آنالیز، مدل‌سازی و بهینه‌سازی سیستم زمین مخازن مرکز انتقال نفت و تأسیسات

ابراهیم حیدری*[۱]، شاهرخ شجاعیان[۲]

[۱] مهندس ارشد نگهداری و تعمیرات برق، شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران، منطقه اصفهان

[۲] استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی‌شهر، اصفهان، ایران

نوع مقاله: **کاربردی**

دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹

چکیده

از گذشته تابه‌حال ارتینگ و حفاظت مخازن ذخیره نفت و گاز همواره یکی از چالش‌برانگیزترین موضوعات در حیطه مهندسی برق بوده است. با توجه به وسعت بالای مخازن و محیط اطراف آن و امکان ایجاد ولتاژهای گامی و تماسی بالا در اثر برخورد و عبور جریان صاعقه و ایجاد خطر برای تجهیزات و افراد پیرامون و همچنین موارد زیاد آتش‌سوزی که در اثر صاعقه و بارهای الکتریکی ساکن در مخازن نفتی اتفاق افتاده، نیاز به مطالعه و تحقیق در خصوص سیستم اتصال زمین مخازن ذخیره مواد نفتی جهت جلوگیری از آتش‌سوزی و بالا بردن ایمنی افراد لازم است. در این مقاله ابتدا طرح موجود نمونه‌ای از مخازن نفتی در مرکز انتقال نقت و تأسیسات شهید بهشتی شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت منطقه اصفهان مورد بحث و نقد قرار گرفته و با اندازه‌گیری میدانی مقاومت ویژه خاک و سایر پارامترهای موردنیاز، سیستم زمین آن مدل‌سازی و شبیه‌سازی کامپیوتری آن در محیط نرم‌افزار CYMGRD صورت گرفت و مقادیر ولتاژهای گام، تماسی، مقدار مقاومت سیستم زمین به‌دست آمده و سپس با استاندارد و دستورالعمل‌ها مقایسه و معایب آن بررسی و طرح بهینه با توجه به شرایط محیط و رعایت ملاحظات انتخاب و توصیه شده است. در ادامه دستورالعمل‌های حفاظت در مقابل صاعقه و الکتریسیته ساکن در استانداردهای مختلف نیز مورد مطالعه قرار گرفته و روش‌های مختلف مقابله با خطرات آتش‌سوزی مخازن بررسی و با شرایط موجود مخازن مقایسه و توصیه‌هایی جهت بهینه‌سازی هم‌بندی و هم‌پتانسیل سازی اجزای مختلف مخازن و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها جهت کاهش احتمال آتش‌سوزی و حریق مخازن ذخیره نفتی صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: حفاظت مخازن نفتی در برابر صاعقه و الکتریسیته ساکن، سیستم زمین، ولتاژهای گامی و تماسی، هم‌بندی سقف شناور و بدنه مخزن

* ebrahim.heidari@iaukhsh.ac.ir

مقدمه

سیستم‌های زمین و صاعقه‌گیر در مخازن روزمینی، به علت اینکه این مخازن حاوی مواد هیدروکربنی و شیمیایی قابل اشتعال و انفجار هستند، باید با دقت ویژه‌ای طراحی و اجرا شود. در این زمینه، عنایت به استانداردهای NFPA780 و API RP 2003 لازم است ولی کافی نیست؛ زیرا برخی نکات محلی و چالش‌های بومی در مملکت وجود دارند که باید به‌طور اختصاصی مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند. مقالهٔ حاضر به یکی از این مطالعات میدانی می‌پردازد.

چگونگی حفاظت مخازن در برابر صاعقه و الکتریسیته ساکن و متفاوت بودن و متحدالشکل نبودن استانداردهای مختلف، نحوه هم‌پتانسیل‌سازی اجزای مخزن، یکی از چالش‌های بزرگ صنعت نفت کشور است. در اکثر سایت‌های نفتی مخازن جهت ذخیره مواد نفتی وجود دارد و اقدامات پیشگیرانه و نحوه بهره‌برداری از مخازن در پیشگیری از حریق و حفاظت مخازن می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

در خصوص شبیه‌سازی سیستم زمین توسط نرم‌افزار می‌توان به مقالاتی ازجمله آنالیز سیستم زمین توربین بادی [۱۵] اشاره کرد و درخصوص حفاظت مخازن در برابر صاعقه و الکتریسیته ساکن نیز مؤسسه نفت آمریکا و موسسه نفت انگلیس مطالعاتی انجام داده و طی استانداردهایی که مورد استفاده در این تحقیق نیز شده را منتشر نموده‌اند و تحقیق در این موارد ادامه داشته و استانداردها به‌روز می‌شوند [۵،۶،۷].

در این تحقیق سعی شده است که به سیستم زمین و نحوه حفاظت انواع مخازن در برابر خطرات برخورد صاعقه و الکتریسیته ساکن و نحوه هم‌بندی و هم‌پتانسیل‌سازی سقف و بدنه و توصیه و پیشنهاد استانداردهای مختلف پرداخته شده است تا بتوان به نکات کلیدی و کاربردی آن پی برد و دستورالعمل مشترکی جهت حفاظت مخازن تدوین نمود.

همچنین سیستم زمین اجرا شده یکی از مراکز انتقال نفت مدل‌سازی و شبیه‌سازی گردیده و راهکارهای کاهش ولتاژ تماسی و گامی و توصیه‌های قابل اجرا جهت بهینه‌سازی سیستم زمین مخازن نفتی نیز پیشنهاد گردیده است و نهایتاً اهمیت هم‌بندی اجزای مختلف و راهکارهای ساده و دور از ذهن که سبب کاهش بسیار زیاد خطرات آتش‌سوزی و حریق می‌شود بیان شده است.

اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک محوطه مخازن نفت مرکز انتقال نفت شهید بهشتی اصفهان

در ابتدا برای مدل‌سازی سیستم زمین و محاسبه پارامترهای آن ازجمله مقاومت زمین، پتانسیل‌های گام و تماس و...، نیاز به داشتن مقاومت ویژه خاک است.

بهترین و مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک مطابق با استاندارد IEEE Std 81[1] روش ۴ نقطه‌ای ونر (Wenner)[2] است. در این روش ۴ عدد میل کوتاه (حداکثر ۵۰ cm) مطابق شکل با فاصله یکسان در زمین کوبیده می‌شود.

در روش ونر بین دو میل اول و چهارم جریان AC ارسال و بین میل‌های دوم و سوم ولتاژی اندازه‌گیری می‌شود. مقاومت ویژه خاک از رابطهٔ ۱ به‌دست می‌آید [۱،۳،۱۲]. آزمون ونر را برای رسیدن به یک میانگین کم‌خطا، باید در

1- The Institute of Electrical and Electronics Engineers
2- Soil resistivity – Wenner method [IEEE Std 81, BS 7430]

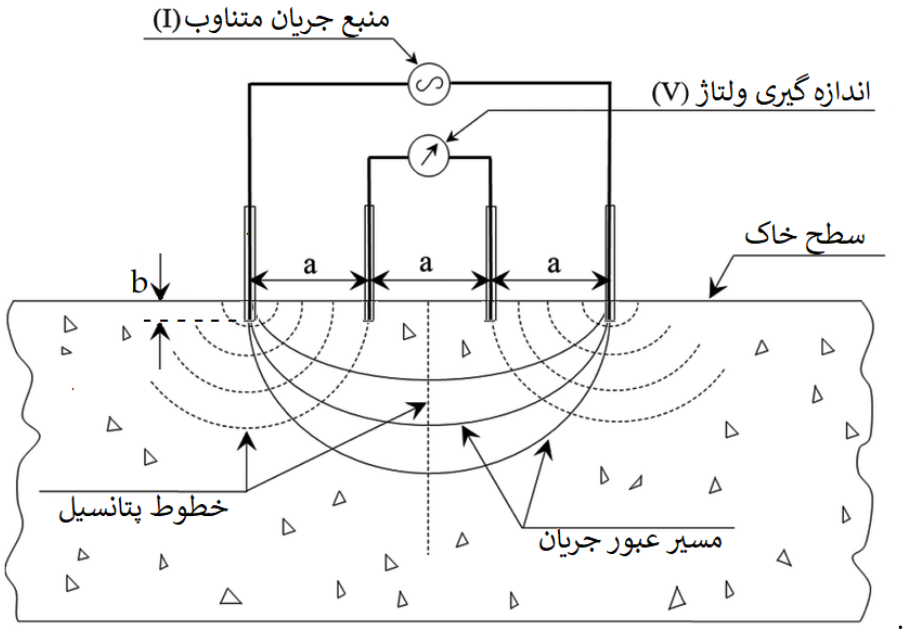
بخش‌های مختلف سایت، در جهات گوناگون، تکرار کرده و پس از کنار گذاشتن داده‌های پرت، بین داده‌های موجه، میانگین‌گیری کرد (شکل ۲).

$$\rho = \frac{4\pi a}{1+\frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}}-\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}}\left(\frac{V}{I}\right) \qquad (۱)$$

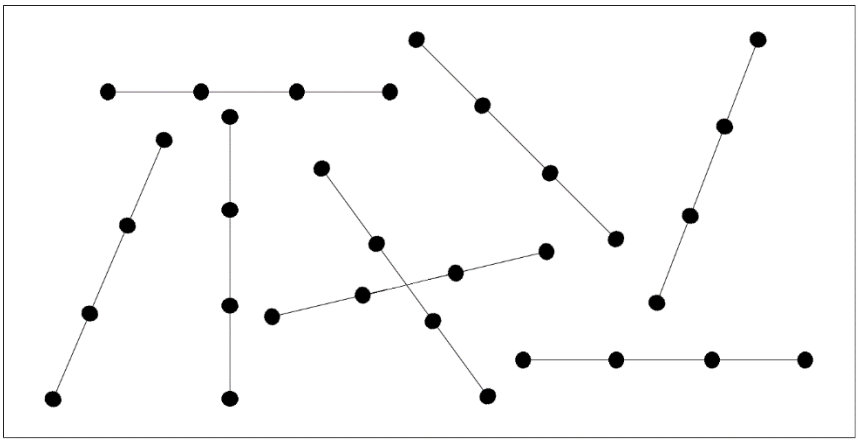
در این رابطه:

V: ولتاژ سنجیده شده (ولت) I: جریان تزریق شده به زمین (آمپر).

a: فاصله یکسان بین میل‌ها (متر) b: عمق میل‌ها در خاک (متر).



شکل ۱- اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک به روش ونر [۳]



شکل .Error! No text of specified style in document- تکرار آزمون ونر در جهات مختلف در یک سایت برای یافتن یک میانگین کم خطا [۱]

اغلب دستگاه‌های ارت‌سنج موجود، از روش ونر پشتیبانی می‌کنند. اگرچه در صورت ضرورت می‌توان از روش‌های دیگری مانند اشلومبرگر[3] استفاده کرد [۳]. مهم‌ترین مزیت روش ونر این است که با افزایش فاصله بین میله‌ها در سطح زمین می‌توان مقاومت ویژه لایه‌های مختلف خاک را اندازه‌گیری کرد [۱]. لذا در عمل، برای آن‌که شبیه‌سازی دقت کافی داشته باشد، اندازه‌گیری‌ها دست‌کم در سه عمق مختلف، تکرار می‌شوند.

برای مطالعهٔ موردی مطرح در این مقاله، اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک در مرکز انتقال نفت در چند نقطه و در راستاهای مختلف مطابق با استاندارد IEEE Std 81[4] روش ۴ نقطه‌ای ونر[5] و با توجه به شرایط زیر صورت گرفت [۱۲]:

- با توجه دستگاه ارت سنج موجود و اطلاعات ورودی نرم‌افزار CYMGRD بر پایه روش ونر، مقادیر مقاومت ویژه خاک بر طبق استاندارد IEEE Std 81, BS 7430[6] و به روش ونر اندازه‌گیری شد.
- اندازه‌گیری با دستگاه ارت‌سنج METREL MI 3123 انجام شد. از قابلیت‌های این دستگاه محاسبه مستقیم مقاومت ویژه خاک است. بدین‌صورت که با وارد کردن عدد فاصله الکترودها در منوی دستگاه و اعمال جریان آزمون، مقدار مقاومت ویژه عمق خاک را متناسب با فاصله الکترودها می‌توان قرائت کرد.
- شرایط جوی آفتابی و از زمان بارندگی حدود چهار هفته می‌گذشت و زمین خشک بود.
- در بعضی از نقاط جهت از بین بردن هشدار مقاومت تماسی بالا و بهتر شدن تماس الکترود با زمین از ریختن مقداری آب در نزدیکی دستگاه استفاده شد.
- جهت آنالیز خاک در شبیه‌سازی اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک در چهار لایه به عمق ۰/۷، ۱/۵، ۳ و ۶ متر صورت گرفت.

جدول ۱- مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت ویژه خاک سایت مرکز برحسب اهم‌متر

شماره آزمون		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	میانگین
عمق مورد نظر (a)	۰/۷	۲۸۱	۲۰۴	۱۸۶	۱۹۸	۲۰۱	۲۵۰	۳۱۰	۲۲۰	۲۱۲	۲۱۵	۲۲۷/۷
	۱/۵	۲۹۰	۳۸۶	۱۸۷	۲۱۱	۲۱۵	۲۴۵	۲۷۳	۲۳۲	۱۸۷	۱۹۶	۲۴۲/۲
	۳	۲۲۱	۲۳۵	۱۷۴	۱۷۸	۱۶۰	۱۷۶	۲۰۶	۲۱۲	۱۸۵	۱۸۳	۱۹۳
	۶	۱۸۲	۱۹۹	۱۳۵	۱۳۴	۱۰۶	۱۲۵	۱۷۳	۲۳۰	۱۳۵	۱۵۵	۱۵۷/۴

آنالیز خاک در نرم‌افزار CYM GRD

مقادیر مقاومت ویژه خاک طبق جدول بالا به نرم‌افزار داده شده و شبیه‌سازی بر اساس مدل دولایهٔ استاندارد IEEE 80 انجام با پیش‌فرض‌های مندرج در جدول ۲ انجام گردید و نتایج نشان داده شده، به‌دست آمد [۲،۴].

جدول ۲- پیش‌فرض‌ها و نتایج شبیه‌سازی‌ها

Lower Layer Resistivity	130.78 m	Soil Model	Two-Layer
Reduction Factor Cs	1	Safety Model	IEEE Std 80-2000

3- Schlumberger method
4- The Institute of Electrical and Electronics Engineers
5- Soil resistivity – Wenner method [IEEE Std 81, BS 7430]
6- British Standards

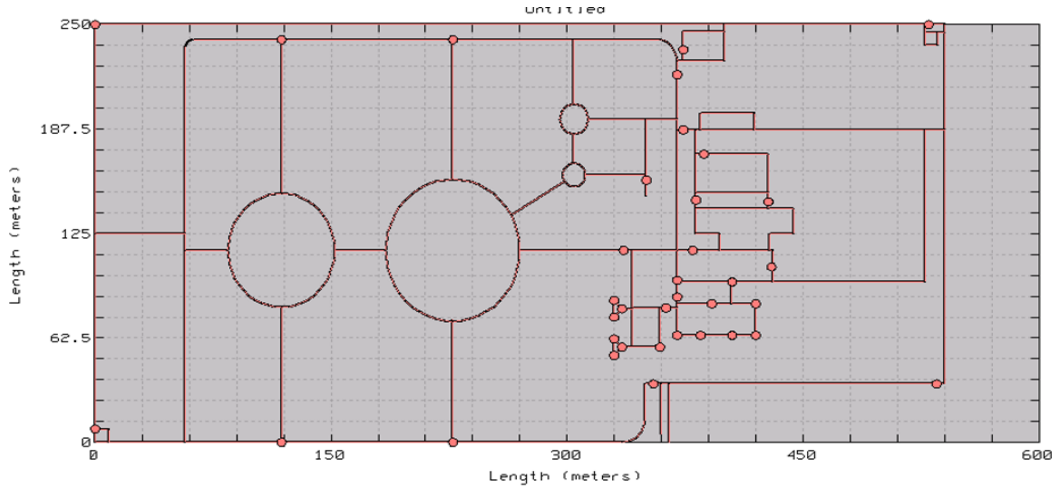
Maximum Permissible Touch	673.54 V	Body Weight	70 Kg
Maximum Permissible Step	1204.73 V	Surface Layer Thickness	0 m
RMS Error	3.8 %	Upper Layer Thickness	2.23 m
		Upper Layer Resistivity	237.76 ohm.m

تئوری ارائه طرح سیستم زمین مخازن نفت پایانه نفتی شهید بهشتی اصفهان

در سیستم زمین مرکز شهید بهشتی جهت زمین کردن مخازن نفت یک حلقه به فاصله ۱۰ متری مخزن و در اطراف آن ایجاد گردیده و تمامی این حلقه‌ها به یکدیگر متصل و هم‌بند شده‌اند. به دلیل این پیوستگی، تمام سیستم زمین مرکز باید به‌طور یکجا در مدل بررسی شود.

اجزای سیستم زمین مرکز از الکترودهای افقی و عمودی تشکیل شده است که جهت الکترودهای افقی (سطحی) از سیم سایز نمره ۷۰ میلی‌متر مربع استفاده گردیده و در عمق ۸۰ سانتی‌متری از زمین دفن شده است و جهت الکترودهای عمودی از میله‌ای مسی به قطر حدود ۱۵ میلی‌متر و طول ۲ متر استفاده گردیده است و در بعضی از نقاط به‌جای میله مسی از لوله گالوانیزه به قطر ۲ اینچ استفاده شده است.

بعد از انتخاب الکترودهای زمین و جنس آن‌ها با توجه به نقشه سیستم زمین مرکز انواع الکترودهای اجرا شده در محل‌های مختلف محوطه، مدل‌سازی شد و تمامی آن‌ها اعم از الکترودهای سطحی و عمقی در مدل در نظر گرفته شد و مدل نهایی به‌صورت شکل ۳ به‌دست آمد.



شکل ۳- مدل نهایی سیستم زمین مرکز انتقال نفت شهید بهشتی اصفهان

آنالیز شبکه سیستم زمین (Grid Analysis)

بعد از مدل‌سازی سیستم زمین مرکز در نرم‌افزار، آنالیز سیستم زمین مطابق با استاندارد IEEE 80 در نرم‌افزار صورت گرفت و نتایجی به شرح جدول ۳ به‌دست آمد [۲،۴].

جدول ۳- نتایج حاصل از شبیه‌سازی در CymGRD

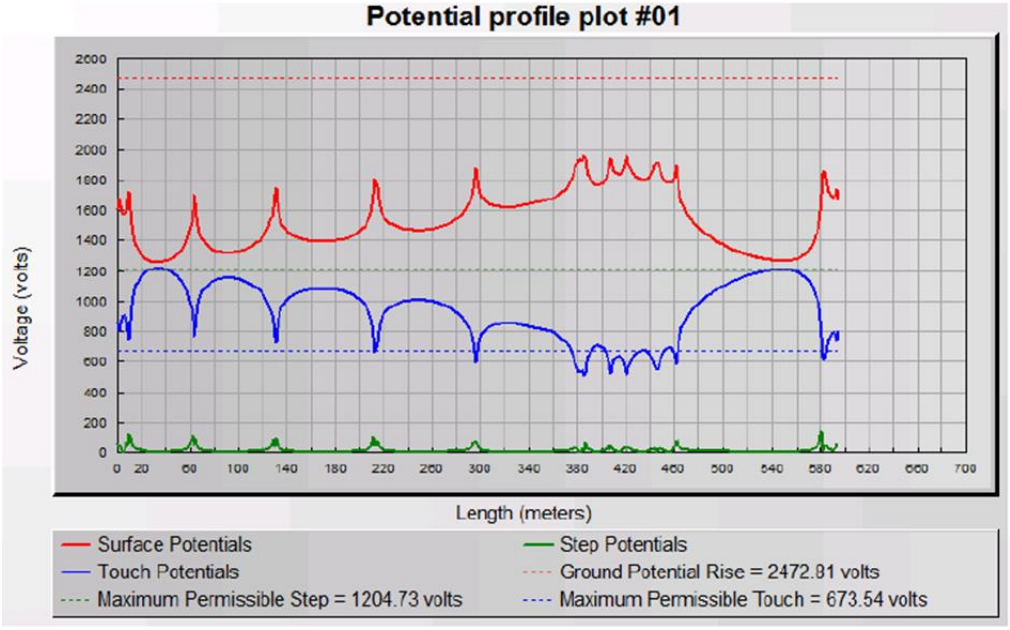
نتایج		فرضیات	
Ground Potential Rise	2472.81 V	Nominal Frequency	50 Hz
Calculated Ground Resistance	0.215421 ohm	LG Fault Current	10 kA
Equivalent Impedance	0.215421 ohm	Remote Contribution	100%
Total Length Of Primary Conductors	5064.97 m	Upper Layer Thickness	2.23 m

Total Length Of Primary Rods	72 m	Upper Layer Resistivity	237.76 ohm.m
Total Number Of Elements	486	Lower Layer Resistivity	130.87 ohm.m

با توجه به نتایج به‌دست آمده مقاومت سیستم زمین مقدار پایینی در حدود ۰/۲۱۵ اهم است. توصیه استاندارد درخصوص مقدار مقاومت سیستم زمین جهت مخازن زیر ۱۰ اهم بوده که سیستم زمین مخزن مرکز با توجه به هم‌بندی و اتصال تمامی سیستم‌های زمین مرکز عدد مقاومت زمین به‌دست آمده مطلوب است [۹]. درعین‌حال با توجه به توصیه استاندارد IEC 61000-5-2 در خصوص اتصال و هم‌بندی جهت هم‌پتانسیل شدن سیستم‌های زمین مختلف به یکدیگر، هم‌بندی و هم‌پتانسیل شدن سیستم‌های زمین مرکز و یکپارچه شدن سیستم زمین آن، مورد تأیید است [۸].

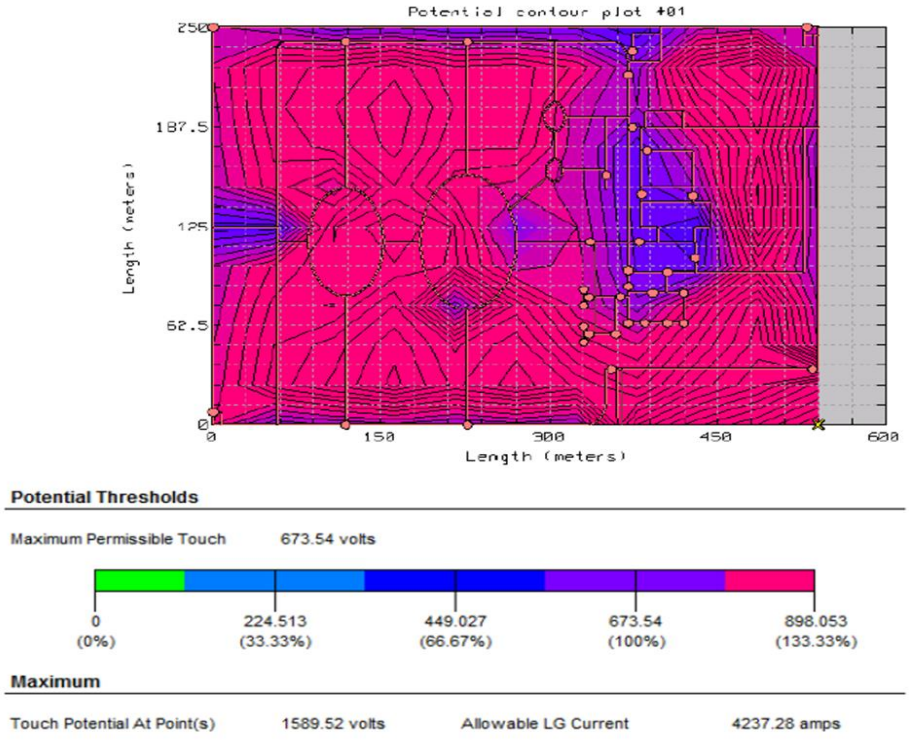
آنالیز سیستم زمین مخازن موجود از لحاظ ولتاژهای تماسی و گامی و توزیع پتانسیل

بعد از آنالیز شبکه زمین مرکز ولتاژهای گامی و تماسی محاسبه و بررسی گردید و پروفایل ولتاژهای تماسی و گامی به‌صورت شکل ۴ و GPR=2472 V و منحنی و توزیع پتانسیل سیستم زمین با تزریق جریان صاعقه ۱۰ کیلو آمپر به‌صورت شکل ۵ به‌دست آمد.



شکل ۴- ولتاژهای گامی و تماسی

در شبیه‌سازی سیستم زمین و محاسبه ولتاژهای گامی و مقادیر مجاز و مقایسه آن‌ها، با توجه به پروفایل ولتاژهای گامی و تماسی به‌دلیل پایین بودن مقدار ولتاژ گامی از مقدار مجاز در تمامی نقاط مشکلی در خصوص مقادیر ولتاژ گامی نداریم. ولی در رابطه با ولتاژ تماسی، زمانی که جریان تزریقی به سیستم از مقدار ۴/۲ کیلو آمپر بیش‌تر می‌شود در نقاطی مقدار ولتاژ تماسی بیش‌تر از مقدار مجاز می‌شود که باید تمهیداتی در جهت محدود کردن مقدار ولتاژ تماسی در نظر گرفت.



شکل ۵- منحنی و توزیع پتانسیل سیستم زمین با تزریق جریان صاعقه ۱۰ کیلو آمپر

تمهیداتی جهت اصلاح ولتاژهای تماسی اطراف مخزن

با توجه به منحنی ولتاژ تماسی و بالاتر از حد مجاز بودن ولتاژ تماسی در بعضی از نقاط باید تمهیداتی در نظر گرفت تا ولتاژ تماس در نقاطی که اجرام قابل‌لمس وجود دارد پایین‌تر از حد مجاز قرار گیرد. نقاطی که اجرام قابل‌لمس وجود ندارد اگر ولتاژ تماس بالاتر از حد مجاز هم بود نیازی به اصلاح ندارد.

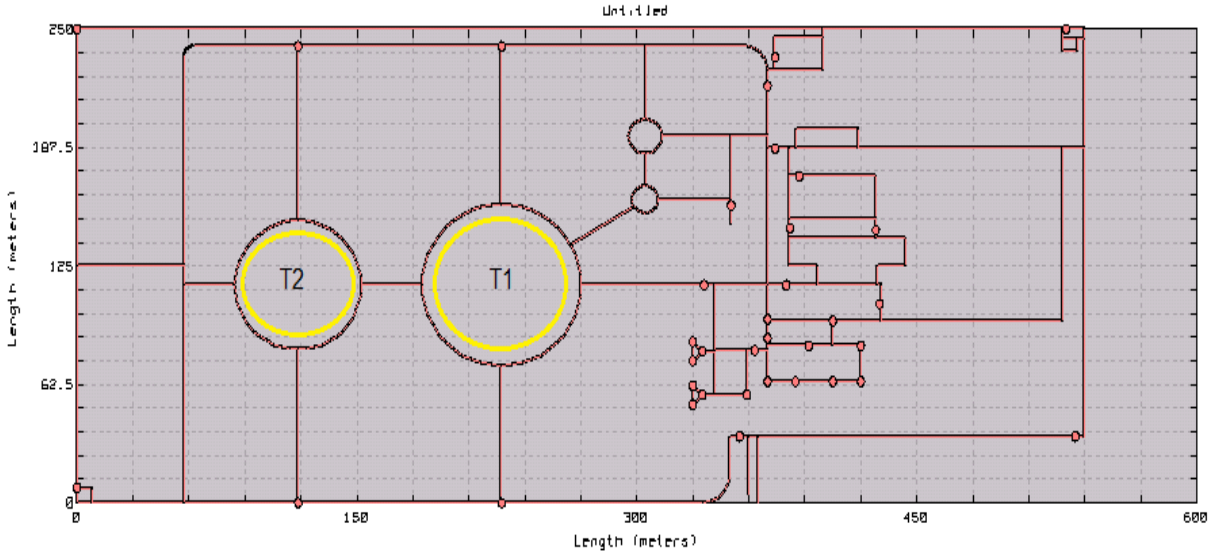
با توجه به شکل ۴ برای اینکه مقدار ولتاژ تماسی پایین‌تر از حد بیشینه حد مجاز قرار گیرد دو راه‌کار را می‌توان پیشنهاد داد.

الف) کاهش ولتاژ تماسی به زیر حد مجاز و به‌عبارت‌دیگر پایین آوردن منحنی آبی‌رنگ ولتاژ تماسی به زیر حد مجاز (نقطه‌چین آبی‌رنگ) در نقاطی که احتمال تماس افراد با بدنه اجرام دستگاه‌ها وجود دارد.

ب) بالا بردن بیشینه مقدار مجاز ولتاژ تماسی یا به‌عبارت ساده‌تر بالا بردن خط نقطه‌چین آبی‌رنگ (بیشینه ولتاژ تماسی) در نقاطی که احتمال تماس افراد با بدنه اجرام دستگاه‌ها وجود دارد.

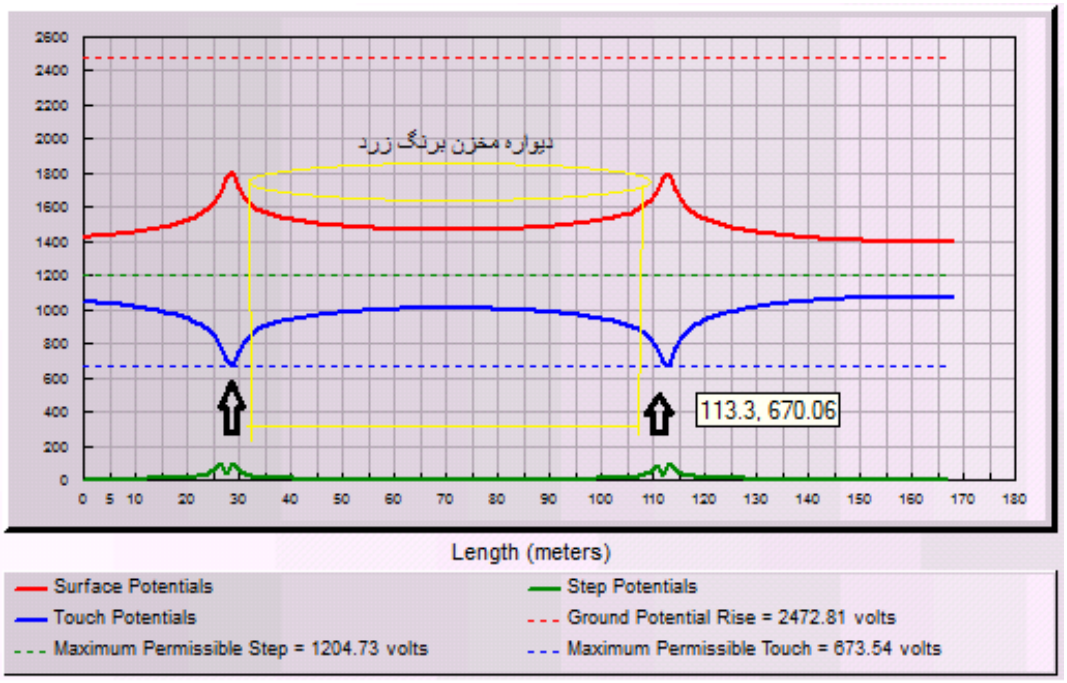
استفاده از حلقه‌های هم‌پتانسیل کننده جهت کاهش اختلاف ولتاژ تماسی

جهت کاهش ولتاژ تماسی می‌توان از حلقه‌های هم‌پتانسیل کننده استفاده نمود و در نقاطی که امکان تماس افراد وجود دارد از این راه‌کار استفاده کرد. موقعیت مخازن بزرگ نفتی به شماره T2, T1 مرکز انتقال نفت و تأسیسات شهید بهشتی اصفهان در شکل ۶ به رنگ زرد مشخص شده‌اند.



شکل ۶- موقعیت مخازن نفتی در سیستم زمین

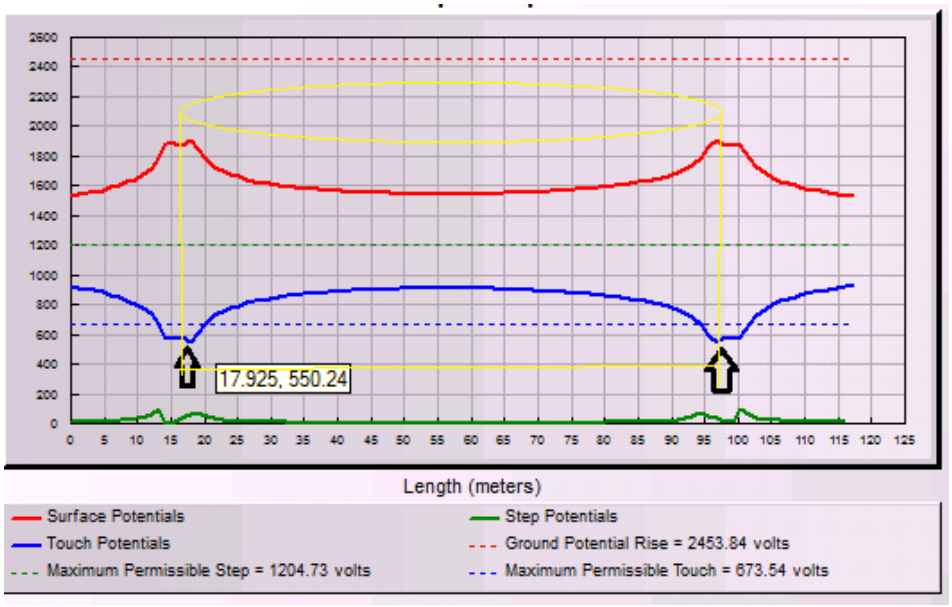
حلقه کانترپویز و الکترود سطحی سیستم ارتینگ به فاصله ۵ متری از مخزن و در عمق ۰/۸ متری زمین دفن شده است منحنی ولتاژ تماسی و گامی به‌صورت اطراف مخزن T1 مطابق شکل ۷ است.



شکل ۷- منحنی ولتاژ گامی و تماسی اطراف مخزن T1

با توجه به شکل ۷ ولتاژ گامی خیلی پایین‌تر از حد مجاز است و ولتاژ تماسی که با رنگ آبی مشخص شده در نقاط نزدیک حلقه اجرا شده نزدیک حد مجاز و هرچه از حلقه دور می‌شویم از حد مجاز بیش‌تر می‌شود و در محلی که امکان تماس با بدنه مخزن وجود دارد ولتاژ تماسی بالاتر از حد مجاز است که باید اصلاح گردد.

جهت کنترل و بهبود وضعیت ولتاژ تماسی اطراف بدنه مخازن حلقه‌ای در اطراف مخزن و به فاصله حدود ۲ متری از آن جهت هم‌پتانسیل کردن محدوده بدنه مخزن و کاهش ولتاژ تماسی آن انجام می‌دهیم و با حلقه اول هم‌بند می‌نمایم نتیجه به‌صورت شکل ۸ به‌دست می‌آید.



شکل ۸- منحنی ولتاژ تماسی و گامی اطراف مخزن T۱ بعد از اصلاح

با توجه به شکل ۸ و منحنی ولتاژ تماسی و موقعیت بدنه مخزن، با اجرای حلقه هم‌پتانسیل کننده اطراف مخزن باعث بهبود وضعیت ولتاژ تماسی در محل نزدیک بدنه و اطراف بدنه مخزن می‌شویم و ولتاژ تماسی در نقاطی که احتمال تماس با بدنه مخزن در زمان برخورد صاعقه است به زیر حد مجاز می‌رسد.

ولتاژ تماسی در بعضی نقاط دور از مخزن و زیر مخزن در زمان برخورد صاعقه از حد مجاز بالاتر است ولی با توجه به زیر خاک بودن هادی کانترپویز و عدم وجود اجرام قابل تماس ایرادی وجود ندارد.

بالا بردن مقدار بیشینه مجاز ولتاژ تماسی

با توجه به روابط مربوط به مقدار بیشینه مجاز ولتاژ تماسی طبق استاندارد IEEE 80 در صورت استفاده از یک لایه نازک از سنگ‌های شکسته مانند Gravel یا بتن و یا آسفالت روی سطح خاک، سبب افزایش مقاومت مجاز کف پای انسان نسبت به زمین و افزایش مقدار مجاز ولتاژ تماسی خواهیم شد. مقاومت ویژه لایه نازک سنگ‌ریزه اضافه شده در روابط ۲ و ۳ با ρ_s نشان داده می‌شود که مقدار آن نسبت به مقاومت ویژه خاک ρ زیاد است [۴].

$$E_{touch} = (1000 + 1.5 C_s \rho_s)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲)$$

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1-\frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} \qquad (۳)$$

در این روابط:

E_{touch}: ولتاژ تماسی برحسب ولت

C_s: ولتاژ سطحی برحسب ولت

ρ_s: مقاومت ویژهٔ سطحی برحسب اهم.متر

t_s: زمان برقراری جریان برق‌گرفتگی برحسب ثانیه

h_s: ضخامت لایهٔ سطحی خاک برحسب متر

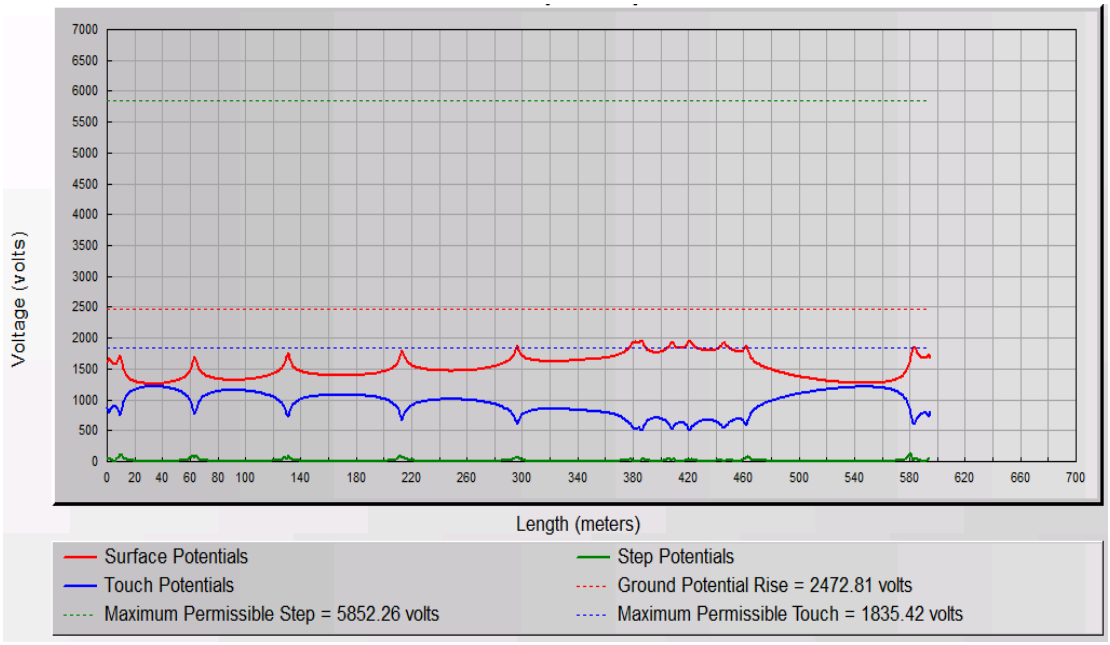
حال فرض می‌کنیم که سطوح اطراف بدنه مخازن بالا با لایه‌ای از سنگ‌ریزه در نقاطی که امکان تماس با بدنه مخزن و تجهیزات آن وجود دارد پوشیده شده باشد. مقاومت ویژه سنگ‌ریزه را ۲۵۰۰ اهم‌متر و ضخامت آن را حدود ۰/۱ متر در نظر گرفته و در نرم‌افزار CYMGRD شبیه‌سازی می‌کنیم. با این کار شکل ۹ حاصل می‌گردد.

با توجه به شکل ۹ با اضافه کردن لایه سنگ‌ریزه و نتایج شبیه‌سازی، مقدار بیشینه مجاز ولتاژ تماسی افزایش یافته و از مقدار ۶۷۳/۵ ولت به ۱۸۳۵ ولت رسید و با بالا رفتن مقدار مجاز ولتاژ تماسی در نقاطی که سنگ‌ریزه ریخته شد مشکل محدود کردن ولتاژ تماسی نیز حل شد.

زمین کردن مخازن

طبق استاندارد مخازن فلزی مطابق یکی از روش‌های زیر باید زمین گردد:

- مخزن بایستی بدون اتصالات عایق به سیستم لوله‌های فلزی ورودی و خروجی متصل شود.
- مخزن استوانه‌ای عمودی که بر روی زمین یا بتن قرار دارد باید حداقل دارای ۶ متر قطر باشد و اگر بر روی کف قیراندود باشد باید دارای قطر حداقل ۱۵ متر باشد.
- مخزن باید دارای حداقل دو اتصال به سیستم زمین بوده و حداکثر فاصله بین دو اتصال متوالی از ۳۰ متر بیشتر نشود.
- اگر مخزنی به علت شرایط محیطی و یا سایر دلایل دارای پوشش عایق در قسمت زیرین بود باید مطابق بند ۳ بالا زمین گردد [۵،۶].
- مخازن ذخیره نفتی مرکز انتقال نفت اصفهان با توجه به قطر ۷۶ متری از چهار نقطه به زمین متصل است که مطابق استاندارد قابل قبول است.



شکل ۹- اصلاح ولتاژهای گامی و تماسی با اضافه کردن سنگ‌ریزه

حفاظت مخازن نفتی در برابر صاعقه و الکتریسیته ساکن

فراورده‌های نفتی مانند نفت خام، بنزین، نفت و گاز اغلب در مخازن فلزی با سقف شناور (FRT)[۷] ذخیره می‌شود که با رسید و برداشت از مخزن، سقف شناور با سطح مواد بالا و پایین می‌رود، جهت جلوگیری از تبخیر مواد نفتی، سقف شناور با بدنه مخزن آب‌بندی شده است و این آب‌بندی باعث عایق الکتریکی شدن سقف شناور از بدنه مخزن شده است.

اگر این آب‌بندی معیوب باشد گازهای قابل اشتعال[۸] در منطقه آب‌بندی کناره[۹] تجمع می‌یابد و بر اثر تبخیر مایعات نفتی و مخلوط شدن آن با اکسیژن بر روی سقف شناور مخازن و در محدوده آب‌بندی کناره، مخلوط گازهای قابل اشتعال تولید شده و برای شروع آتش‌سوزی تنها به حرارت نیاز است و این حرارت از تخلیه الکتریکی ناشی از صاعقه تأمین می‌شود. نصب نشت بند در لبه سقف شناور با هدف پیشگیری از خروج بخارهای قابل اشتعال و نصب سیستم اتصال به زمین و هم‌بندی با هدف هدایت جریان الکتریکی ناشی از صاعقه به زمین و پیشگیری از تخلیه الکتریکی و تولید جرقه در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین در صورت بروز حریق بر روی سقف شناور مخزن می‌توان چنین استنباط نمود که به‌طور هم‌زمان هر دو سیستم یاد شده عملکرد مورد انتظار را نداشته‌اند. حصول اطمینان از عملکرد مناسب این سیستم‌ها منوط به نظارت‌های مستمر و مؤثر است.

۹-۱ جلوگیری از ایجاد گازهای قابل اشتعال در منطقه آب‌بندی کناره سقف شناور مخازن

برای جلوگیری از ایجاد گازهای قابل اشتعال، بازرسی و نظارت و نگهداری منظم[۱۰] تجهیزات آب‌بندی مخازن صورت گیرد تا از نشت گازهای قابل‌احتراق جلوگیری گردد. نحوه بهره‌برداری و پر و خالی کردن مخزن[۱۱] و نشاندن سقف شناور در کف مخزن و پر کردن مجدد مخزن می‌تواند تولید گازهای قابل اشتعال را افزایش داده و خطر آتش‌سوزی را افزایش دهد. [۶].

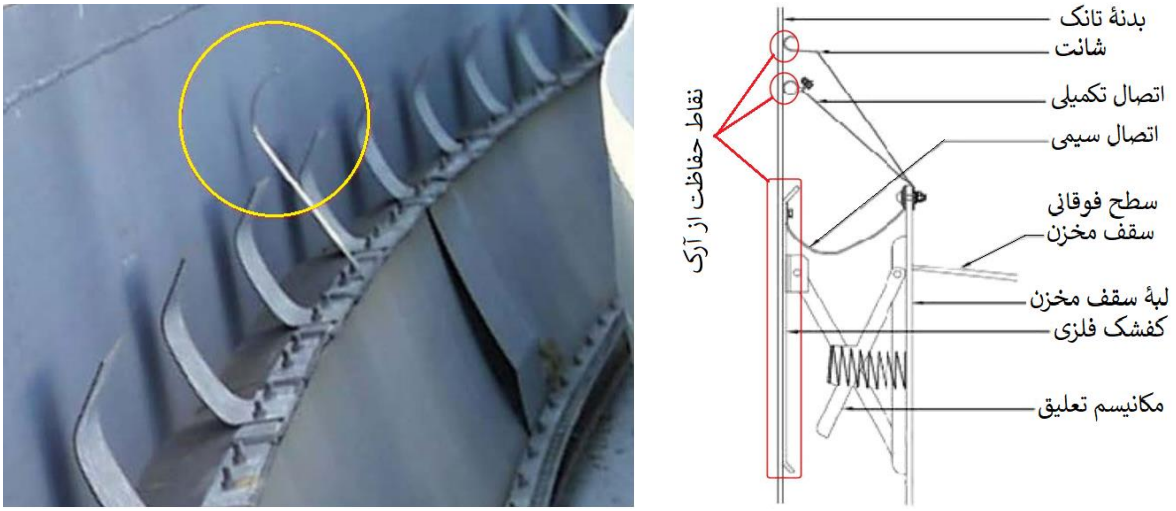
۹-۲ هم‌بندی الکتریکی بین سقف شناور و بدنه مخزن

جهت ایجاد پیوستگی الکتریکی جهت تخلیه جریان برخورد صاعقه و جلوگیری از تجمع بارهای الکتریکی به دو روش بین بدنه مخزن و سقف شناور استاندارد توصیه به ایجاد هم‌بندی الکتریکی نموده است.

۹-۲-۱ شانت‌ها[۱۲]

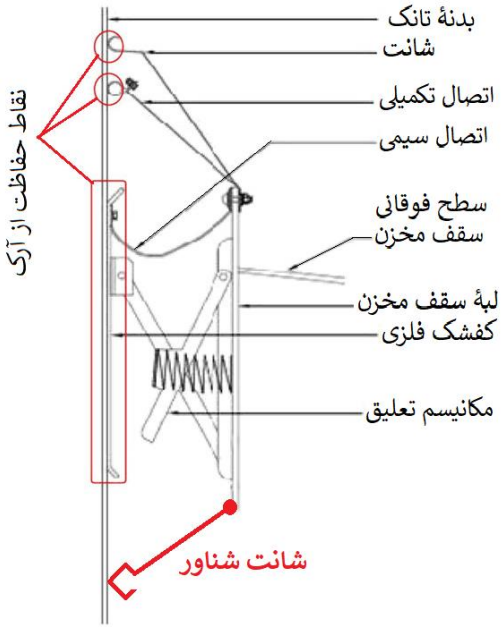
هم‌پتانسیل‌سازی سقف شناور و بدنه مخزن از طریق هادی‌های قابل انعطاف شانت که در شکل ۱۰ مشخص شده است صورت می‌گیرد. هادی شانت باید به‌صورتی انتخاب شود که در حرکات افقی و عمودی سقف تماس با بدنه همیشه برقرار باشد و در عملکرد سقف شناور خلل ایجاد نکند. حداکثر فواصل شانت‌ها باید ۳ متری محیط پیرامون سقف مخزن باشد و نقطه تماس آن‌ها بایستی حداقل ۳۰ سانتی‌متر در زیر سطح مایع غوطه‌ور باشد.

7- Floating-Roof Tanks
8- Flammable vapors
9- Rim seal
10- Regular inspection/ monitoring and maintaining
11- Landing the roof and refilling
12- Shunts



شکل ۱۰- هادی شانت و نحوه اتصال سقف شناور به دیواره مخزن [۱۳]

با توجه به توصیه استاندارد به اینکه نقطه تماس شانت‌ها باید ۳۰ سانتی‌متر در زیر سطح مایع غوطه‌ور باشد پس هادی‌های شانت باید در مایع نفتی غوطه‌ور[۱۳] و در زیر سقف و سیل شناور و در فواصل ۳ متری نصب شوند [۵،۶]. پس با توجه به توصیه استاندارد[۱۴]، هادی‌های بالای سقف شناور در هنگام بازسازی مخزن حذف شوند و به‌صورت شکل ۹ اجرا شوند [۵،۶].



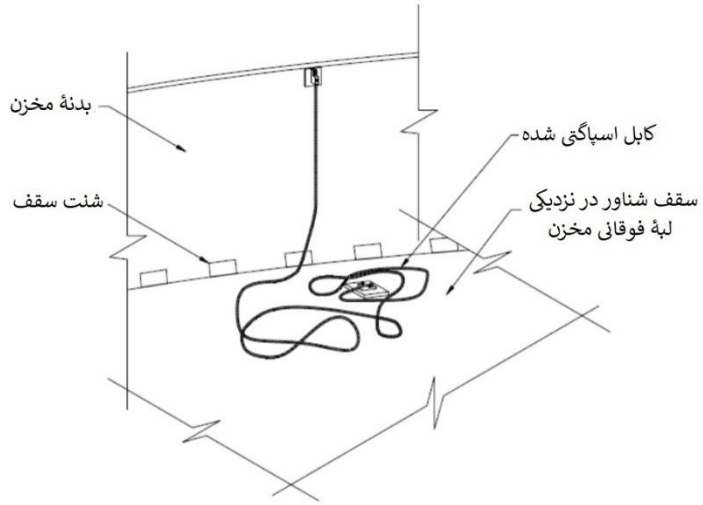
شکل ۱۱- نحوه نصب شانت‌های غوطه‌ور

۹-۲-۲ هادی‌های ثابت By pass

سقف متحرک باید به بدنه مخزن به‌صورت مستقیم اتصال الکتریکی داشته باشد. این کار از طریق هادی ثابت به نام هادی بای‌پس که در شکل ۱۲ مشخص شده، صورت می‌گیرد. هر هادی بای‌پس بایستی دارای حداقل طول و به

13- Submerged shunt
14- Recommended Practice

گونه‌ای که امکان جابه‌جایی کامل به سقف شناور را نیز بدهد. تعداد هادی بای‌پس باید ۲ عدد و به ازای هر ۳۰ متر محیط مخزن یک عدد قرار داشته باشد [۵،۶]. هادی‌ها باید دارای انعطاف لازم و سطح مقطع حداکثری و مقاوم در برابر خوردگی باشد و دوام برای حدود ۳۰ سال داشته باشند [۵،۶]. هادی‌های بای‌پس جریان متوسط و طولانی مدت صاعقه را عبور می‌دهند [۶].



شکل ۱۲- هادی بای‌پس متداول [۱۳]

۳-۹- عایق‌بندی تجهیزات آب‌بندی سقف شناور و بدنه

تمامی تجهیزات آب‌بندی سقف شناور و بدنه شامل فنرها و قیچی و غیره، باید از لحاظ الکتریکی عایق باشد و سطح عایق‌بندی بایستی در حدود ۱ کیلوولت و یا بیش‌تر باشد [۵،۶]. این عایق‌بندی سبب می‌شود که جریان صاعقه بین سقف شناور و بدنه مخزن فقط از طریق شانت و هادی بای‌پس عبور کند [۶].

روش‌های محدود کردن خطرات الکتریسیته ساکن

جهت محدود کردن خطرات الکتریسیته ساکن می‌توان از توصیه‌های استاندارد مطابق زیر استفاده نمود:

- کنترل کردن تولید و تجمع الکتریسیته ساکن
- محدود کردن ایجاد بخارهای قابل اشتعال در مکان‌هایی که امکان ایجاد جرقه بر اثر الکتریسیته ساکن وجود دارد
- جلوگیری از ایجاد دو سطح با اختلاف پتانسیل متفاوت یا به‌عبارت‌دیگر جلوگیری از ایجاد امکان جرقه[15] [۷]

روش‌های پیشنهادی استاندارد جهت کنترل تولید الکتریسیته ساکن [۷،۱۱]

یکی از مواردی که می‌تواند خطر آتش‌سوزی توسط الکتریسیته ساکن را کاهش دهد کنترل تولید الکتریسیته ساکن است که طبق توصیه استاندارد موارد زیر را می‌توان جهت کنترل الکتریسیته ساکن انجام داد:

- جلوگیری از تلاطم مواد[16] و اسپری شدن مواد در داخل مخزن

15- Spark promoters
16- splash Filling

- قرار دادن لوله ورودی مخزن در قسمت پایین و اجتناب از ریختن مواد از ارتفاع در داخل مخزن[17]
- جلوگیری از ایجاد جریان آشفته و محدود کردن سرعت مواد در حد 1 مترمکعب بر ساعت در مخازن در مراحل اولیه پر شدن مخزن بخصوص در مخازن سقف شناور

هم‌بندی سقف به بدنه مخزن علاوه بر حفاظت از صاعقه سبب حفاظت الکتریسیته ساکن نیز می‌گردد [۷].

بهینه‌سازی هم‌بندی و هم‌پتانسیل سازی سقف شناور و بدنه مخزن

هم‌پتانسیل کردن اجزا و تجهیزات مخزن جهت حفاظت صاعقه و الکتریسیته ساکن نقش بسیار مهمی دارد جهت بهینه‌سازی هم‌بندی و هم‌پتانسیل نمودن سقف استاندارد توصیه‌های زیر را ارائه می‌کند.

در ذیل به بررسی این توصیه‌ها می‌پردازیم:

به توصیه استاندارد API RP545, NFPA 780 حداکثر فواصل شانت‌ها باید ۳ متری محیط پیرامون سقف بوده و در صورت امکان در داخل مواد و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری زیر سقف مخزن نصب گردد و در مواد غوطه‌ور گردد و شانت‌های خارجی نیز حذف شوند. [۵،۶].

استفاده از شانت غوطه‌ور توسعه مهندسی قابل‌توجه[18] نیاز دارد، انتقال از بالا به پایین شانت در زمان تعمیرات اساسی باعث طولانی شدن و از سرویس خارج ماندن مخزن می‌شود و همچنین بازرسی و نگهداری آن را سخت می‌کند که عملاً برای مخازن موجود مشکل‌زا است.

استاندارد توصیه می‌نماید که میله‌های راهنما و اندازه‌گیری از بدنه مخزن ایزوله باشند و عایق‌بندی آن‌ها در حد ۱ کیلوولت باشد که اجرای این توصیه جهت مخازن موجود نیاز به تغییرات ساختاری عمده و هزینه نسبتاً بالا جهت اصلاح، تعمیر و نگهداری دارد [۵،۶].

اجرای هم‌بندی بین سقف شناور و بدنه مخزن با استفاده از هادی بای‌پس، طبق توصیه استاندارد NFPA 780 و API 545 به ازای حداقل هر ۳۰ متر اطراف محیط سقف یک عدد هادی بای‌پس تا حد امکان کوتاه در نظر گرفته شود، حداکثر مقاومت آن‌ها نباید از ۰/۰۳ اهم تجاوز کرده و مانع حرکت آزادانه سقف نیز نشوند. [۵،۶].

از سه توصیه فوق دو مورد اول برای نصب و راه‌اندازی هزینه‌بر بوده و بدون خروج مخزن از شرایط بهره‌برداری مقدور نیست. اجرای هادی بای‌پس در طول بهره‌برداری روزانه و بدون در نظر گرفتن موقعیت سقف قابل اجراست و نیز به‌راحتی می‌تواند تحت نظارت و بازرسی قرار گیرد. جهت اجرای توصیه سوم استاندارد، می‌توان از دو نوع هادی بای‌پس مختلف استفاده نمود:

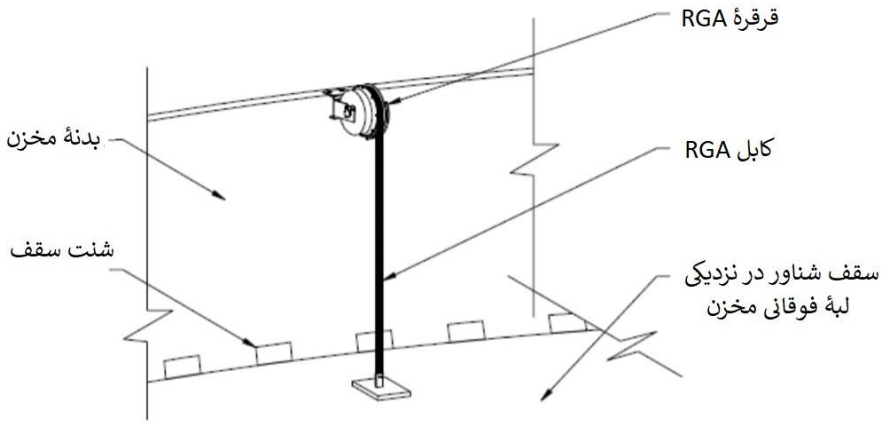
- هادی‌های بای‌پس سنتی[19]

در زمان استفاده از هادی بای‌پس سنتی، این هادی بر روی سقف شناور به‌صورت تصادفی حلقه می‌شود و بر روی هم می‌افتد و اگر قرار باشد بنا به توصیه استاندارد به ازای هر ۳۰ متر پیرامون سقف مخزن یک هادی بای‌پس نصب شود، در مخازن با قطر زیاد تجمیع سیم‌ها بر روی سقف شناور زیاد شده و مشکلات زیادی ایجاد می‌نماید و ازنظر زیبایی نیز منظره جالبی ندارد.

17- upward spraying
18- Considerable engineering development
19- Traditional By Pass

- هادی بای‌پس قابل انعطاف[۲۰]

(RGA)[۲۱] تجهیزی مانند شکل ۱۳ است که کابل بای‌پس با رسید و برداشت از مخزن و بالا و پایین رفتن سقف شناور بر روی قرقره پیچیده می‌شود و از تجمع کابل بر روی سقف شناور جلوگیری می‌کند و طول کابل هادی بای‌پس هم متناسب با حرکت سقف شناور، تغییر می‌کند.



شکل ۱- هادی بای‌پس RGA [۱۴]

نتایج و پیشنهادها

با توجه به مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم زمین مرکز انتقال نفت و تأسیسات شهید بهشتی اصفهان مقاومت سیستم زمین مخازن در حدود ۰/۲۱۵ اهم به‌دست آمد. با توجه به توصیه استاندارد IPS-E-EL 100 مقاومت مخازن باید زیر ۱۰ اهم باشد، لذا مقدار به‌دست آمده مطلوب بوده و نیاز به اصلاح ندارد، ولی باید تمهیداتی جهت بهینه‌سازی و محدود کردن ولتاژهای گامی و تماسی با توجه به راهکارهای گفته شده صورت گیرد.

جهت جلوگیری از ایجاد گازهای قابل اشتعال، بازرسی، نظارت و نگهداری منظم تجهیزات سیل و آب‌بندی مخازن صورت گیرد تا از نشت گازهای قابل‌احتراق جلوگیری شود.

با توجه به استانداردهای معتبر IEC 61000-5-2 و IPS E-EL100 جهت جلوگیری از خطرات ایمنی افراد و تجهیزات بعدازاینکه سیستم‌های زمین به‌صورت مجزا جهت تجهیزات برق، ابزار دقیق و مخابرات و صاعقه‌گیر اجرا گردید باید با یکدیگر هم‌بند و هم‌پتانسیل شوند که در مرکز انتقال نفت سیستم‌های زمین با هم هم‌بند شده است.

پیشنهاد می‌شود در محیط‌های صنعتی در سایت اطراف تجهیزات از یک لایه نازک سنگ‌ریزه و یا سطوح بتنی استفاده گردد تا سبب محدود کردن ولتاژهای گامی و علی‌الخصوص ولتاژ تماسی و افزایش ایمنی افراد گردد.

در اغلب موارد دیده شده است که جهت هم‌بندی سقف شناور و بدنه از یک عدد کابل و به‌صورت غیراستاندارد استفاده می‌شود که استفاده از هادی بای‌پس مطابق توصیه استاندارد و به تعداد مناسب موردقبول است. برای افزایش تعداد هادی بای‌پس استفاده از هادی بای‌پس قابل‌انعطاف جهت هم‌بندی سقف شناور و بدنه مخزن جهت زیباتر و کوتاه‌تر شدن طول هادی بای‌پس توصیه می‌گردد. با بهره‌برداری مناسب از مخازن و رعایت نکات و توصیه‌های گفته شده می‌توان تولید الکتریسیته ساکن را کاهش داد.

20- Bypass wires variable length
21- Retractable Grounding Assembly

منابع

[۱] شاهرخ شجاعیان، «نفوذ به عمق زمین»، نشر دانش پژوهان برین، اصفهان، ۱۳۹۲.

[2] CYMGRD 6.3 for windows, "CymGrd User guide and reference manual", 2006.

[3] IEEE Std 81, "IEEE guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System",2012.

[4] IEEE Std 80," IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 2013.

[5] NFPA 780,"Standard for the Installation of Lightning Protection Systems", 2017 Edition.

[6] API RP 545, "Lightning Protection of Aboveground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids", 2012.

[7] API 2003, "Protection against Ignitions Arising out of Static, Lightning, and Stray Currents", 1998.

[8] IEC 61000-5-2,"Electromagnetic compatibility (EMC) Installation and mitigation guidelines Earthing and cabling", 1998.

[9] IPS-E-EL100, "Engineering Standard for Electrical System Design (Industrial and Non-Industrial) ", First Edition, 2012.

[10] API 650, "Welded Tanks for Oil Storage", 2014.

[11] NFPA 77, "Recommended Practice on Static Electricity", Edition 2014.

[12] BS 7430, "Code of practice for protective earthing of electrical installations", 2011.

[13] Lanzoni, J, "Improving Lightning Safety of Petroleum Storage Tanks", Lightning Eliminators & Consultants, Inc. Boulder, Colorado USA, October 2009.

[14] Tyurenkov, S and Lanzoni, J, "Foreign Experience Whit Lightning In Oil & Gas Industry", Science and Technology of Pipeline Petroleum Products, 2010.

[15] Ç. KÖKSAL, Ö. GÜL, "Analysis of wind turbine grounding systems in terms of touch and step voltage", IU-JEEE, Vol. 15, No. 1, pp. 1867-1872, 2015.