

جبران افت اهمی در خاک بوسیله روش پل DC گالوانوستات

چنگیز دهقانیان

استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

بررسیهای الکتروشیمیایی در خاک با مقاومت بالا در حضور مقاومت اهمی بالا هنگامی که یک جریان پلاریزه کننده I از داخل R ، مقاومت محلول بین نمونه و الکترودهای مرجع عبور می کند دشوار می باشند. این پلاریزاسیون اهمی از رفتار تافل فلز جلوگیری می کند. در نتیجه اورولتاژهای فعالیت را بطور دقیق نمی توان تعیین نمود. مدار اصلاح شده پل *Wheatstone* با موفقیت برای جبران اثرات اهمی بالا در خاک و سایر محلولهای با مقاومت بالا در طول اندازه گیری *dc* گالوانوستاتی (جریان کنترل شده) بکار رفته است. یک پروفیل از نمونه های خاک با عمق، برای تستهای الکتروشیمیایی سرب و فولاد که به عنوان مواد ساختمانی برای ظروف نگاهدارنده ضایعات اتمی بکار می روند بدست آمده است.

نتایج برای اثرات سولفاتها، کلرورها و کربناتها که همه آنها از تغییرات ترکیبات خاک با عمق مشتق می شوند بطور خلاصه توصیف شده اند. اثرات مقدار رطوبت اضافه شده بر روی تمام نمونه ها بحث شده اند.

مقایسه سرعتهای خوردگی مشاهده شده بوسیله برون یابی تافل و اندازه گیریهای پلاریزاسیون خطی موافقت خوبی را نشان داده اند. در اکثر مواقع، سرعتهای خوردگی ابتدا با افزایش مقدار آب افزایش یافته و سپس به سرعت نقصان می یابند. یونهای سولفاتها و کلرورها یک عمل بازدارندگی شدید بر روی خوردگی سرب نشان دادند. در حالی که، در مقدار متوسط، آنیونهای بی کربنات سرعت خوردگی نسبتاً بالاتری را تحریک نمودند.

خوردگی موضعی از ظروف دفن شده در خاک به نظر می رسد که به علت سطح رطوبت خیلی پائین، کوچک می باشد. به نظر می رسد که شرایط خیس و خشک کردن متناوب که معادل با پر و خالی کردن حفره های خاک می باشد یکی از مخرب ترین اثرات بر روی فلز دفن شده در خاک باشد.

Ohmic Compensation in Soil by Galvanostatic DC Bridge

Changiz Dehghanian

Prof. Chemical Engineering Department

University of Technology in Esfahan

Abstract

*Electrochemical investigations are difficult in high resistivity soils because of the presence of the high ohmic or IR polarization incurred when a polarizing current I passes through R , the solution resistance between the specimen and the reference electrodes. This ohmic polarization obscures the Tafel behavior of the metal. As a results, the desired activation overvoltages can not be accurately determined. A modified Wheatstone bridge circuit has been used with success to compensate ohmic interferences in soil and other high resistivity solutions during galvanostatic (current controlled) *dc* measurements.*

A profile of soils samples with depth was obtained for electrochemical testings of lead and steel, which are construction materials for nuclear waste containers. Results are described briefly on effects of sulfate, chloride and carbonate, all of which can be derived from variations of soil composition with depth. Effects of added moisture content on all samples are also discussed.

Comparison of corrosion rates observed by Tafel extrapolation and polarization measurements showed good agreement. In most cases, corrosion rates were found to increase initially with increasing water content, and then to decrease rapidly. Sulfate and chloride ions showed a strongly inhibitive action on lead corrosion. Whereas, at intermediate water contents, bicarbonate anions stimulated a relatively higher rate of corrosion.

Local corrosion of the buried containers is expected to be very small because of the very low moisture levels present. It seems that conditions of alternate wetting and drying which corresponds to the filling and emptying of the soil pores could have the most deleterious effect on the buried metal.

۱- مقدمه

اندازه گیری‌های پلاریزاسیون الکتروشیمیایی برای مطالعه و بررسی رفتار خوردگی فلزات در خاک بکاررفته است [۱-۳]. این روشها، علاوه بر فراهم نمودن سرعت خوردگی کمی برای فلزات دفن شده در خاک، تقریبی از عملکرد آنها براساس آزمایشهای کوتاه مدت فراهم می‌سازند [۴].

هدف از این بررسی، مطالعه سرعت خوردگی فلزات سرب و فولاد (Mild Steel) در خاک اطراف اصفهان می‌باشد. ظروف فولادی (Mild Steel) و یا سرب برای دفن نمودن فضولات صنعتی و مواد رادیواکتیو به مقدار کم در عمقهای مختلف در خاک استفاده می‌شوند، تا از نشت آنها در خاک و آلوده نمودن آبهای زیرزمینی جلوگیری به عمل آید. در این مطالعه، سعی شد تا امکان استفاده از این فلزات در خاکهای اطراف اصفهان در عمقهای مختلف بررسی گردد. چون انتظار می‌رود که سرعت خوردگی در این خاکها کم باشد، روشهای الکتروشیمیایی به علت حساسیت خوب آنها بکارگرفته شدند [۵-۸].

مطالعات الکتروشیمیایی در خاکهای با مقاومت بالا خیلی مشکل است زیرا افت اهمی بالا یا پلاریزاسیون IR زمانی که یک جریان پلاریزه کننده I از داخل مقاومت R (مقاومت محلول بین نمونه و الکتروود مرجع) عبور می‌کند اتفاق می‌افتد. این پلاریزاسیون اهمی رفتار تافل فلز را از بین می‌برد. در نتیجه، اورولتاژ فعالیت مورد نظر را بطور دقیق نمی‌توان تعیین نمود. بنابراین در این مطالعه یک مدار پلی برای جبران نمودن

اثرات افت اهمی بالا در خاک در نظر گرفته شد. اثرات شیمی خاک و محتوی رطوبت خاک بر روی نمونه‌های فلزی دفن شده بطور کامل مورد بررسی قرار گرفت.

۲- روشهای آزمایش، مواد و دستگاههای به کاررفته در آزمایشها

خاک تهیه شده برای آزمایشهای الکتروشیمی آنالیز گردید تا ترکیبات شیمیایی، RH و مقادیر هدایت الکتریکی مخصوص آن تعیین گردد. این مقادیر نسبت به عمق در جدول (۱) نشان داده شده است.

خاکها بطور کلی قلیایی بودند و مقادیر هدایت الکتریکی آنها در محدوده $10.3 \mu\text{s/cm}$ در لایه سطحی $2810 \mu\text{s/cm}$ در ناحیه با سولفات بالا قرار گرفتند. محتوی رطوبت هر کدام از خاکها در شرایطی که دریافت شدند اندازه گیری شد. روش استاندارد ASTM (D2216) برای تعیین آزمایشهای محتوی آب (رطوبت) خاک و مخلوط قلوه سنگ که در آن رطوبت از طریق نقصان وزن در طول پختن اندازه گیری گردید بکارگرفته شد. محتوی رطوبت خاک دریافت شده خیلی کم، بین 0.05 تا 2 درصد از کل وزن خاک بود.

خواص خوردگی خاک بطور کلی وابسته به ذرات یا اندازه دانه آن دارد. خاکها یا دانه‌های کوچکتر مساحت سطح بیشتری را ارائه می‌دهند که رطوبت را بیشتر و به سادگی در خود نگه می‌دارند و در نتیجه خوردگی را افزایش می‌دهند. نمونه‌های خاک الک شدند و تنها قسمت ریزتر از $2000 \mu\text{m}$ در این

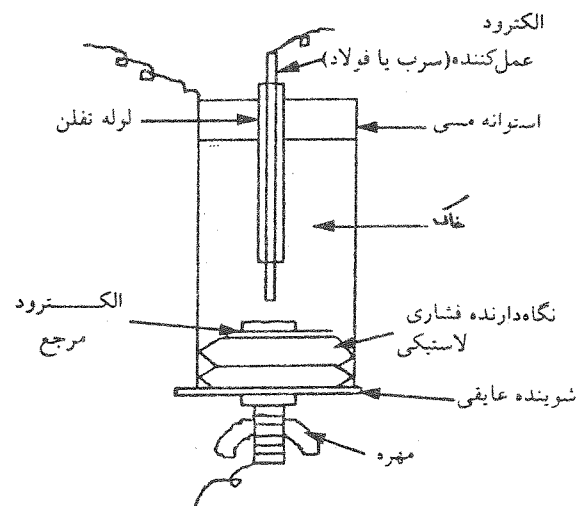
جدول (۱) مقادیر متوسط از ترکیبات شیمیایی، PH، هدایت مخصوص برای خاکهای آزمایش شده

ترکیبات شیمیایی							
نوع خاک	تعداد نمونه‌ها	عمق m	HCO_3^-	Cl	SO_4^-	PH	هدایت مخصوص $\mu s/cm^2$
1	3	0-0.79	200.9	7.11	13.4	9	111
2	1	1.67	197.5	355	139	9.17	438
3	1	4.72	74.5	214	8550	8	2810
4	3	6.7-10.9	266.7	170.5	414	9.6	348
5	3	6-12.50	247.6	156.2	198.5	9.6	360

مطالعه بکار برده شدند.

پیل پلاریزاسیون نشان داده شده در شکل (۱) شامل دو لوله مسی با قطر خارجی ۵ سانتی‌متر است که در یک طرف آن بوسیله Stopper لاستیکی گرفته شده است و حالت لاستیک بوسیله ترکیبی از یک پیچ و مهره انبساط می‌یابد.

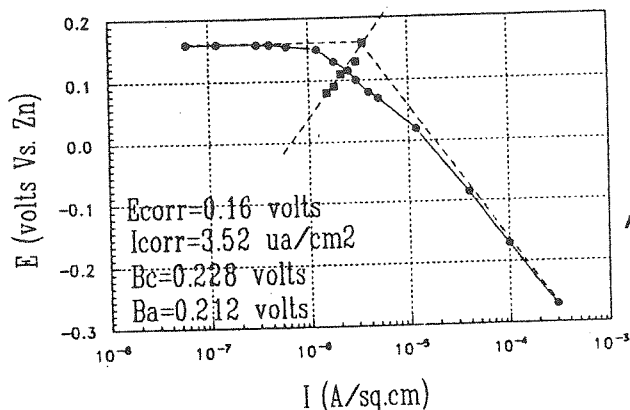
الکتروکاری یک سیم سربی یا یک میخ آهنی به قطر ۳/۵۵۶ میلی‌متر می‌باشد که در یک لوله تفلونی (Teflon) که بوسیله گرما منقبض می‌گردد قرار دارد و ۱/۵ تا ۲ سانتیمتر مربع از الکتروکاری در معرض خاک قرار دارد. لوله مسی به‌عنوان الکترودمکی عمل می‌کند، و سطوح بزرگ فلز روی از سر مهره گالوانیزه و واشر زیر آن بعنوان الکترودمرجع در نظر گرفته



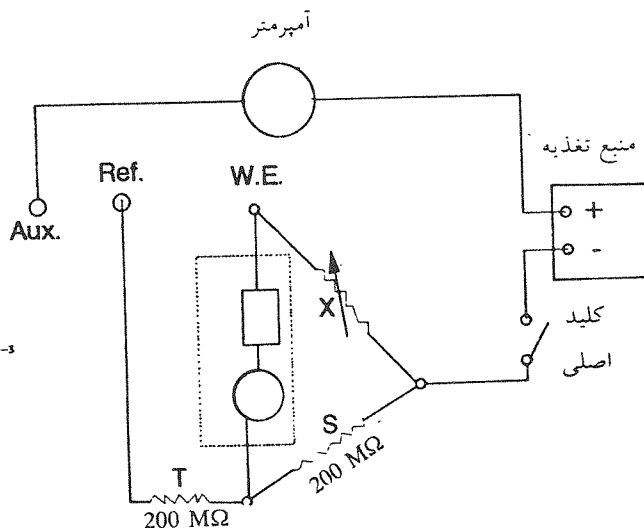
شکل (۱) شمایی از سطح مقطع پیل پلاریزاسیون

شد. پلاریزاسیون آندی از طریق جریانهای آندی معمول، رفتار تافل مورد انتظار را تولید نمی‌کند. پلاریزاسیون در مقایسه با منحنی‌های آندی محاسبه شده که در شکل‌های (۳ و ۴) نشان داده شده است کاملاً بالا بود. به نظر می‌رسد این پلاریزاسیون بالا و ثابت‌های تافل بالا مشتق شده، در اثر بازدارندگی آنیونهای در خاک توأم با انتقال کم در حجمهای حفره نزدیک به سطوح باشد.

الکتروکاری در مرکز بطور عمودی قرار داده شد و نمونه خاک در داخل پیل ریخته شد. خاک سپس به نرمی با انتهای یک میله فولادی به قطر ۱/۹ سانتی‌متر (۳/۴ اینچ) کوبیده شد. دانسیته bulk [۹] که درجه فشردگی خاک را ارائه می‌دهد از جرم و حجم خاک (تقریباً ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب) محاسبه شد و در محدوده ۱/۵ تا ۱/۶ گرم به سانتی‌متر مکعب برای تمام نمونه‌ها بود. مدار پلی (bridge circuit) نشان داده شده در شکل (۲) برای انجام اندازه‌گیری‌های پلاریزاسیون بکاررفت. منبع تغذیه، جریان مستقیم را به داخل مدار فراهم ساخت. یک آمپرتر مقدار جریان را اندازه‌گیری نمود. پتانسیومتر (P) پتانسیل الکتروکاری (WE) را نسبت به الکترودمرجع اندازه‌گیری نمود، این پتانسیومتر به یک خط متصل شده بود که در آن یک آمپرتر بعنوان تعیین کننده صفر، (Null detector) عمل می‌نمود. مقادیر بزرگ S و T، هر کدام ۲۰۰ مگا اهم از پلاریزاسیون الکترودمرجع جلوگیری نمودند. مقاومت متغیر X برای جبران اثرات اهمی تنظیم شد و کلید K وسیله‌ای برای قطع جریان بود.



شکل (۴) منحنی نوعی تافل برای فولاد (سطح در معرض قرار گرفته مساوی ۱/۶ سانتیمتر مربع)



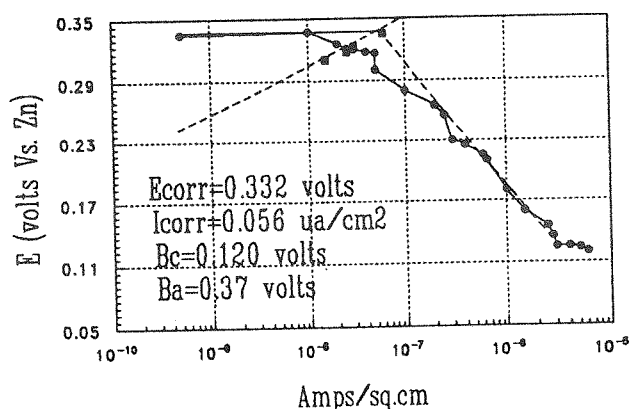
شکل (۲) مدار پلی برای اندازه گیری پلاریزاسیون

اندازه گیری‌های پتانسیل نسبت به الکتروود کالومل اشباع در آزمایش‌های بعدی انجام نشد. در کل، الکتروود مرجع روی نسبت به الکتروودهای کاری سرب و فولاد فعالتر بود. تحت شرایط اضافه نمودن آب زیاد به خاک یک پتانسیل عکس مشاهده شد و هر دو الکتروود سرب و آهن پتانسیلهای فعالتر نسبت به الکتروود مرجع روی از خود نشان دادند.

هر دو Romanoff [۱۰] و Schwerdtfeger [۱۱] پتانسیل عکس مشابهی در آب و خاک مشاهده نمودند و این اثر را در نتیجه تشکیل فیلم سیلیکات روی، بر روی فلز دانستند.

در هر یک از نمونه‌های خاک، محتوی رطوبت از حالت خشک تا سطوح ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد از کل وزن خاک افزایش داده شد و نهایتاً تحت شرایط اشباع با آب بر روی سطح خاک، محتوی آب بعنوان یک پارامتر برای مطالعه انتخاب شد زیرا انتظار می‌رود که یک اثر بزرگ بر روی افزایش سرعت خوردگی در خاک داشته باشد. بعد از اضافه نمودن آب، نمونه‌های خاک در پیل‌های پلاریزاسیون برای مدت دو روز به حالت تعادل در یک محیط با رطوبت بالا نگه داشته شدند تا تبخیر آب به حداقل برسد. سپس اندازه گیری‌های پلاریزاسیون با استفاده از پل نشان داده شده در شکل (۲) انجام شد. یک مقدار نسبتاً بالا از جریان ($2 \mu A/cm^2$) انتخاب شد و به پتانسیل پلاریزه شده اجازه داده شد تا تثبیت شود. جریان بطور موقت با فشار دادن کلید K قطع شد. در حالت‌های بیش از حد جبران نمودن افت اهمی، پتانسیل بطور جزئی به یک مقدار منفی‌تر بالا رفت قبل از این که به پتانسیل خوردگی پلاریزه نشده برگردد. زمانیکه X

امیرکبیر / سال هشتم / شماره ۳۱



شکل (۳) منحنی نوعی تافل برای سرب (سطح در معرض قرار گرفته معادل ۱/۸۲ سانتیمتر مربع) محتوی آب مساوی با ۲۰ درصد وزن خاک

۳- نتایج و روش آزمایش

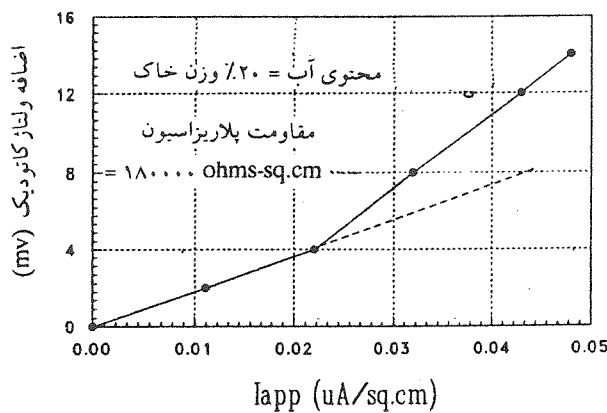
اندازه گیری‌های اولیه برای بررسی نمودن ثبات الکتروود مرجع روی، در مدت پلاریزاسیون انجام گردید. اندازه گیری‌های پتانسیل در خاک نسبت به الکتروود مرجع کالومل اشباع (SCE) انجام شد. تغییر پتانسیل بر روی یک دوره ۲۴ ساعته در حدود ۱ mV بود. چون اندازه گیری‌های پلاریزاسیون ماکزیمم تا یک ساعت طول کشید، الکتروود مرجع روی به اندازه کافی با ثبات معرفی شد. پتانسیل الکتروود روی ۰/۴ - ولت نسبت به الکتروود کالومل اشباع بود.

مساوی با مقاومت بین الکتروود مرجع و الکتروود کاری تنظیم شد اثر بالا و پائین رفتن پتانسیل نسبت به زمان از بین رفت. همچنانکه محتوی آب در خاک افزایش یافت، مقاومت X لازم برای جبران افت اهمی نیز همچنانکه انتظار می رفت نقصان یافت، مقدار این نقصان از چند صد کیلو اهم برای نمونه های خشک تا تقریباً ۱۰ کیلو اهم با ۱۰ درصد آب، و نهایتاً به کمتر از یک کیلو اهم در نمونه های اشباع رسید. بعد از این که مقاومت جبران شده تعیین گردید، به سیستم چندین ساعت وقت داده شد تا تثبیت گردد. سپس تکنیکهای گالوانستاتیک [۸] بکاربرده شدند تا اولین پلاریزاسیون خطی به وسیله پلاریزاسیون کاتدی تعقیب شده توسط منحنی های کاتدی تافل تحت شرایط پلاریزاسیون کاتدی بیشتر تولید گردد. نمونه ها بطور کاتدی به پتانسیلهای منفی تر از پتانسیل مدار باز پلاریزه شدند و data کافی برای بدست آوردن خط تافل گرفته شد. سرعتهای خوردگی به وسیله هر دو روش برون یابی تافل و پلاریزاسیون خطی تعیین شدند [۱۲]. نمونه های نوعی از منحنی های پلاریزاسیون کاتدی آزمایشی در شکل (۳) برای سرب و شکل (۴) برای فولاد نشان داده شده است. خط تافل، تا پتانسیل خوردگی برون یابی شد تا مقدار دانسیته جریان خوردگی تعیین گردد. در اکثر حالتها، رفتار خطی تافل تا یک decade ادامه یافت. در هر حال، تحت شرایط ریختن آب بر سطح خاک، نتایج بدست آمده از یک پیل تا پیل دیگر تغییر نمود. در بعضی موارد نشان دهنده یک جریان محدود نفوذ پذیری (Limiting diffusion current) بود و در بعضی مواقع تصاعد الکترولیتی هیدروژن از آب در اورولتاژهای کاتدی بالاتر بود. در هر دو نمونه سرب و فولاد، نقصان در سرعت پلاریزاسیون در جریانهای بالا مشاهده شد (نقطه A در شکل ۳). این رفتار در مطالعات دیگران [۱۱] نیز مشاهده شد و دلیل آن نامعلوم است. در شکل (۳)، خط تافل تا یک و نیم decade ادامه یافت. شیب تافل کاتدی، β_c برابر با 0.12 ولت بدست آمد. برون یابی تافل نشان داد که دانسیته جریان خوردگی برابر با 5.6×10^{-8} آمپر به سانتی متر مربع می باشد.

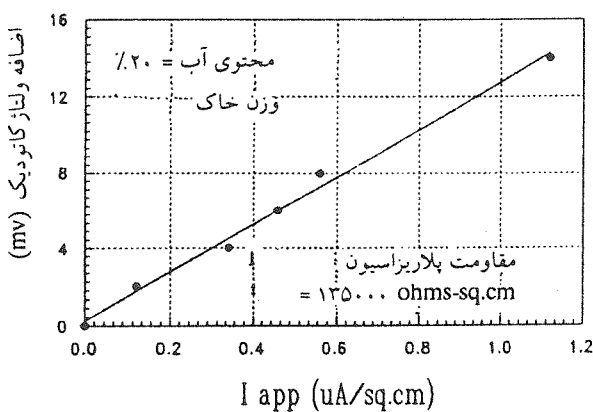
چون معادله پلاریزاسیون خطی برای محاسبه دانسیته جریان خوردگی نیاز به تعیین شیب آندی β_a دارد، منحنی پلاریزاسیون آندی از مقادیر پلاریزاسیون کاتدی برون یابی شد، با استفاده از رابطه $i_a = i_c = i_{applied}$ که i_a و i_c به ترتیب دانسیته های جریان آندی و کاتدی می باشند و i_{app} دانسیته جریان اعمال شده برای

پلاریزاسیون کاتدی می باشد [۱۴ و ۱۳]، مقدار β_a در حدود 0.37 ولت بدست آمد. مقادیر معادل برای فولاد β_c مساوی با 0.228 ولت و مساوی با 0.212 ولت مشخص شد. پلاریزاسیون آندی به روش جریانهای آندی معمول رفتار تافل مورد نظر را ارائه نداد. پلاریزاسیون در مقایسه با منحنی های آندی مشتق و محاسبه شده در شکل های (۳ و ۴) کاملاً بالا بود. بنظر می رسد این پلاریزاسیون و ثابتهای تافل بالا در نتیجه اثرات بازدارندگی آنیونها در خاک توأم با انتقال پائین در حجمهای حفره نزدیک به سطوح باشند.

منحنی اورولتاژ کمتر از 10 mv بعنوان تابعی از دانسیته جریان اعمال شده را منحنی پلاریزاسیون خطی نامند. شکل (۵) برای سرب و شکل (۶) برای فولاد نشان داده شده است.



شکل (۵) منحنی پلاریزاسیون مقاومت نوعی برای سرب



شکل (۶) منحنی پلاریزاسیون مقاومت نوعی برای فولاد

سرعت خوردگی i_{corr} بوسیله رابطه معمول

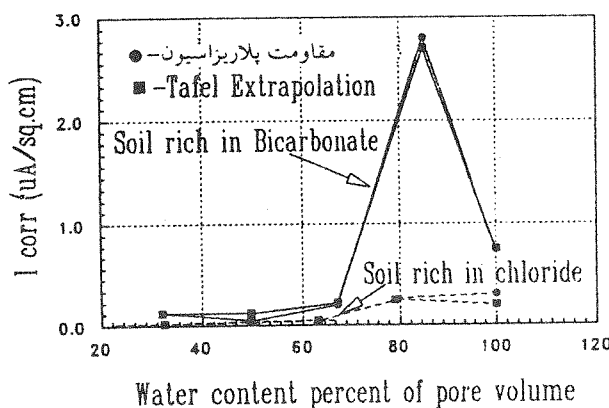
$$R_p = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2.3 i_{corr} (\beta_a + \beta_c)} \quad (1)$$

محاسبه شد. به دلیل این که β_c و β_a معلوم می‌باشند، i_{corr} محاسبه می‌شود. شکل (۵) مقدار R_p را ۱۸۰۰۰۰ اهم سانتیمتر مربع ارائه می‌دهد. از شکل (۳) β_a را مساوی با ۰/۳۷ ولت و β_c را مساوی ۰/۱۲ ولت بدست می‌آوریم. بنابراین برای سرب $i_{corr} = 6.76 \times 10^{-6}$ آمپر به سانتیمتر مربع می‌باشد که فرآیندی نزدیک به فولاد $i_{corr} = 3.53 \times 10^{-6}$ آمپر به سانتیمتر مربع را ارائه می‌دهد.

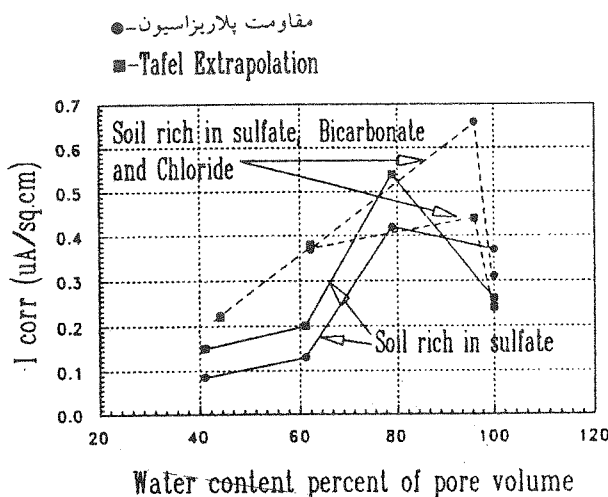
تغییر سرعت خوردگی نسبت به محتوی آب در حفره‌های خاک برای سرب، در شکل (۷a و ۷b) نشان داده شده است. همچنانکه در جدول (۱) نشان داده شده است، مقادیر نشان داده شده یک مقدار متوسط از چند نمونه برای هر نوع خاک در نظر گرفته شده است. در تمام شرایط سرعت خوردگی تقریباً با افزایش در محتوی آب افزایش یافت و زمانی که محتوی آب به حد اشباع رسید سرعت نزول نمود. این اثر نسبتاً در لایه بالاتر خاک یعنی جایی که دارای بی‌کربنات زیاد می‌باشد شدیدتر بود. در این حالت، سرعت‌های خوردگی از ۰/۱۲ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع در خاک با ۱۰ درصد محتوی رطوبت تا حدود ۲/۹ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع در خاک اشباع افزایش یافت. خاک با محتوی سولفات بالا، خوردگی بالایی را نشان نداد همچنانکه از هدایت الکتریکی مخصوص نسبی بالای آن انتظار می‌رفت. سرعت خوردگی در این حالت از حدود ۰/۱۵ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع در خاک با ۱۰ درصد محتوی رطوبت تا ماکزیمم ۰/۵ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع تغییر نمود و سپس تا کمتر از ۰/۱ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع تحت شرایط آب زدن در سطح خاک افت نمود. خاک با سه آنیون بی‌کربنات، سولفات و کلر در نسبت‌های بالا نسبتاً خوردگی غیر منتظره‌ای نشان ندادند. در این حالت مقادیر از حداقل ۰/۲ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع تا ماکزیمم ۰/۴۵ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع تغییر نمودند. شکل (۸) نتایج معادل برای فولاد در خاکی که شامل سه آنیون بالا می‌باشد نشان می‌دهد. سرعت خوردگی از حدود ۲ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع تا ۱/۳۵ میکروآمپر به سانتی‌متر مربع زمانیکه ۷۰ درصد از حفره‌های خاک پر می‌شوند تغییر نمود. در کل، یک رابطه خوب از مقادیر سرعت خوردگی بوسیله برون‌یابی تافل و مدت

پلاریزاسیون مقاومت بدست آمد. همچنانکه در شکل (۷a) نشان داده شده است. در هر حال، شکل‌های (۷b و ۸) انحراف‌هایی در بعضی نقاط نشان می‌دهند. این اختلاف در مقادیر احتمالاً به علت تغییرات در شیب‌های تافل محاسبه شده می‌باشد. مقدار سرعت خوردگی محاسبه شده توسط یکی از دو مدت ذکر شده تا فاکتور ۲ یا کمتر اختلاف دارد.

تغییر سرعت خوردگی با عمق برای سرب در شکل (۹) نشان داده شده است. این data باید تنها به عنوان سرعت‌های خوردگی در نمونه‌های گرفته شده از این عمقها تفسیر گردد. سرعت‌های خوردگی واقعی در این عمقها در هر زمان تابعی از مقدار رطوبت و اکسیژن موجود می‌باشد.



شکل (۷a) تغییرات سرعت خوردگی سرب نسبت به محتوی آب



شکل (۷b) تغییر سرعت خوردگی فولاد نسبت به محتوی آب

فلز برسد [۱۵ و ۱۶].

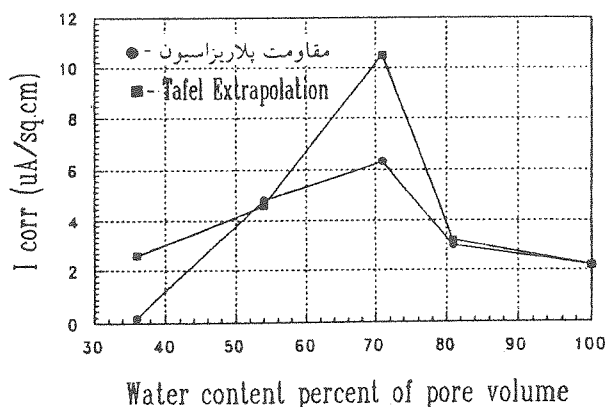
بنابراین تحت شرایط ریختن آب بر سطح خاک، سرعت خوردگی به سرعت نقصان می‌یابد، زیرا دسترسی اکسیژن به مقدار زیادی محدود می‌گردد. این دلیل تشکیل نقطه ماکزیمم در شکل‌های (۷ و ۸) می‌باشد. یکی از خاکها که مقدار کلر نسبتاً بیشتری داشت این نقطه ماکزیمم تیز را نشان نداد. بهر صورت، سرعت خوردگی مشاهده شده در این حالت بی‌نهایت کوچک بود. ممکن است فاکتورهای دیگری وجود داشته باشند که از رفتار مورد انتظار جلوگیری نمایند. وجود نقطه ماکزیمم در مقدار متوسط آب، نشان می‌دهد که شرایط خیس و خشک نمودن، آب را در حفره‌های خاک در سطح متوسط نگه می‌دارد. این عمل مخرب‌ترین اثر را بر روی فلز دهنده دارد.

اثر Romanoff بازدارندگی ذرات آنیونی و اثرات غلظت آنها بر روی رفتار خوردگی سرب را بررسی نموده است [۱۶]. او گزارش می‌دهد که وجود سولفاتها، کربناتها، کلرورها و سیلیکاتها در غلظت نسبتاً بالا می‌تواند یک اثر بازدارندگی قوی بر روی سرب داشته باشد. این نقصان در سرعت خوردگی مربوط به پلاریزاسیون آندی است که باعث محصولات خوردگی با حلالیت کم در نزدیکی مساحت آند می‌شود. این محصولات توأم با فیلم اکسید سطح، علت کم بودن سرعت خوردگی سرب در خاکهای مختلف، مخصوصاً در ناحیه با محتوی سولفات بالا را آشکار می‌سازد. سرعت خوردگی نسبتاً بالاتر در خاک با آنیونهای بی‌کربنات بیشتر در مقدار متوسط آب ممکن است به علت عدم وجود آنیونها در مقداری باشد که امکان تشکیل فیلم را محدود می‌سازند [۱۶]. سرعت خوردگی نمونه‌های فولادی به علت عدم وجود فیلم اکسید حفاظتی در سطح فلز نسبتاً بالا می‌باشند.

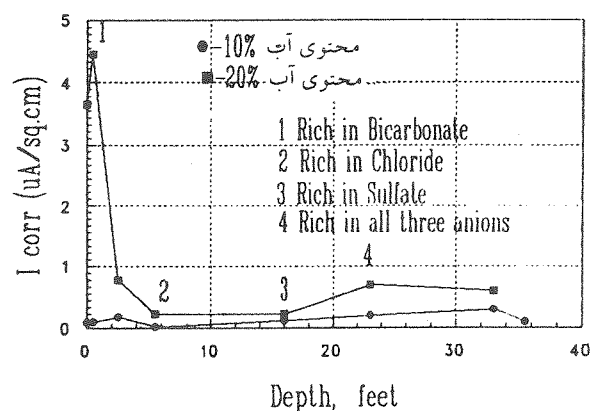
۵- نتیجه‌گیری

پروفیل نمونه‌های خاک اصفهان با عمق به وسیله آزمایشهای خوردگی از سرب و فولاد فراهم شد. این فلزات به عنوان مواد ساختمانی برای ظروف نگهداری فضولات و مواد رادیواکتیو در سطح کم بکار می‌روند. خاکهای استفاده شده دارای مقاومت الکتریکی بالایی بودند که نیاز به جبران نمودن افت اهمی در طول اندازه‌گیری‌های پلاریزاسیون الکتروشیمیایی بود تا سرعت خوردگی را دقیق‌تر نشان دهد.

اندازه‌گیری‌های گالوانستاتیکی DC (کنترل جریان) بر روی



شکل (۸) تغییر سرعت خوردگی فولاد نسبت به محتوای آب



شکل (۹) تغییر سرعت خوردگی و ترکیبات خاک با عمق

۴- بحث

وجود اکسیژن محلول و اثرات ترکیبات خاک بنظر می‌رسد که کنترل‌کننده فرآیندهای خوردگی می‌باشند. خاک محتوی آب یک نقش مهم در غلظت هوا یا اکسیژن در خاک بازی می‌کند. اگر حجم حفره از خاک تنها بطور جزئی با آب پر شود، انتقال اکسیژن به سطح فلز بطور زیادی از مسیر انتقال بوسیله نفوذ در فاز گاز صورت می‌گیرد که پروسس نسبتاً سریع می‌باشد. با افزایش محتوی آب، سرعت خوردگی در ابتدا به علت مساحت بزرگ سطح خیس شده افزایش می‌یابد و هدایت الکتریکی را بهبود می‌بخشد. برعکس، در حالت اشباع و ریختن آب در خاک، حجم حفره خاک کاملاً با آب پر می‌شود. این به عنوان یک چسب عمل می‌کند و به مقدار زیادی دسترسی هوا به سطح فلز را محدود می‌کند. پس اکسیژن نمی‌تواند به آب سطح

سولفات یک عمل بازدارندگی شدیدی بر روی خوردگی سرب نشان دادند. جاییکه در مقدار متوسط آب آنیونهای بی کربنات سرعت خوردگی نسبتاً بالاتری را تحریک می نمایند. این رفتار ممکن است به علت کافی نبودن آنیون باشد که از تشکیل شدن فیلم در سطح فلز جلوگیری می نماید. بنظر می رسد که شرایط خیس و خشک نمودن که معادل با پر و خالی نمودن حفره های خاک می باشد یکی از مخرب ترین اثر بر روی فلز مدفون شده در خاک باشد.

نمونه های سربی و فولادی مدفون شده در خاک با استفاده از مدار پلی ویت استون (Wheatstone) انجام شدند. مقایسه سرعت های خوردگی مشاهده شده توسط برون یابی تافل و اندازه گیری های پلاریزاسیون موافقت خوبی را نشان دادند. در اکثر مواقع مشاهده شد که سرعت خوردگی در ابتدا با افزایش در محتوی آب افزایش می یابد و سپس به سرعت نقصان می یابد. سرعت خوردگی کم، تحت شرایط اضافه نمودن آب به خاک، عدم دسترسی اکسیژن فلز را نشان می دهد. یونهای کلر و

مراجع

- [1] John, D.A. and Lowe, T.A., *Journal of Materials*, Vol. 4, No.3, Sept. 1991, PP. 600-617.
- [2] Scully, J.R. and Bundy, K.J., *Materials Performance*, 1985, PP. 18-25.
- [3] Scully, J.R. and Bundy, K.J., *Materials Performance*, July 1984, PP.50-55.
- [4] Serra, E.T. and Manheimer, W.A. *Underground Corrosion*, ES Calante E., Ed. Philadelphia, STP 741, 1981, P. 111.
- [5] Fotana, M.G., *Corrosion Engineering*, Mc Graw Hill, New York, 1986, PP. 499-503.
- [6] Jones, D.A., and Greene, N.D., *Corrosion*, July 1987.
- [7] Jones, D.A., *Corrosion*, Vol. 8, 1968.
- [8] Jones, D.A., *Corrosion*, Vol. 39, Nov. 1983.
- [9] Hillel, D., *Fundamentals of Soil Physics*, Academic Press, 1980.
- [10] Romanoff, M. *Underground Corrosion*, National Bureau of Standards, Circular 579, 1957, PP. 115-117.
- [11] Romanoff, M. *Underground Corrosion*, National Bureau of Standards, Circular 579, 1957, P. 79
- [12] Dean, Jr., S.W. "Electrochemical Techniques of Corrosion Testing" NACE, 1976, P. 52.
- [13] Jones, D.A., *Corrosion Science*, Vol. 11, 1971, PP. 439-451.
- [14] Jones, D.A., *Corrosion* Vol. 28, 1972, PP. 421-423.
- [15] Wranglen, G., *An Introduction to Corrosion and Protection of Metals*, Chapman and Hall Publishers, New York, 1985, PP. 124-139.
- [16] Ramanoff, M. *Underground Corrosion*, National Bureau of Standards Circular 579, 1957, P. 89.