

نرم افزار طراحی سیستم حفاظت کاتدی لوله های گاز مدفون در خاک

چکیده

طراحی سیستم حفاظت کاتدی لوله های گاز مدفون در خاک، مستلزم استفاده از روابط متعدد، جداول، استانداردها و تجربه می باشد که عموماً زمان بر بوده و دقت فراوانی را می طلبد. به دلیل حجم بالای محاسبات و لزوم دقت بالا در طراحی، استفاده از کامپیوتر و روشهای شبیه سازی عددی، در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

نرم افزار معرفی شده در این مقاله پس از دریافت اطلاعات ورودی، می تواند طراحی را به طور دقیق و با سرعت به انجام رساند. طراحی شامل: جمع آوری اطلاعات مربوط به سازه (جنس سازه، نوع پوشش، شکل فیزیکی و ابعاد و سطح سازه و ...) و اطلاعات مربوط به خاک (مقاومت مخصوص، حضور باکتری، دما و ...) می باشد و در ادامه با توجه به روابط ریاضی، جداول، استانداردها و موقعیت مکانی سازه، نرم افزار فوق، پارامترهای طراحی شامل: سطح سازه، جریان حفاظتی لازم، انتخاب پوشش، نوع سیستم حفاظتی، ابعاد و جنس آند، تعداد و نحوه آرایش بستر آندی، مقاومت مدار (شامل: مقاومت سازه، کابل، پوشش و بستر آندی)، انتخاب رکتیفایر و دیگر موارد لازم را محاسبه می نماید. کاربرد این امکان را دارد که طراحی را با هر سه نوع بستر آندی (عمودی، افقی و چاهی) انجام دهد. در مواردی نظیر انتخاب رکتیفایر، سعی گردیده از سیستم هوشمند در طراحی استفاده گردد. برنامه دارای بانکهای اطلاعاتی متنوعی می باشد که همگی قابلیت افزودن اطلاعات جدید را دارند. کاربرد در هر لحظه می تواند نتایج طراحی خود را ملاحظه نموده و پرینت نماید. همچنین امکان ذخیره اطلاعات و طراحی انجام شده، در هر مرحله ای وجود دارد. پس از اتمام طراحی، امکان محاسبه هزینه و برآورد اقتصادی آن نیز پیش بینی شده است. نرم افزار فوق به زبان برنامه نویسی (Inprise Borland Delphi 5.0) و تحت Windows نوشته شده است و به صورت Auto Run می باشد.

کلمات کلیدی: حفاظت کاتدی، خوردگی لوله های گاز، روشهای شبیه سازی.

Cathodic Protection Software for Designing of Gas Pipeline

Cathodic protection system designing needs to use several equations, tables and standards.

It needs also experience and a lot of care that is generally time consuming.

Recently a lot of works have been done by using numerical simulation and computers that it caused to produce a commercial software in this research.

The new software can design the system exactly and rapidly by using input data and considering equations and data banks. Design of system is include of structures surface calculation, protection current, coating selection, kind of protection system, kind of anodes, design and use kind of groundbed, circuit resistance and select of rectifier. Users can program by selecting three kind of groundbed (vertical, horizontal, deep). Also in some cases and intelligent system can be used for selecting rectifier. The program has a data banks that it can be expand by new data. It should be noted that the program is produced by using Inprise Borland Delphi 5.0 and can be run in windows environment.

مقدمه:

لوله‌های گاز مدفون در خاک، به دلیل ماهیت خورنده برخی از خاکها، در صورت عدم حفاظت، در معرض انواع خوردگی و در ادامه، نشت و شکست قرار می‌گیرند.

حفاظت کاتدی به عنوان مؤثرترین روش حفاظتی به منظور پیشگیری از خوردگی سازه‌های مدفون در خاک شناخته شده است. (به عنوان نمونه در کانادا ۵۸۰ هزار کیلومتر لوله زیرزمینی و در شهر تهران، بیش از ۵ هزار کیلومتر خطوط لوله انتقال و توزیع گاز شهری و همچنین خطوط لوله گاز سراسری کشور، با این روش حفاظت می‌شوند).

در دو دهه اخیر با گسترش کاربرد کامپیوتر در علوم مهندسی، پاره ای از تحقیقات به سمت استفاده از کامپیوتر در زمینه طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدی متمایل شده است. این تحقیقات عموماً بر جنبه‌های خاصی از حفاظت کاتدی از قبیل شبیه‌سازی توزیع جریان و پتانسیل در سازه‌های تحت حفاظت متمرکز می‌باشند که توسط روش‌های حل عددی BEM و FEM انجام می‌گیرد. در این رابطه می‌توان به نرم‌افزارهای ارایه‌شده توسط شرکت BEASY و شرکت ELSYCA با عنوان CatPro اشاره نمود.

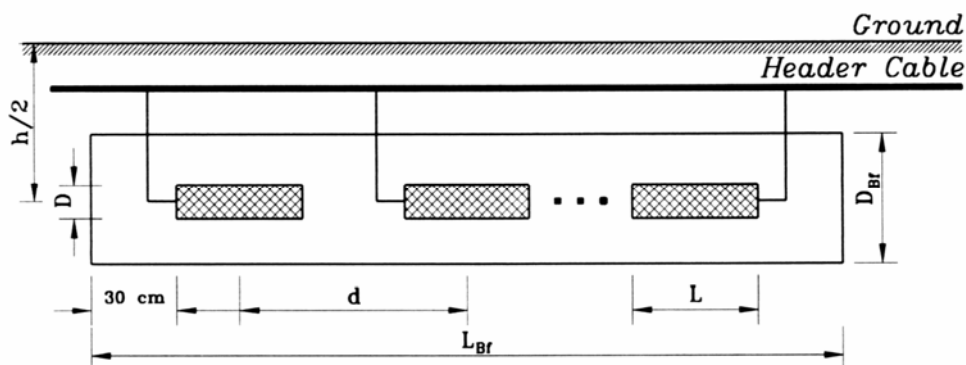
در رابطه با نرم‌افزارهای کاربردی در طراحی سیستم کاتدی، شرکت‌های بزرگ تولیدکننده تجهیزات حفاظتی، نظیر (LORESCO, MESA, LIDA)، نرم‌افزارهایی را برای طراحی (عمدتاً مربوط به بستر آندی) بر اساس محصولات خود ارایه نموده‌اند که جنبه عمومی نداشته و صرفاً خریداران محصولاتشان قادر به استفاده از آن می‌باشد.

کارهای دانشگاهی متعددی هم در رابطه با استفاده از کامپیوتر در طراحی سیستم‌های فوق در سالهای اخیر صورت گرفته که عموماً به طراحی قسمتی از سیستم حفاظت کاتدی پرداخته‌اند و اکثراً مربوط به سازه‌های دریایی می‌باشند.

با توجه به گسترش خطوط گاز در کشور و لزوم طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدی برای آنها، نیاز به نرم‌افزاری اختصاصی برای طراحی این سیستم‌ها که با استفاده از روابط و محاسبات ریاضی و روش‌های شبیه‌سازی عددی، دقت و سرعت طراحی را افزایش دهد، کاملاً حس می‌گردد لذا در این مقاله به معرفی برخی از قابلیت‌های این نرم‌افزار داخلی (قسمت طراحی بستر آندی، موقعیت مکانی بستر آندی و انتخاب رکتیفایر) پرداخته می‌شود.

انتخاب بستر آندی:

بستر آندی مهمترین بخش سیستم حفاظت کاتدی می‌باشد و طراحی آن نیاز به دقت و محاسبات زیادی دارد. این نرم‌افزار، توانایی طراحی با هر سه نوع بستر آندی (عمودی، افقی و چاهی) را دارد که در اینجا به بستر آندی افقی پرداخته می‌شود. پارامترهای ورودی برنامه شامل مقاومت مخصوص خاک و پشت‌بند، ابعاد آند انتخابی، عمق دفن آنها، فاصله آنها و تعداد آنها می‌باشد. حداقل تعداد آندهای لازم، در بخش‌های قبلی برنامه، محاسبه شده است.



هدف در طراحی بستر آندی، کاهش مقاومت بستر به همراه توانایی ایجاد جریان حفاظتی لازم می‌باشد. روابط زیر جهت محاسبه مقاومت بستر آندی افقی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$R_1 = R_3 \cdot F_i / N$$

$$F_i = 1 + \{ (2L) [\ln (0.656 N)] / (d) [\ln (8L / D) - 1] \}$$

$$R_3 = \rho_{Bf} \cdot \{ \ln [(4L^2 + 4L (h^2 + L^2)^{0.5}) / (D \cdot h)] + (h / L) - ((h^2 + L^2)^{0.5} / L) - 1 \} / (6.28 L)$$

$$R_2 = \rho \cdot \{ \ln [(4L_{Bf}^2 + 4L_{Bf} (h^2 + L_{Bf}^2)^{0.5}) / (D_{Bf} \cdot h)] + (h / L_{Bf}) - ((h^2 + L_{Bf}^2)^{0.5} / L_{Bf}) - 1 \} / (6.28 L_{Bf})$$

$$R_{H.G} = R_1 + R_2$$

R_1 مقاومت اتصال بین آندها و پشت‌بند (ohm)

R_2 مقاومت اتصال بین پشت‌بند و زمین (ohm)

R_3 مقاومت اتصال بین هر آند و پشت‌بند (ohm)

F_i فاکتور Interference

$R_{V.G.D}$ مقاومت بستر عمودی چاهی (ohm)

ρ_{Bf} مقاومت مخصوص پشت‌بند (ohm - cm)

ρ مقاومت مخصوص خاک (ohm - cm)

L طول آند (cm)

L_{Bf} طول مؤثر آند همراه با پشت‌بند (طول کل ستون پشت‌بند) (cm)

D قطر آند (cm)

D_{Bf} قطر مؤثر آند همراه با پشت‌بند (cm)

d فاصله مرکز به مرکز بین آندها (cm)

N تعداد آندها در بستر

h دو برابر عمق دفن آندها (cm)

همانطور که ملاحظه می‌شود، از بین پارامترهای موثر، تنها امکان تغییر در تعداد و فاصله آندها از یکدیگر وجود دارد.

از لحاظ تئوری، محدودیت‌هایی برای کم کردن فاصله بین آندها در بستر وجود ندارد ولی در عمل، کاهش فاصله بین آندها، موجب می‌شود که جریان حفاظتی تزریقی، از سطح کوچکتري خارج شده و در نتیجه، چگالی جریان خارج شده از بستر، افزایش می‌یابد که این عمل موجب خشک شدن محیط پشت‌بند و افزایش مقاومت بستر می‌گردد. در عمل، حداقل فاصله آندها را در بستر آندی افقی، برابر با طول یک آند در نظر می‌گیرند.

در رابطه با حداکثر فاصله هم، بیشتر، محدودیت‌های عملیاتی و اجرایی و البته جنبه‌های اقتصادی (هزینه حفاری بستر طولی) وجود دارد. به هر حال برنامه این قابلیت را دارد که کاربر تا ۱۰ بار، با تغییر پارامترهای مختلف، بستر بهینه را طراحی و انتخاب نماید.

موقعیت مکانی بستر آندی:

در این مرحله، نرم‌افزار با توجه به محدودیت فاصله بستر آندی تا خط لوله حفاظت شده، حداقل فاصله سازه خارجی و بستر آندی (مسئله جریان سرگردان و تداخل کاندی) و طول تحت حفاظت بستر و با استفاده از روابط زیر و روش‌های شبیه‌سازی عددی، مکان بستر آندی را تعیین می‌نماید.

طول تحت حفاظت سیستم حفاظت کاتدی:

شعاع حفاظتی سیستم، بستگی به فاصله بستر آندی نسبت به لوله و طول لوله دارد. عبور جریان حفاظتی در لوله، موجب افت ولتاژی در امتداد خط می‌شود. به منظور محاسبه طول تحت حفاظت داریم:

$$E_x = E_m \cosh a(L-x)$$

E_x پتانسیل نقطه x (اختلاف پتانسیل بین نقطه تزریق جریان و نقطه‌ای به فاصله x از وسط لوله)؛

E_m ولتاژ انتهای لوله ($x = L$) (پتانسیل لوله در شرایط عادی)؛

a ثابتی برحسب مقاومت واحد طول لوله (r) و ضریب هدایت پوشش عایق (g)؛

$2L$ طول لوله (فرض شده که جریان در نقطه میانی لوله تزریق می‌شود)؛

x نقطه‌ای به فاصله x از وسط لوله؛

$$a = \sqrt{r \cdot g}$$

براین اساس، پتانسیل نقطه اتصال تزریق جریان ($x = 0$) برابر است با:

$$E_A = E_m \cosh(aL)$$

معمولاً مقدار E_A از یک مقدار خاصی به دلیل صدمه‌ندیدن پوشش، نمی‌تواند بیشتر باشد برای مثال:

$$E_A = 2.1$$

روابط فوق در صورت یکنواختی کامل یا تقریبی وزن لوله، نوع پوشش آن و مقاومت مخصوص خاک و عدم وجود اتصالات غیرمرتبط در خط صادق می‌باشند.

$$L = \frac{\cosh^{-1}(E_A/E_m)}{a}$$

C.P شعاع تحت حفاظت یک سیستم

I.U.T. Cathodic Protection Software

Length Of Protected Pipeline By C.P.

Pipeline Potential = volts

Soil Resistivity = ohm-cm

Kind Of Coating = Polyethylene Tape

Pipe Size = inch

Enter Cancel

Length Of Protected Pipeline

<< Hide m

فاصله بستر آندی تا خط لوله حفاظت شده:

به منظور توزیع یکنواخت جریان حفاظتی در خط لوله، معمولاً حداقل فاصله‌ای بین بستر آندی و سازه مورد حفاظت در نظر گرفته می‌شود. علت انتخاب یک فاصله حداقل آن است که به دلیل دانسیته جریان بالا در نزدیکی بستر آندی، افت ولتاژ در آنجا بالا خواهد بود ولی در فواصل دورتر، افت ولتاژ محسوس نبوده و جریان یکنواخت خواهد بود.

$$V_x = \frac{I \cdot \rho}{20 \cdot \pi \cdot y} \ln \frac{y + \sqrt{x^2 + y^2}}{x}$$

V_x پتانسیل در نقطه X ناشی از جریان حفاظتی بستر (volts)
 I جریان خروجی از بستر آندی (amps)
 ρ مقاومت مخصوص خاک (ohm - cm)
 y طول آند (ft)
 x فاصله از آند (ft)

فاصله سازه خارجی و بستر آندی:

به منظور جلوگیری از ایجاد جریان سرگردان روی سازه خارجی، فاصله بستر آندی و سازه خارجی باید از رابطه زیر پیروی نماید:

$$D \geq (I \cdot \rho) / (2 \cdot \pi \cdot V)$$

D حداقل فاصله بستر آندی از سازه خارجی (m)
 ρ مقاومت مخصوص خاک (ohm - m)
 I جریان خروجی از بستر آندی (amps)
 V پتانسیل خاک در حداقل فاصله سازه از بستر (volts)

این مقدار در نزدیکترین نقطه سازه خارجی به بستر آند نباید از ۰/۲ ولت بیشتر باشد.

جریان سرگردان:

جریان مورد نیاز حفاظت کاتدی را برای حذف جریانهای سرگردان می‌توان با استفاده از روابط زیر محاسبه نمود:

$$RV_g = \Delta V_g / I_{test}$$

$$\Delta V_g = V_{g(off)} - V_{g(on)}$$

$V_{g(on)}$ پتانسیل لوله نسبت به خاک هنگام اعمال جریان (volts)

$V_{g(off)}$ پتانسیل لوله نسبت به خاک بدون اعمال جریان (volts)

I_{test} جریان آزمایشی اعمالی (amps)

ΔV_g تغییر ولتاژ ناشی از اعمال جریان در نقاط آزمایش

$$I_n = \Delta V_{gn} / RV_g$$

I_n مقدار جریان لازم برای حذف جریان‌های سرگردان

$$\Delta V_{gn} = V_{g(min)} - V_{ga}$$

V_{ga} پتانسیل حفاظتی مطلوب (volts) برابر با معیار انتخابی پتانسیل می‌باشد.

$V_{g(min)}$ پایین‌ترین مقدار متوسط پتانسیل (volts)

برای به دست آوردن پایین‌ترین مقدار متوسط پتانسیل در یک دوره زمانی مشخص، در محل تقاطع سازه‌ها و جایی که احتمال جریان سرگردان می‌رود، پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود و بر حسب زمان رسم می‌گردد.

I.U.T. Cathodic Protection Software

Stray Current

Pipe Potential (With Current Impressing) = volts

Pipe Potential (Without Current Impressing) = volts

Test Current = amps

Minimum Protection Potential = volts

Minimum Average Potential = volts

Impressed Current For Omitting Stray Current

amps

تداخل کاتدی:

به منظور پیش‌بینی تداخل کاتدی توسط بستر آندی، می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$\Delta = \frac{I}{50}$$

I جریان خروجی از یکسوکننده (amps)

D شعاع عمل تداخل کاتدی در اطراف آند (mile)

انتخاب رکتیفایر:

در روش اعمال جریان، از ترانس رکتیفایر جهت ایجاد جریان مستقیم استفاده می‌گردد. انواع مختلف رکتیفایر از جهت تکفاز و سه‌فاز بودن و هواخنک و روغن‌خنک موجود می‌باشد اما مشخصه عملیاتی آن، میزان حداکثر ولتاژ و شدت جریان خروجی می‌باشد و برنامه نیز از این پارامترها جهت انتخاب رکتیفایر مطلوب استفاده می‌نماید.

تعدادی رکتیفایر معمول به صورت پیش‌فرض در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار موجود می‌باشد و کاربر می‌تواند با استفاده از کلید New، انواع رکتیفایرهای دیگر را نیز به برنامه اضافه نماید سپس با توجه به ولتاژ برگشتی و ضریب ایمنی داده‌شده و شدت جریان و ولتاژ لازم برای حفاظت - که در قسمتهای قبلی محاسبه گردیده و در حافظه برنامه موجود است - نرم‌افزار با استفاده از روابط زیر، انواع رکتیفایرهای ممکن و تعداد آنها را محاسبه می‌نماید.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n I_{i(tr)} = N I_{tr} \geq I_{total} \\ \sum_{i=1}^n V_{i(tr)} = N V_{tr} \geq V_{min(tr)} \\ R_{max(tr)} \geq R_{circuit} \\ R_{circuit} = R_{pipe} + P_{cable} + R_{coat} + R_{groundbed} \\ V_{min(tr)} = I_{total} \cdot R_{circuit} \cdot K + V_{BV} \\ R_{max(tr)} = \frac{V_{tr} - V_{BV}}{I_{total} / N \cdot K} \end{array} \right.$$

$I_{(tr)}$ شدت جریان خروجی رکتیفایر (amps)

$V_{(tr)}$ ولتاژ خروجی رکتیفایر (volts)

I_{total} شدت جریان حفاظتی کل (amps)

$R_{circuit}$ مقاومت مدار (ohms)

V_{BV} ولتاژ برگشتی (volts)

$V_{min(tr)}$ مینیمم ولتاژ درخواستی از رکتیفایر (volts)

$R_{Max(tr)}$ ماکزیمم مقاومت قابل تحمل رکتیفایر (ohms)

N تعداد رکتیفایر

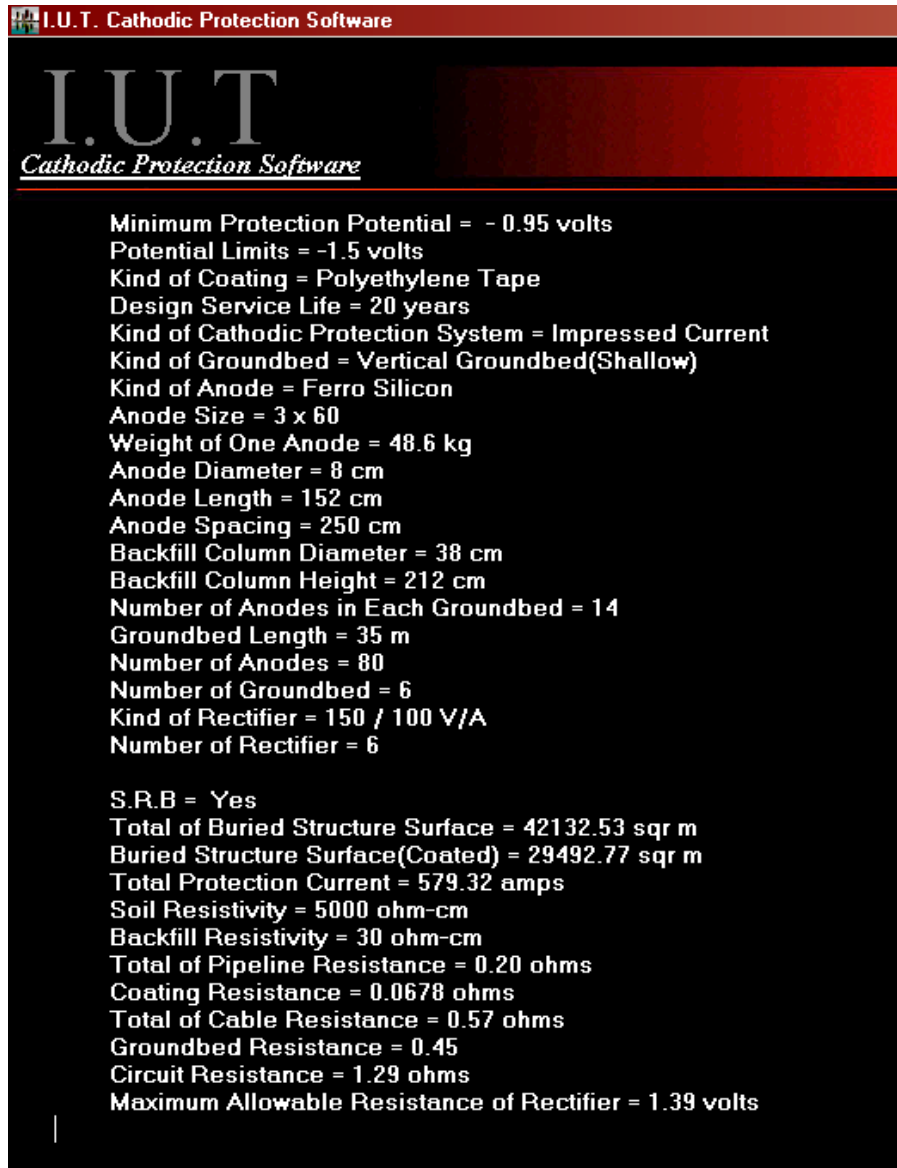
K ضریب ایمنی

در این قسمت، کاربر با توجه به مسائل اقتصادی و امکانات موجود، رکتیفایر مورد نظر را انتخاب می‌نماید.

شروط فوق بر این اساس است که ولتاژ و جریان خروجی رکتیفایر باید بیشتر از حداقل طراحی باشد. این افزایش انتخاب به این دلیل می‌باشد که مقاومت بستر آندی در اثر گذشت زمان و فرسوده‌شدن آن، افزایش می‌یابد و به منظور طراحی بهینه باید مقاومت رکتیفایر از مقاومت کل مدار بیشتر باشد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری:

چنانچه ملاحظه گردید، به منظور طراحی سیستم حفاظت کاتدی، ناچار به انجام محاسبات متعددی هستیم که بسیار زمانبر بوده و باید با دقت بالایی انجام گیرد و همچنین در مواردی باید از روشهای سعی و خطا استفاده گردد. با استفاده از نرم‌افزار طراحی شده در این پروژه، با توجه به قابلیت‌های آن، می‌توان طراحی را با سرعت و دقت بالا انجام داد. در این نرم‌افزار سعی گردیده با تلفیق مسائل علمی و تجربی و با در نظر گرفتن کلیه شرایط لازم، طراحی به صورت بهینه انجام شود.



I.U.T. Cathodic Protection Software

I.U.T.
Cathodic Protection Software

Minimum Protection Potential = - 0.95 volts
Potential Limits = -1.5 volts
Kind of Coating = Polyethylene Tape
Design Service Life = 20 years
Kind of Cathodic Protection System = Impressed Current
Kind of Groundbed = Vertical Groundbed(Shallow)
Kind of Anode = Ferro Silicon
Anode Size = 3 x 60
Weight of One Anode = 48.6 kg
Anode Diameter = 8 cm
Anode Length = 152 cm
Anode Spacing = 250 cm
Backfill Column Diameter = 38 cm
Backfill Column Height = 212 cm
Number of Anodes in Each Groundbed = 14
Groundbed Length = 35 m
Number of Anodes = 80
Number of Groundbed = 6
Kind of Rectifier = 150 / 100 V/A
Number of Rectifier = 6

S.R.B = Yes
Total of Buried Structure Surface = 42132.53 sqm
Buried Structure Surface(Coated) = 29492.77 sqm
Total Protection Current = 579.32 amps
Soil Resistivity = 5000 ohm-cm
Backfill Resistivity = 30 ohm-cm
Total of Pipeline Resistance = 0.20 ohms
Coating Resistance = 0.0678 ohms
Total of Cable Resistance = 0.57 ohms
Groundbed Resistance = 0.45
Circuit Resistance = 1.29 ohms
Maximum Allowable Resistance of Rectifier = 1.39 volts

در مورد طراحی بستر آندی که مهمترین قسمت طراحی سیستم حفاظت کاتدی می‌باشد با توجه به داده‌های برنامه شرکت LORESCO، با نرم‌افزار فوق مقایسه‌ای انجام شده است که نشان‌دهنده دقت بالای این نرم‌افزار می‌باشد.

I.U.T. Cathodic Protection Software

Vertical Groundbed (Shallow)

Soil Resistivity = ohm-cm

Backfill Resistivity = ohm-cm

Anode Diameter = cm

Anode Length = cm

Anode Spacing = cm

Backfill Column Diameter = cm

Backfill Column Height = cm

Number of Anodes =

Vertical Groundbed (Shallow) Resistance

ohms

1	2	3	4
5000			
30			
8			
152			
250			
38			
212			
30			
0.9909			

Selected Column =

LORESCO VERTICAL RESISTANCE CALCULATOR

Please Enter Your Data

Environment Resistivity: (ohm-cm)

Length of electrode columns: (m)

Number of electrodes:

Diameter of electrode columns: (cm)

Spacing between columns: (m)

Deep or shallow:

Resistance (ohm):

1.	2.	3.
5000		
2(m)		
30		
30(cm)		
2.5(m)		
shallow		
1.00103		

- 1.R.Winton Revie, Uhlig's Corrosion Handbook, Second Edition, John.Wiley, 2000
2. M.Romanoff. Underground Corrosion, Nace, Houston, Texas, 1989
- 3.M.Parker, E.Peattie, Pipeline Corrosion and Cathodic Protection. Third Edition, Gulf Publishing, 1988.
- 4.D.Piron, The Electrochemistry of Corrosion, Nace, Houston, Texas, 1991.
- 5.V.Backmann, Handbook of Cathodic Protection, 1988.
- 6.IPS – I – TP – 820, Inspection Standard for Monitoring Cathodic Protection Systems, 1996.
- 7.A.W.Peabady, Control of Pipeline Corrosion, Nace, Houston, Texas. 1967.
8. Brian, R.Johnston, "Protection of Underground Services against Corrosion". Chemistry and Industry, No. 7, pp 427-432, 1988
9. NACE Standard RP-0169-96,Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, 1983.
- 10.Pierre R.Roberge, Handbook of Corrosion Engineering, McGraw – Hill, 1999.
- 11.IPS-M-TP-750, Material and Equipment Standard for Cathodic Protection, 1996.
12. IPS-E-TP-276, Engineering Standard for Protective Coatings for Buried Steel Structures, 1996.
- 13.T.Reding, J.Mudd, "Computer – Aided Design of Impressed Current Cathodic Protection Groundbeds", Material Performance, No.9, pp 13-17, 1990.
- 14.J.Morgan, Cathodic Protection, Second Edition, 1987.
- 15.V.Ashworth, Cathodic Protection (Theory and Practice), Ellis Horwood, 1993.