# امکان سنجی بهره گیری از انرژی خورشیدی جهت تامین انرژی سیستم های حفاظت کاتدی لوله های نفت و گاز مدفون در خاک به روش جریان اعمالی

**محسن طالب زادگان**
*کارشناس ارشد-دانشگاه آزاد اسلامی رامهرمز*
Talebzadegan.m@gmail.com

**علی عبودی اصل**
*کارشناس ارشد –شرکت ملی نفت*
Aboudi1001@yahoo.com

**ایمان ریاضی**
*کارشناس ارشد-دانشگاه آزاد اسلامی رامهرمز*
ImanRiazi@gmail.com

* *دریافت:* فروردین ماه ۹۱ ،* *اصلاح:* اردیبهشت ماه ۹۱، * *تایید:* تیر ماه ۹۱
*صفحه های:* ۵۹تا ۶۳

**چکیده**

بیشترین کاربرد روش حفاظت کاتدی جلوگیری از خوردگی لوله های نفت و گاز مدفون در خاک در صنایع نفت و گاز می باشد.حفاظت کاتدی به روش جریان اعمالی عبارتست از تشکیل یک سیستم الکترولیز که در آن آند و کاتد توسط یک مولد الکتریکی جریان مستقیم ایجاد می شود ، بدین صورت که در مجاورت یک سازه یک یا چند آند از جنس چدن نصب کرده و سازه و آند به ترتیب به قطب منفی و مثبت مولد وصل می نمایند.در تحقیق حاضر با برداشت مشخصات و اطلاعات واقعی در خصوص خاک منطقه ، مشخصات مکانیکی خط لوله نفت و پوشش آن در منطقه اهواز و همچنین با استفاده از فرمولهای محاسباتی و هندبوک های ارائه شده در خصوص انواع آندها و انواع سلولهای خورشیدی و باطری های موجود در بازار به طراحی سیستم حفاظت کاتدی خورشیدی مختص منطقه مذکور پرداخته شده است. پس از محاسبات انجام شده بهترین نوع سلول خورشیدی AT-50 و تعداد پانل ها ، ولتاژ و جریان تولیدی آنها به ترتیب ۴۲ v، ۵۲/۲ A ، ۴۰/۰۴ بدست آمد.نوع باطری پیشنهاد شده Sealed Lead Acid می باشد که تعداد ، ولتاژ و جریان آنها به ترتیب ۴ v، ۴۸ A ، ۲۵۰ است.

کلمات کلیدی :خوردگی –حفاظت کاتدی – جریان اعمالی -انرژی خورشیدی

## ۱- مقدمه

وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی بخصوص سوختهای نفتی و بکار گیری و مصرف بی رویه آنها ، منابع عظیمی را که طی قرون متمادی در لایه های زیرین زمین تشکیل شده است تخلیه می نماید.با توجه به اینکه منابع انرژی زیر زمینی با سرعت فوق العاده ای مصرف می شوند و در آینده ای نه چندان دور چیزی از آنها باقی نخواهد ماند .نسل فعلی وظیفه دارد به ان دسته از منابع انرژی که دارای عمر و توان زیادی هستند روی آورده و دانش خود را برای بهره برداری از آنها گسترش دهد.فن آوری ساده ،آلوده نشدن هوا و محیط زیست و از همه مهمتر ذخیره شدن سوخت های فسیلی و یا تبدیل آنها به مواد پر ارزش با استفاده از تکنیک پتروشیمی از عمده دلایلی هستند که لزوم استفاده از انرژی خورشیدرا آشکار می سازند.

حفاظت کاتدی اولین بار توسط همفری دیوی ، در سال ۱۸۲۴ میلادی ، در شهر لندن مطرح گردید. بعد از آن محققین متعددی در خصوص حفاظت کاتدی سازه های مدفون در خاک [۱] و در مایعات[۲] بررسی های مستقلی انجام داده اند .تحقیق مشابه انجام شده در کشور الجزایر [3] در خصوص حفاظت کاتدی لوله های مدفون توسط انرژی خورشیدی در منطقه مذکور به نتایج زیر انجامید.تعداد پانل های خورشیدی و همچنین ولتاژ و جریان آنها به ترتیب ۱۵، ۲۴ V، ۳/۶۵ A بدست آمد.تعداد باطریهای مورد نیاز ۱۴ عدد اعلام گردید.

## ۲- پدیده فتوولتائیک

به پدیده ای که در اثر تابش نور خورشید و بدون استفاده از مکانیزم های محرک ، الکتریسیته تولید کند پدیده فتو ولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده ها استفاده کند سیستم فتو ولتائیک گویند.در واقع این پدیده از فرضیه ذره ای بودن انرژی تابشی بنا نهاده شده است .سلولهای فتو ولتائیک عموما از مواد نیمه هادی مانند سیلیسیم تهیه می شوند و سیلیسیم مورد نیاز از شن و ماسه تهیه می شود واساسا زمانیکه نور به سلول بر خورد می نماید ، یک بخش مشخصی از آن جذب ماده نیمه هادی شده که انرژی حاصله الکترون های آزاد را به حرکت در آورده و سبب شارش جریان الکتریکی می گردد.

## ۳- طراحی سیستم حفاظت کاتدیک خطوط لوله

شبکه خطوط لوله مورد بررسی جهت نصب سیستم حفاظت کاتدی خورشیدی ، مربوط به شبکه خط لوله نفت واقع در توابع شهرستان اهواز می باشد. اطلاعات مربوط به خاک منطقه ، مشخصات خط لوله و پوشش آن در جداول شماره ۱ تا ۳ نشان داده شده است.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.7.0 ]

جدول (۱): پارامتر های خاک منطقه

| مشخصه | میزان |
|---|---|
| دمای خاکC | ۳۵ |
| PH خاک | ۷/۵ |
| رطوبت خاک | ٪۷۰ |
| میانگین مقاومت ویژه خاک بستر Ω/Cm | ρ=1200 |
| میانگین مقاومت ویژه خاک در طول خط و در عمق دفن لولهΩ/Cm | ρ<4000 |

جدول( ۲ ):مشخصات مکانیکی خط لوله

| قطراسمی لوله( Inch ) | طول لوله ( M) | سطح خارجی لوله (m2) | جرم واحد طول(Kg/m ) |
|---|---|---|---|
| ۲ | ۵۲ | ۹/۸۵ | ۵/۴۲ |
| ۶ | ۶۰۰۰ | ۳۱۷۲/۴۱ | ۱۷/۲۵ |
| ۸ | ۷۰۰۰ | ۴۸۱۸/۲۱ | ۲۵/۳۸ |
| جمع | | ۸۰۰۰/۴۷ | |

جدول( ۳ ): ارزیابی پوشش و مشخصه های خط لوله

| مشخصه خط لوله | نوع و میزان |
|---|---|
| جنس خط لوله | کربن استیل API- 5L |
| نوع پوشش خط لوله | قیر پایه نفتی |
| میزان آسیب دیدگی پوشش خط لوله(درصد) | ٪ ۸ |
| ضریب توسعه شبکه خط لوله مدفون(درصد) | ٪۲۰۰ |

## ۴- طراحی و محا سبات

اساس طراحی سیستم حافظت کاتدیک محاسبه جریان و دیگری برآورد ولتاژ حفاظتی می باشد.

### ۴-۱- محاسبه جریان مورد نیاز سیستم حفاظت کاتدیک

با توجه به مقاومت ویژه خاک منطقه( ρ < ۴۰۰۰ ) وبا رجوع به جدول شماره (۴) ، استخراجی از منبع [ 4] ، که میزان دانسیته جریان مورد نیاز خط لوله فاقد پوشش را ۱۰ mA تعیین می گردد. درادامه به کمک اطلاعات مربوط به میزان آسیب دیدگی پوشش خط لوله ، نوع پوشش ، و ضریب توسعه شبکه ، میزان حداکثر جریان مورد نیاز حفاظت سیستم را محاسبه نماییم .

جدول( ۴ ): دانسیته جریان مورد نیاز سیستم حفاظت کاتدیک

| نوع الکترولیت | جریان مورد نیاز در واحد سطح لوله بدون پوشش ($mA/m^2$) | مقاومت ویژه خاک ( Ω/cm) |
|---|---|---|
| آب دریا | ۱۰۰ | ۲۵-۱۰۰ |
| خاک با نمک زیا د | ۲۵ | ۱۰۰-۱۰۰۰ |
| خاک بسیار خورنده | ۱۰ | ۱۰۰۰-۵۰۰۰ |
| خاک خورنده | ۵ | ۵۰۰۰-۱۰۰۰۰ |
| خاک با خوردگی نا چیز | ۱ | >۱۰۰۰۰ |

$$I=S\times i\times k\times c \qquad (۱)$$

با استفاده از فرمول (۱) و جایگذاری اطلاعات مورد نیاز از جدول (۲)و (۳) میزان جریان مورد نیاز سیستم برابر I = ۱۲/۸ A محاسبه می گردد.

### ۴-۲- محاسبه تعداد آندهای مورد نیاز سیستم :

با بررسی مشخصات آندهای موجود در استاندارد و انتخاب آند تیتانیوم با پوشش اکسیدی [ 5,6 ] (MMO,S-2.5×50 ) به عنوان آند مورد استفاده در سیستم و بر اساس مشخصات آند طبق جدول شماره(۵)، می توان تعدادآند مورد نیاز بر اساس فرمول شماره (۲) قابل محاسبه است.

$$N=I_t / I_n \qquad (۲)$$

جدول( ۵): مشخصات آندMMO

| مدل | ISO2.5×50S |
|---|---|
| نوع الکترولیت | کک / خاک |
| طول | ۵۰ سانتی متر |
| قطر | ۲/۵ سانتی متر |
| سطح جانبی | ۰/۰۳۹ سانتی متر |
| وزن | ۰/۵۶ کیلوگرم |
| حداکثر جریان خروجی | ۴ Amp |
| مصرف یک آند به ازا یک آمپردر سال بر حسب کیلوگرم( Co ) | ۰/۰۰۴۵ |
| بازدهی آند $E_f$ | ۰/۷ |

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.7.0 ]

با جایگذاری حداکثر جریان مورد نیاز حفاظت سیستم ($I_t$) و میزان جریان دهی آند ( $I_n$ ) تعداد آند های مورد نیاز سیستم تقریبا برابر $N=$ ۴ محاسبه می گردد.با توجه به مقاومت خاک بستر موجود ، که دارای تقریبا میزان بالایی است و بالا بودن قابلیت اطمینان سیستم میزان آند ها را برابر$N=$ ۵ در نظر می گیریم.

**۴-۳- محاسبه حداقل ولتاژ مورد نیاز سیستم حفاظت کاتدیک :**

ولتاژ مورد نیاز سیستم از طریق قانون اهم قابل محاسبه است :

$$V_{min}=I_t(R_W+R_N+R_C+R_P+R_E)+V_B \quad (۳)$$

با قرار دادن جریان مورد نیاز حفاظتی بر حسب آمپر ($I_t$) ، مقاومت سیم های رابط بر حسب اهم ( $R_W$ ) ، مقاومت بستر آندی ( $R_N$ ) ، مقاومت پوشش ( $R_C$ )، مقاومت لوله ها ( $R_P$ ) ، مقاومت خاک حد فاصل بین بستر و لوله که قابل اغماض است ، و ولتاژ برگشت بین بستر و لوله که تقریبا ۲ ولت می باشد ، میزان حداقل ولتاژ مورد نیاز محاسبه می گردد . مقاومت لوله ها ( $R_P$ ) برای هر یک از اقطار لوله طبق فرمول شماره (۴) محاسبه و سپس با یکدیگر جمع بسته می شود که در رابطه شماره (۴) W، وزن یک فوت از لوله به قطر N می باشد.

$$R_P(N'')=(3.3/4w)\times10\text{-}3\times L \quad (۴)$$

در نهایت مقاومت کل لوله ها از جمع مقاومت های لوله ها محاسبه و برابر $R_P=$ ۰/۵۲۲ Ω است.

جهت محاسبه مقاومت پوشش از رابطه (۵) استفاده می نماییم :

$$R_C=r_{CS}/S \quad (۵)$$

با قرار دادن مقاومت کل پوشش بر حسب اهم ( $R_C$ ) و مقاومت واحد سطح پوشش بر حسب اهم بر متر مربع ( $r_{cs}$ ) و سطح جانبی لوله ( S ) ، مقاومت پوشش برابر $R_C=$ ۰/۵ Ω محاسبه می گردد.

جهت محاسبه مقاومت کابل های رابط از رابطه ( ۶ ) استفاده می نماییم :

$$R_w=\rho L/S \quad (6)$$

در صورتیکه طول بستر را ۵۰ متر فرض نموده و همچنین بر اساس استانداردهای موجود در خصوص کابل مورد استفاده در سیستم حفاظت کاتدی ، کابل آند را با سطح مقطع $35\ mm^2$ و کابل اتصال از N-BOX به لوله نفت با سطح مقطع $25\ mm^2$ و در نهایت کابل برگشت را با سطح مقطع $16\ mm^2$ و کابل اتصال فولادی به باند باکس را با سطح مقطع $16\ mm^2$در نظر می گیریم .سپس با استفاده از جدول شماره ۶ مقاومت کل کابل های رابط برابر $R_W=$ ۰/۱۵ Ω محاسبه می گردد.

میزان ولتاژ جریان واقعی و توانی که لازمست توسط پانل ها در هر لحظه

جدول(۶ ):مقاومت کابل های ارتباطی

| مقطع سیم( $mm^2$) | مقاومت اهمی به ازا ی هر متر طول(Ω) |
|---|---|
| 16 $mm^2$ | 0/00108 |
| 25 $mm^2$ | 0/00069 |
| 35 $mm^2$ | 0/000439 |
| 50 $mm^2$ | 0/000345 |

برای محاسبه مقاومت بستر ابتدا طول دقیق بستر را به ازای فاصله ۲/۵mمرکز به مرکزآندها از یکدیگر و با در نظر گرفتنCm ۴۰ فاصله خالی ابتدا و انتهای بستر بر حسب فوت محاسبه می نماییم سپس با توجه به نمودار مقاومت بستر بر حسب طول بستر برای زمینی به مقاومت ویژه خاک بستر□ρ=1000 ، موجود در هند بوک [۶]و بر اساس اعمال ضریب مقاومت ویژه خاک بستر□ ρ=1200 ، مقاومت بستر برابر $R_N=$ ۱/۶۲ Ωبدست می آید.

اکنون با قرار دادن مقادیر مقاومت ها ومیزان جریان اعمالی حفاظتی ($I_t$) در رابطه (۳) ولتاژ سیستم برابر$V=$ ۳۷/۷۴v محاسبه می گردد.برای دستیابی به ولتاژ و جریان مورد نیاز تولیدی مجموعه پانل ها ، لازمست از چیدمان های سری و موازی پانل های AT-۵۰ درکنار یکدیگر بهره بگیریم ، بدین ترتیب که شبکه ای شامل ۱۴شاخه، که جریان A ۳۸/۰۵ را تولید می نمایند و در هر شاخه نیز ۳ پانل با یکدیگر سری هستند که وظیفه تامین اختلاف پتانسیل ۴۰/۴ ولت را برعهده دارند، که نهایتاً این شاخه ها با هم موازی شده اند، و مجموعه ای از ۴۲ پانل را تشکیل می دهند.باطری ها نیز در زمانی که شدت تابش مناسب است توسط صفحات خورشیدی شارژ می گردند تا در زمان عدم حضورنور خورشید در شب یا روزهای ابری انرژی سیستم را تامین نمایند . با بررسی انواع باطری های موجود و ویژ گیهای هریک ، نوع Sealed Lead Acidبه علت عمر طولانی و قیمت مناسب انتخاب می گردد.

**۴-۴- محاسبات پانل های خورشیدی و باطریها:**

پانل های خورشیدی فقط در صورت تابش نور خورشید به آنها تولید توان الکتریکی می نمایند ، فلذا لازمست فکری برای زمان های عدم حضور خورشید نیز گردد. میزان توان مورد نیاز جهت تغذیه سیستم حفاظت کاتدیک و ذخیره در باطریها بمنظور مصرف در زمان عدم حضور خورشید توسط پانل ها در هر لحظه تولید گردد از رابطه (۷) محاسبه می گردد.

$$P_P=(24/h_{pr})\times P_S\times1/6 \quad (۷)$$

با قرار دادن میزان توان تولید پانل ها بر حسب وات ( $P_P$ ) و میزان حضور خورشید در شبانه روز بر حسب ساعت در آخرین روز آذرماه ( $h_{pr}$ ) و نهایتا میزان توان مورد نیاز سیستم حفاظت کاتدیک بر حسب وات ( $p_s$ ) که در موضوع مورد مطالعه برابر $W=483w$ می باشد در رابطه شماره ۷ میزان توانی که لازمست در پانل ها تولید شود تقریبا برابر ۱۸۵۵ وات محاسبه می گردد.

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.7.0 ]

تولید گردد ، در جدول شماره ۷ قابل مشاهده است :

جدول(۷ ): توان تولیدی مجموعه پانل ها

| مولفه | میزان مورد نیاز |
|---|---|
| ولتاژ | 40/4 Amp |
| جریان | V۳۸/۰۵ |
| توان | w۱۸۵۵ |

با توجه به میزان ولتاژ و جریان دهی و توان هر یک از پانل ها ، و نیز ابعاد مربوطه ، سلول خورشیدی با مدل AT50 که یک سلول سیلیکونی چند کریستالی است انتخاب می نماییم .یک پانل خورشیدی عموما از ۳۹ سلول خورشیدی تشکیل می شود که با هم سری شده اند که مشخصات آن در جدول شماره ۸ بیان شده است:

جدول ( ۸) :مشخصات پانل خورشیدیAT50

| مقدار | مشخصات |
|---|---|
| ۲۱/۵۰ V | Open circuit voltage |
| ۳/۳۰ A | short circuit current |
| ۱۷/۵۰ V | Voltage in MPP |
| ۲/۸۶ A | Current in MPP |
| ۵۰ Wp | Nominal Power |
| ۳۹ | Number of cells |
| ۱۳۵ × ۶۷ mm | Solar cell sizes |
| ۴۳۰×۹۷۰×۳۴mm | Dimensions |
| 5/4 kg | Weight |

**۵- نتایج عددی :**

نتایج کلی محاسبات در جداول شماره ( ۹ ) و(۱۰) جمع آوری شده اند . همچنین و با توجه به نتایج حاصله به این مهم دست یافتیم که انتخاب آند ها برابر ۵ عدد انتخابی بجا بود ، البته نباید این نکته را نیز فراموش نمود که تمامی این نتایج از موقعیت همگن ایستگاه حاصل شده است ،بدین معنی که برد حفاظتی ایستگاه کاملا رعایت شده است.

**نتیجه گیری :**

جدول( ۹) : نتایج عددی طراحی مولد خورشیدی

| | مجموعه پانل های خورشیدی |
|---|---|
| AT50-17/5V-2/86A | نوع پانل ها |
| 42 | AT50 تعداد پانل های |
| ۵۲/۲ V | ولتاژ تولیدی مولد ها |
| ۴۰/۰۴ A | جریان خروجی مولد ها |
| ۲۱۰۲ W | توان تولیدی مولد ها |
| ۴۲×0/43×0/97=17/5m2 | ابعاد مجموعه |
| ۲۲۶Kg | وزن |
| | مجموعه باطری ها |
| Sealed Lead Acid-12v-250Ah | نوع باطری ها |
| ۴ | تعداد باطری ها |
| ۴۸ v | ولتاژ باطری ها |
| ۲۵۰ Ah | جریان باطری ها |
| ۴×0/53×0/24×0/225 | ابعاد مجموعه باطری ها |

جدول( ۱۰ ): نتایج عددی طراحی ایستگاه حفاظت کاتدیک

| میزان | مشخصه |
|---|---|
| ۷/۸۶۷ A | حداقل جریان مورد نیاز سیستم |
| ۵ | تعداد آند مورد نیاز |
| ۰/۷۶۵. Ω | مقاومت لوله |
| ۰/۵۱ Ω | مقاومت پوشش |
| ۰/۱۷ Ω | مقاومت کابل |
| ۱/۵۲ Ω | مقاومت بستر |
| ۴۸ V | ولتاژمورد نیاز سیستم |
| ۷۵۵ W | توان مورد نیاز سیستم |
| ۸۹۷۹/1 m | برد حفاظتی |
| ۳۲ year | عمر سیستم |

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.7.0 ]

۱- حذف هزینه های جاری انرژی الکتریکی مصرفی ایستگاه و صرفه جویی در مصرف برق
۲- قابلیت تولید در محل مصرف ، کاهش و صرفه جویی در هزینه های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی و عدم نیاز به شبکه سراسری برق
۳- امکان نصب و راه اندازی در توان های مختلف متناسب با نیاز مصرف کننده
۴- طول عمر مناسب و سهولت در بهره برداری.
۵- توانایی ذخیره سازی انرژی در باطری و تامین انرژی مورد نیاز در زمان عدم حضور نور خورشید.
۶- جریان خروجی کنترل شده است و قابلیت تغییر نیز دارد.
۷- از آنجائیکه حوزه پتانسیل حفاظتی وسیع است فلذا سیستم می تواند برای خطوط لوله اجرایی و یا مصالح مختلف نیز منطبق شود.

**فهرست علائم :**

| علائم انگلیسی | |
|---|---|
| S | $m^2$سطح جانبی لوله ها، |
| I | دانسیته جریان مورد نیاز فاقد پوشش($mA/m^2$) |
| K | ضریب توسعه شبکه |
| C | ضریب آسیب دیدگی |
| $I_t$ | حداکثر جریا ن مورد نیاز حفاظت (Amp) |
| $I_n$ | میزان جریان دهی آند |
| L | طول بستر(m) |
| R | مقاومت(Ω) |
| V | ولتاژ سیستم(v) |
| $P_p$ | توان تولیدی پانل ها( w) |
| $P_s$ | توان مورد نیاز سیستم حفاظت کاتدیک( w) |
| | |
| علائم یونانی | |
| $\rho$ | $kg/m^3$چگالی، |

**مراجع:**

[1] B.Laoun, K.Niboucha , L.Serir ," Cathodic Protection of a buried pipeline by solar energy" Scientific and Technical Research Center on Control and Welding ,Cheraga,Algeria,2009
[2] R.Benathmane," study and Simulation of Cathodic Protection by Impressed current Protection of Buried Work" ,Memoire de fin d Etudes,Department de Chimie Industrielle,Universite Saad Dahleb,Blida,2003
[۳]B.Laovn, K.Niboucha, L.Serir" Cathodic Protection of a buried pipeline by solar energy" Scientific and Technical Research Center on Control and Welding,Cheraga ,Algeria ,28 Mars 2009
[4] هاشمی مجد، سید علی، حفاظت کاتدیک لوله های مدفون ، ویرایش دوم ، مشهد ، سخن گستر ، ۱۳۸۶
[5] W.Von Baeckmann,W.Schwenk and Wprinz,"Hand book of Cathodic Corrosion Protection" Third Edition ,Elsevier Science,1997
[ ۶] ایثاری ، ایمان ، خلیل زاده شبستری ، بهمن " حفاظت کاتدی خطوط لوله مدفون با بکار گیری انرژی خورشیدی " شرکت نفت و گاز پارس ، دانشگاه آزاد اسلامی ۱۳۸۹

[ Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.7.0 ]