frac{xdy}{r^3} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0} \int_{-L}^{+L} \frac{xdy}{(\sqrt{x^2 + y^2})^3}$$

$$= \frac{dqL}{2\pi\epsilon_0 x \sqrt{x^2 + L^2}} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 x \sqrt{x^2 + L^2}} \quad (4)$$

چون این رابطه برای بارهای استاتیکی صادق است، جهت اعمال آن به آندهایی که جریان به محیط تزریق می کنند بایستی از رابطه میدان الکتریکی و چگالی جریان استفاده کرد.

$$\mathbf{E} = \rho \cdot \mathbf{J} \quad (5)$$

در این رابطه $\mathbf{J} = \mathbf{I}/A$ چگالی جریان و r مقاومت ویژه محیط می باشد. A سطحی است که جریان از آن خارج می شود. با استفاده از این رابطه و میدان ناشی از (4)، معادله ربطی بین میدانهای ناشی از بارهای استاتیکی و جریان الکتریکی بصورت زیر بدست آورد.

$$\frac{Q}{\epsilon_0} = I\rho \quad (6)$$

با داشتن میدان الکتریکی در نقطه x ، حال می توان پتانسیل این نقطه را حساب کرد. برای اینکار، نقطه مرجع (صفر) پتانسیل را در $x = \infty$ در نظر می گیریم.

$$\begin{aligned} V_x &= V_x - V_\infty = - \int_x^\infty E dx \\ &= - \frac{\rho I}{2\pi} \int_x^\infty \frac{dx}{x\sqrt{x^2 + L^2}} \end{aligned}$$

که حاصل این انتگرال برابر است با

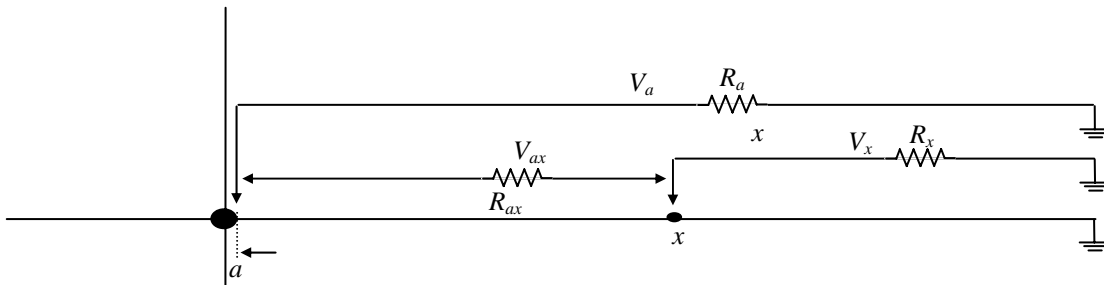
$$V_x = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \frac{L + \sqrt{x^2 + L^2}}{x} \quad (7)$$

این رابطه برای محاسبه ولتاژ نقطه ای به فاصله x از بستر آند نسبت به نقطه صفر ولتاژ (زمین دور) می باشد. با استفاده از این رابطه می توان ولتاژ بستر آندی را با قرار دادن $x = a$ بصورت زیر محاسبه کرد.

$$V_a = \frac{\rho I}{2\pi L} \ln \frac{L + \sqrt{a^2 + L^2}}{a} \quad (8)$$

این ولتاژی است که منبع تغذیه dc باید روی آن تنظیم شود تا جریان تزریقی I را تامین نماید. اما عملاً نقطه صفر پتانسیل (drain point) به لوله های گاز متصل می شود و کلیه ولتاژها بر مبنای این نقطه سنجیده می شود. بنا بر این، ولتاژ لوله گاز نسبت به سطح خاک زمین مجاور که توسط الکتروود مرجع سولفات مس (Half Cell) اندازه گیری می شود، در واقع ولتاژ بین لوله گاز (با فاصله x از بستر آندی) و نقطه صفر منبع تغذیه (نه زمین دور) می باشد. این ولتاژ برابر است با تفاضل ولتاژ بستر آندی (V_a) به ولتاژ نقطه x (V_x). شکل ۲ این پتانسیلها را نشان می دهد.

۴- مقاومت بستر آندی زمین نزدیک



در زمین های دور، بستر های آندی به اندازه کافی از لوله های گاز دور هستند و مقاومت بستر زمین همان مقاومت زمین دور (مقاومت R_a در شکل ۲) است. ولی اگر از بستر نزدیک بخواهیم استفاده کنیم، مقاومت آن نسبت به موقعیت لوله گاز تغییر خواهد کرد. در شکل ۲ این وضعیت نشان داده شده است. اگر بستر آندی در فاصله x از لوله قرار گرفته باشد، مقاومت بستر زمین تا لوله برابر R_{ax} خواهد شد که برابر است با تفاضل مقاومت زمین دور از مقاومت نقطه x .

$$R_{ax} = R_a - R_x \quad (9)$$

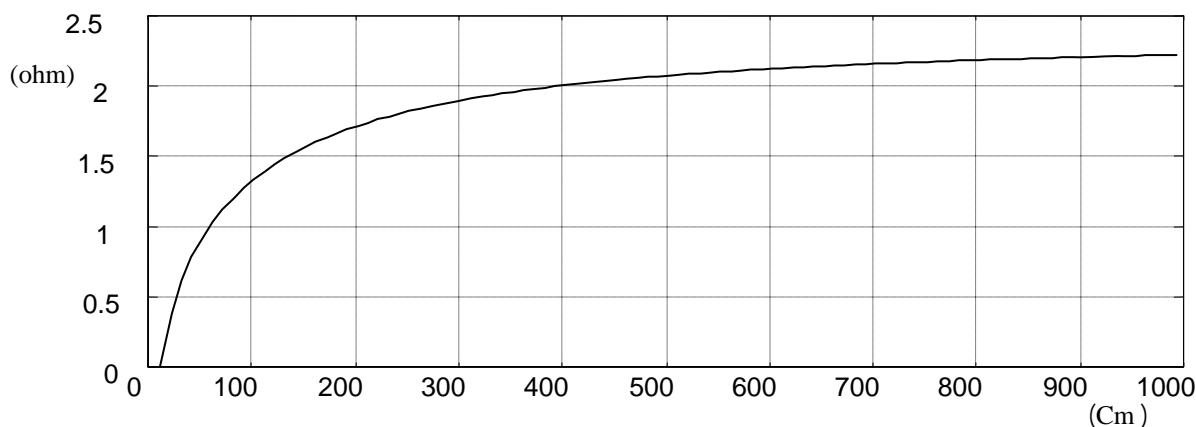
در این رابطه R_x مقاومت نقطه x نسبت به زمین دور است که از زیر بدست می آید.

$$R_x = \frac{V_x}{I} \quad (10)$$

با جایگزینی V_x از رابطه (۷) در این رابطه، R_x برحسب موقعیت x بدست می آید.

$$R_x = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L + \sqrt{x^2 + L^2}}{x} \quad (11)$$

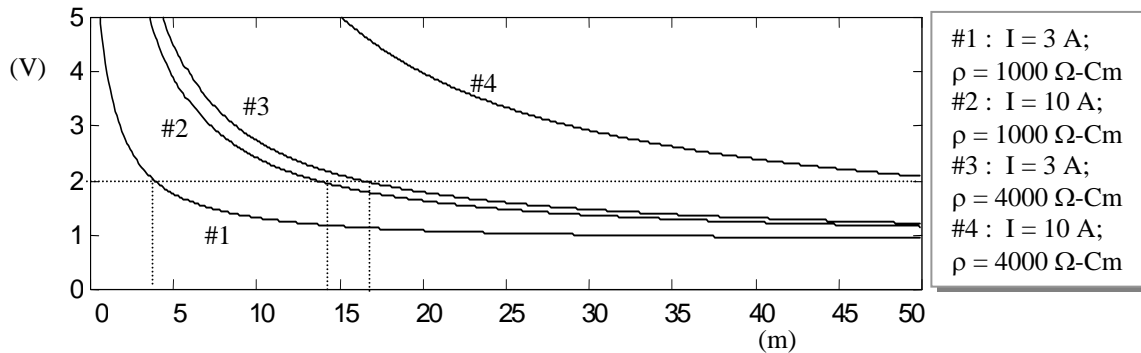
با بدست آوردن R_a توسط جایگزینی x با a در این رابطه، حال می توان R_{ax} را از رابطه (۹) محاسبه کرد. شکل ۳ مقاومت زمین اطراف یک آند به قطر ۱۰ اینچ (با Back fill) و طول ۸ فوت در زمینی به مقاومت مخصوص ۱۰۰۰ ohm-cm را نشان می دهد. مقدار نهایی این مقاومت $R_a = 2.3815 \Omega$ است. همانطور که از این شکل مشاهده می شود، پس از فاصله مشخصی (که بستگی به نوع آرایش بستر آند و مقاومت خاک دارد) تغییرات مقاومت زمین نسبت به تغییرات مکانی بسیار ناچیز می شود، که از این فاصله به بعد زمین دور گفته می شود. مقاومتی که برای محاسبه بستر های زمین دور بدست می آید همان مقاومت R_a است. ولی اگر از بستر آندی نزدیک استفاده کنیم، این مقاومت برای فاصله های نزدیک تحت تاثیر موقعیت قرار می گیرد.



در بخشهای گذشته تفاوت‌های بسترهای دور و نزدیک و نحوه محاسبه پتانسیل و مقاومت زمینها بیان شد. حال می توان عوامل موثر در طراحی بهینه بستر زمین از لحاظ کاهش ابعاد و فاصله بستر تا لوله گاز را بررسی و تعیین کرد. برای بررسی این موضوع، یک حالت ساده که از یک آند عمودی تشکیل شده است را در نظر می گیریم. مشخصات این آند مشابه مورد شکل ۳ به طول ۸ فوت و قطر ۱۰ اینچ می باشد. با استفاده از روابط (۷)، (۸) و (۹) توزیع پتانسیل قسمتهای مختلف لوله به خاک مجاور را میتوان بر حسب دوری از بستر زمین به دست آورد. شکل ۴ توزیع پتانسیل اطراف بستر را برای حالت‌های مختلف نشان می دهد. در منحنیهای #1 و #2 مقاومت زمین برابر ۱۰۰۰ اهم - سانتیمتر در نظر گرفته شده است. برای حالت #1 بستر زمین ۳ آمپر جریان و در حالت #2 بستر زمین ۱۰ آمپر جریان به لوله ها تزریق می کند. همین جریان ها برای مقاومت زمین ۴۰۰۰ اهم - سانتیمتر در منحنی های #3 و #4 نشان داده شده است. برای محاسبه ولتاژ منبع تغذیه در این حالتها فرض شده است که شبکه لوله گاز دارای شعاع پوششی ۱۰۰۰ متر می باشد. و این ولتاژ طوری محاسبه شده است که بر اساس مقاومت خاک و جریان عبوری، حداقل ولتاژ ۰/۸۵ برای لوله های انتهای شعاع پوشش بدست آید. بنا بر این تنها محدودیتی که در این منحنیها مشاهده می شود، تحقق معیار حد اکثر ولتاژ لوله به خاک ۲ ولت می باشد. این معیار حداقل فاصله بستر آندی به لوله را تعیین می کند.

همانطور که ملاحظه می شود، برای حالت های مختلف این حداقل فاصله متغیر است. مثلا اگر در یک ناحیه کوچک روستایی شبکه گازی داشته باشیم که جریان تزریقی آن ۳ آمپر و مقاومت خاک آن هم ۱۰۰۰ اهم - سانتیمتر باشد، می توان بستر آندی را در نزدیکی لوله در فاصله ۴ متری آن قرار داد. به این ترتیب حداکثر ولتاژ لوله به خاک در فاصله ۴ متری برابر ۲ ولت و حداقل ولتاژ لوله به خاک در انتهای شعاع تغذیه (۱۰۰۰ متری) برابر ۰/۸۵ ولت خواهد شد که معیار حفاظتی برقرار خواهد شد. اما اگر این شبکه روستایی در منطقه ای با مقاومت خاک ۴۰۰۰ اهم - سانتیمتر قرار گرفته باشد، با مراجعه به شکل ۴ مشاهده می شود که حداقل فاصله بستر تا لوله های گاز بایستی از ۱۷ متر کمتر نباشد. در حالی که اگر این بستر بخواهد شبکه بزرگتری را تغذیه کند (جریان ۱۰ آمپر)، حداقل فاصله بستر تا لوله های گاز از ۵۰ متر هم باید بیشتر شود. بنا بر این ملاحظه می شود که برای شرایط مختلف شبکه های گاز و مقاومت زمین میتوان بستر زمین را در فواصل متفاوتی قرار داد تا معیار حفاظتی را تامین نماید. این نکته قابل ذکر است که پارامتر شعاع تغذیه تحت پوشش تاثیر چندانی روی حداقل فاصله بستر آند تا لوله ندارد. شکل ۵ که توزیع پتانسیل را برای دو شعاع مختلف تغذیه (#1 برای ۲۰۰ و #2 برای ۳۰۰۰ متر) نشان میدهد، موبد این نکته می باشد. دو پارامتر دیگر در رابطه توزیع پتانسیل وجود دارد که باید اثر آنها بررسی شود یکی پارامتر طول آند L و دیگری قطر آند $2a$ می باشد. همچنانکه در [1] بیان شد در چنین شرایطی که لازم است تا ابعاد زمین کاهش یابد استفاده از آرایش سطحی عمودی در مقایسه با آرایش سطحی افقی موثرتر است. در آرایش سطحی عمودی طول آند L قابل تغییر نیست، در عوض اگر از آرایش چاهی استفاده کنیم می توان با قرار دادن متوالی آندها طول آنها را افزایش داد و پارامتر طول را بعنوان یک پارامتر موثر در نظر گرفت. چون در مناطق شمالی کشور الترناتیو بستر چاهی مقرون به صرفه نیست، لذا از آن صرف نظر می شود.

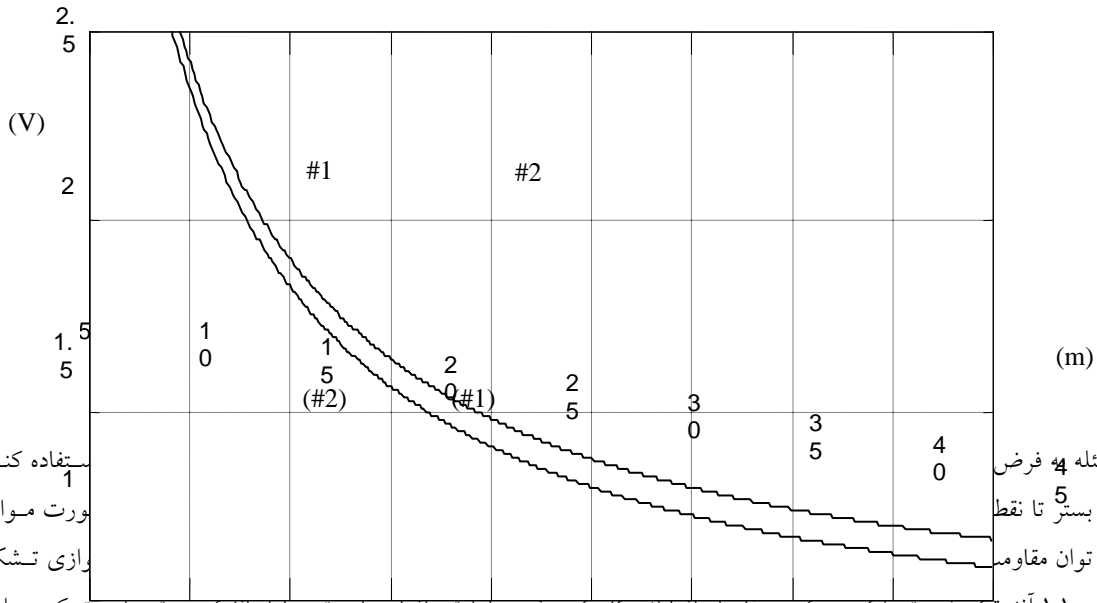
در این مطالعه برای درک مفهومی مسئله و روابط، فقط یک آند در نظر گرفته شد و در نتیجه مقاومت بستر زمین نسبتاً زیاد بدست می آید. ولی با موازی بستن آند ها به یکدیگر می توان مقاومت بستر را به مقدار دلخواه کاهش داد. فاصله قرار گرفتن آندها در این گونه بسترها بستگی به مقدار زمین در دسترس دارد و اگر زمین محدودی داشته باشیم، باید از آرایشهای دیگری استفاده کنیم که در قسمتهای بعد به آن اشاره خواهد شد.



۶- چگونگی طراحی بستر زمین بهینه

بر اساس مطالب ذکر شده در قسمتهای قبل، حال می توان مراحل طراحی بستر آندی نزدیک را در مناطق شهری که تهیه زمین در ابعاد طویل امکانپذیر نیست به شرح زیر بیان کرد. ابتدا زمین ارزان قیمتی را در داخل شبکه انتخاب می کنیم. چون در مناطق شهری، لوله های گاز در همه کوچه ها قابل دسترس است، یافتن نقطه تزریق (drain point) آسان است. بر اساس موقعیت این زمین و شبکه لوله تحت پوشش این ایستگاه، دورترین نقطه تحت پوشش را اندازه گرفته و بعنوان شعاع تحت پوشش (Xf) انتخاب می کنیم. در مرحله بعدی حداکثر جریان لازم (I) برای حفاظت لوله ها بر اساس درصدی از سطح کل لوله ها محاسبه می شود. طبق معیار حفاظت کاتدی، ولتاژ بستر زمین باید طوری تعیین شود تا با عبور این جریان، ولتاژ انتهای شعاع تغذیه از ۸۵٪ ولت کمتر نشود. بنا براین با انتخاب ولتاژ انتهای شعاع تغذیه $V_{Xf} = 0.85 V$ و جریان مورد نظر، مقاومت بستر تا نقطه Xf بدست می آید (RXf).

$$R_{Xf} = \frac{V_{Xf}}{I}$$



استفاده کنیم،
پورت موازی
رازی تشکیل

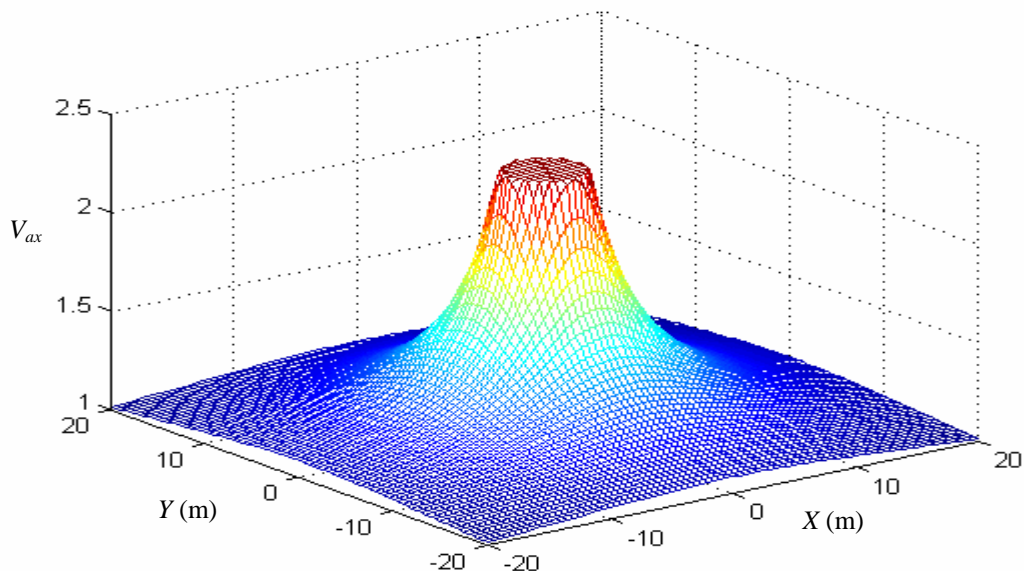
اگر در این مسئله 4 فرض
مقاومت بستر تا نقطه 5
قرار بگیرد می توان مقاومت

شده باشد برابر 1:10 آند نخی بیست بلکه بستگی به فاصله آنها از یکدیگر و نحوه آرایش آنها، مقاومت معادل اندکی بیشتر است که روابط دقیق محاسبه مقاومت معادل در آرایشهای مختلف در مقاله دیگری ارائه خواهد شد. ولی برای سادگی، این موضوع را در اینجا ندیده می گیریم). با داشتن این مقاومت و جریان لازم و حداقل ولتاژ انتهای شعاع تغذیه، ولتاژ اعمالی به بستر آند به صورت زیر محاسبه می شود.

$$V_a = 0.85 + IR_{xf}$$

اکنون می توان نحوه توزیع پتانسیل، بر حسب دوری از بستر آندی را توسط رابطه زیر بدست آورد.

$$V_{ax} = V_a - IR_{ax}$$



شکل ۶- منحنی تضعیف پتانسیل مورد عملی فوق را نشان می دهد. لازم به ذکر است که در این مورد، آندها در روی محیط یک دایره قرار گرفته اند و فاصله آندها در روی این محیط از یکدیگر ۱/۵ متر در نظر گرفته شده است. بنابر این بستر زمین بصورت دایره ای با محیط ۱۵ متر با شعاع ۲/۴ متر شکل گرفته شده است. در این شکل مرکز بستر زمین در مختصات (0, 0) قرار گرفته و X و Y مختصات نقطه مورد نظر از مبدا می باشد. محور عمودی در این شکل ولتاژ لوله به خاک را در نقطه (X,Y) نشان می دهد.

۶- اجرای یک طرح نمونه

برای بررسی نتایج این مطالعات، منطقه روستای اسرم ساری بعنوان منطقه مورد آزمایش در نظر گرفته شد. در این منطقه لوله های اصلی و فرعی دارای قطرهای ۸، ۶، ۴ و ۲ اینچ می باشند. خاک این منطقه دارای مقاومت مخصوص ۱۸۰۰ اهم - سانتیمتر اندازه گیری شد. بر اساس حفاظت ۵ درصدی، جریان مورد نیاز برای حفاظت کاتدی ۵/۳۴ آمپر بدست آمد که برای طراحی، جریان ۱۲ آمپر انتخاب گردید. با استفاده از این اطلاعات بستر زمین سطحی عمودی موازی به صورت شکل ۷ با ده آند طراحی گردید. برای صرفه جویی در خرید زمین، این طرح در داخل پست کاهش فشار واقع ابتدای شبکه اجرا شد. لازم به ذکر است که در طرح اولیه انجام حفاظت و تاسیس بستر زمین بر اساس استاندارد، بستر زمینی به ابعاد ۱/۵ در ۷۵ متر پیشنهاد شده بود. پس از ایجاد بستر مورد نظر، اندازه گیری های متعددی صورت گرفت که ولتاژهای اندازه گیری شده کلیه نقاط در حد مطلوب قرائت شد. چون در حالت عادی پوششهای لوله ها هنوز نو بودند و جریان چندانی (در حد میلی آمپر) تزریق نمی شد، تصمیم بر این شد که شرایط حفاظت در حالت فرسودگی پوشش محافظ و احتمالاً از بین رفتن پوشش، شبیه سازی شود. برای شبیه سازی این شرایط، ۱۸ عدد پلیت ۲ در ۱ متر و ۲۷ عدد لوله ۲۰ اینچ به طول ۱/۲ متر در نقاط مختلف این منطقه در عمق خاک دفن شد. کل سطح تماس آنها با خاک برابر ۱۷۴ متر مربع می باشد که حدود ۷۰ درصد سطح محاسبه شده برای حفاظت نهایی (۲۴۳ متر مربع) را تشکیل می دهد. در این شرایط برای حصول اطمینان بیشتر تغییری در تعداد آندها داده شد و تعداد آندهای حفاظتی از ۱۰ عدد به ۴ عدد کاهش داده شد. جدول ۱ ولتاژ تست پوینت های مختلف را با ۱۰ و ۴ آند پس از بارندگی شدید سه روزه (که مقاومت خاک کاهش و خوردگی خاک را افزایش می دهد) نشان می دهد. لازم به ذکر است که تست پوینت های ۱۶ و ۱۱ از لحاظ مکانی دورترین و تست پوینت ۱ نزدیکترین نقطه نسبت به بستر زمین می باشد.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله عوامل موثر در بهینه سازی تاسیس بستر زمین مورد بررسی قرار گرفت. هدف از بهینه سازی در این حالت کاهش ابعاد زمین بستر آندی تا حد امکان می باشد. دو عامل محدود کننده این مسئله یکی فاصله بستر آندی تا نقطه تزریق (drain point) و دیگری نوع آرایش خود بستر می باشد. بیان شد که برای بهینه سازی باید از بستر های نزدیک استفاده کرد. برای اینکار روابط توزیع پتانسیل و مقاومت زمین نزدیک بدست آمد. برای تعیین فاصله بستر تا نقطه تزریق شرایط محلی از قبیل نوع شبکه و مقدار جریان مورد نیاز و مقاومت خاک کاملاً دخیل هستند و بر اساس شرایط هر منطقه می توان این پارامتر را مشخص کرد. عامل محدود کننده دیگر، نحوه آرایش بستر آندی بود که دو نوع آرایش دایره ای و سطحی عمودی موازی جهت کاهش ابعاد بستر معرفی شد. در خاتمه جهت تایید مطالعات انجام شده یک مورد عملی به اجرا درآمد که نتایج اصولی تئوری طرح را تایید کرد. بعلت ساده سازی، در این مطالعه مقاومت خاک بصورت یکنواخت و ثابت در نظر گرفته شد که عملاً چنین نیست بلکه مقاومت خاک در قسمت های مختلف دارای تغییرات می باشد. لذا جهت مطالعات دقیقتر بایستی مقاومت سطحی و لایه ای متفاوت در مطالعات بعدی در نظر گرفته شود.

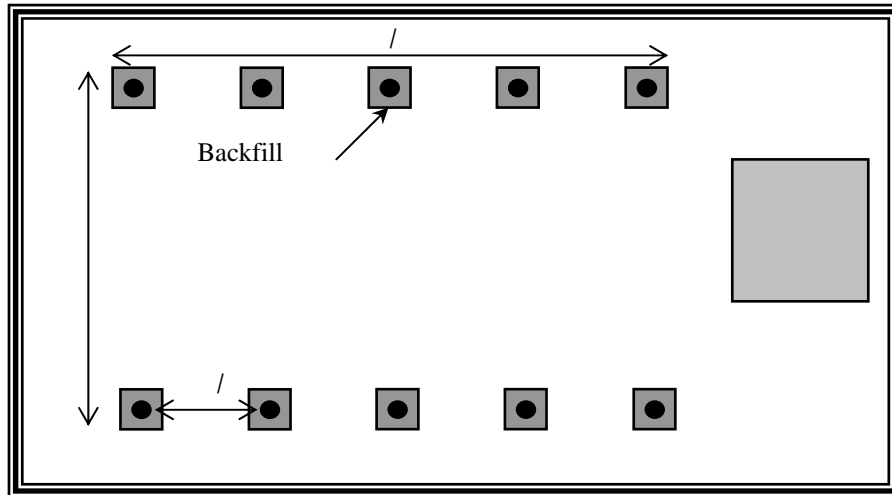
تشکر و قدر دانی: در خاتمه از شرکت ملی گاز ایران - منطقه ۹ مازندران بخاطر حمایت از اجرای این مطالعه تقدیر بعمل می آید.

جدول ۱ نتایج اندازه گیری شده ولتاژ تست پوینت های مختلف

تست پوینت	TP16	TP15	TP12	TP11	TP10	TP6	TP5	TP1	IJ
ولتاژ (۱۰ آند)	۱/۵۵	۱/۵۳	۱/۵۷	۱/۵۵	۱/۵۴	۱/۵۵	۱/۵۷	۱/۶۵	۱/۵۷
ولتاژ (۴ آند)	۱/۱۸	۱/۲۳	۱/۲۹	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۸	۱/۶۰	۱/۵۰

مراجع

[1] نبوی نیاکي س.ع، مقدسی م. و تسلیمیان م، " بررسی امکان تغییر آرایش آندهای حفاظت کاتدی لوله های شبکه گاز در مناطق شهری " ششمین کنگره ملی خوردگی، ص ۴۹۵-۴۸۱، خرداد ۱۳۷۸



[2] ELECTROMAGNETICS, K. R. Carver, J. D. Kraus, McGRAW-HILL, 1995

[3] M. D. Tseng, H.C. Shih," The Circuit Resistance and Potential Decay Along a Long-Distance Pipe Line : Cathodic Protection From a Deep Well Ground Bed System:, Corrosion Prevention & Control, pp 45-47, April 1994