

حمید اسکندری^{1*}، علی داودی²، انیس قانعی³

1 استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

آدرس پست الکترونیک (*Hamidiisc@yahoo.com)

2 دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران

آدرس پست الکترونیک (a.davoodi@hsu.ac.ir)

3 دانشجوی کارشناسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت حیدریه، ایران

آدرس پست الکترونیک (Anisghanei.civil@yahoo.com)

چکیده

سازه های بتن آرمه تحت تاثیر حمله سولفات ها، کربنات ها و کلریدها قرار می گیرند که مهم ترین عامل از هم پاشیدن سازه های بتن مسلح حمله کلریدها می باشد و جلوگیری از خوردگی آرماتورها با کاهش نفوذ کلریدها انجام می شود که این با فراهم نمودن ضخامت کافی از بتن پوششی روی میلگردها و همچنین کنترل قابلیت نفوذپذیری این لایه پوششی بتن صورت می گیرد. با توجه به اینکه حباب هوا و میکروسیلیس می تواند برای جلوگیری از خوردگی میلگردهای فولادی و بهبود خواص مکانیکی بتن موثر باشد، لذا در این تحقیق 12 طرح اختلاط متفاوت با درصدهای گوناگون حباب هوا و میکروسیلیس در نمونه های استوانه ای 20*10 سانتیمتری که دارای میلگرد با قطر 16 میلیمتر در نظر گرفته شده است همچنین در این پژوهش با انجام آزمایش های مختلف درصد خواص خوردگی و جذب آب مورد بررسی قرار داده شده است. نتایج نشان می دهد که حباب هوا و میکروسیلیس تاثیرات بسیار زیادی در جذب آب و مقاومت الکتریکی بتن دارد.

واژه های کلیدی: بتن مسلح، خوردگی، مقاومت الکتریکی، میکروسیلیس، حباب هوا

**The first International conference on sustainable urban structure
Effect of Micro Silica and Air Entraining Admixture on
Corrosion of Reinforced Concrete**

Hamid, Eskandari^{1*}; Ali, Davoodi²; Anis, Ghanei³

^{*1} Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

² Associate Professor, Department of Materials Science and Engineering, Hakim Sabzevari University, Iran

³ Department of Civil Engineering, Torbat Heydarieh University, Iran

Abstract

Reinforced concrete structures affected by the attack, sulfates, carbonates and chlorides. The most important factor in the corrosion of reinforced concrete structures is due to chloride attack and prevent corrosion of the reinforcing steel is done by reducing chlorides through the concrete appropriate thickness of reinforced concrete which also controls the permeability of concrete coating layer occurs, So in this study, 12 mix with various of micro silice and air entraining admixture on cylindrical sample along with 16 mm reinforced bar has been defined for preperation test samples which is amied to determine corrosion and water absorption properties. Results show that microsilice and air bubbles have a huge impact on water absorption and electrical resistivity of concrete.

Keywords: Reinforced Concrete; Corrosion; Micro silica; Air Entrainment.

ترکیبات بتن نقش به سزایی در برابر خوردگی دارد و با توجه به اینکه عامل اصلی خوردگی میلگردهای فولادی حمله کلریدها به بتن است بنابراین نوع بتن و ترکیبات آن در بسیاری از موقعیت‌ها می‌تواند سبب جلوگیری از هم پاشیدن سازه های بتن مسلح شود (ACI 222R-89). ریزی ذرات میکروسیلیس واکنش با هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراته شدن سیمان پرتلند را تسریع می‌نماید، ذرات خیلی کوچک میکروسیلیس می‌توانند در فضای بین ذرات سیمان جای گیرند و تراکم را بهبود بخشند (Al-Amoudi, 1993). همچنین دوده سیلیس بر نفوذ پذیری می‌تواند نقش به سزایی بر نفوذ پذیری داشته باشد (Dotto, 2004). خوردگی میلگرد به دو طریق به بتن مسلح آسیب می‌رساند. اول اینکه باعث کاهش سطح مقطع میلگرد می‌گردد. دوم اینکه محصولات خوردگی با حجمی بزرگتر از خود فولاد را با وجود م یاورد. این افزایش حجم با ایجاد تنش های کششی در بتن منجر به ترک خوردگی و در نهایت خرابی سازه می‌گردد (Yoon-Seok, 2006). بتن خوب متراکم شده و صحیح عم لآوری شده با یک نسبت آب به سیمان کم، نفوذپذیری کمی دارد که نفوذ آلاینده های آغازکننده خوردگی همانند کلرید، دی اکسید کربن، رطوبت و غیره تا سطح فولاد را به حداقل می‌رساند. همچنین، مقاومت ویژه ی الکتریکی بالای بتن آهنگ خوردگی را با کاهش جریان الکتریکی از سایت های آندی به کاتدی محدود می‌سازد (Shamsad, 2003). تاثیر میکروسیلیس بر نفوذپذیری بتن، خیلی بیشتر از اثر آن بر مقاومت فشاری است. مقاومت بیشتر در برابر نفوذ یون‌های کلرید، پیامد حاصل از کاهش نفوذپذیری می‌باشد. در رابطه با مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن، برخی از محققین (Yamato, 1986)، مقاومت ضعیفی را از بتن با حباب هوای حاوی میکرو سیلیس در مقایسه با بتن بدون دوده سیلیسی گزارش نموده‌اند. توجه احتمالی این اثر آن است که با یک مقدار کافی از حباب هوا، بتن حاوی میکروسیلیسی دارای ضریب فاصله بیشتری در منافذ هوا می‌باشد و هم‌زمان، بافت متراکم خمیر سیمان هیدراته از حرکت آب جلوگیری می‌نماید. از طرف دیگر سایر محققین (Johnson, 1992)، مقاومت خوبی از بتن‌های حاوی میکروسیلیس در برابر یخ زدن و آب شدن و همچنین در پوسته شدن توسط عوامل یخ‌زا گزارش نموده‌اند. وقتی که میکروسیلیس در مخلوط وجود داشته باشد فوق روان کننده‌ها ارزشمند خواهند بود، زیرا میکروسیلیس نیاز به آب سازه را افزایش می‌دهد. وقتی که اختلاف پتانسیل الکتریکی در امتداد طول میلگرد فولادی در بتن به وجود می‌آید، یک پیل الکتروشیمیایی ایجاد می‌گردد و مناطق آندی و کاتدی به وجود می‌آیند که با الکترولیت (به صورت آب منفذی در خمیر سیمان سخت شده) به یکدیگر متصل می‌شوند. از آن جا که پیل الکتروشیمیایی نیاز به اتصال بین آند و کاتد را به وسیله آب منفذی و همچنین خود میلگردهای فولادی تامین می‌سازد، مجموعه منافذ موجود در خمیر سیمان سخت شده عامل اصلی موثر بر خوردگی می‌باشد. از نظر الکتریکی، مقاومت (اتصال) داخل بتن است از مواد سیمانی (چسباننده) قابل توجه میکروسیلیس می‌باشد که اگر با نسبت مناسبی در مخلوط به کار برده شوند، به نحو چشم گیری قابلیت نفوذ بتن را کاهش و مقاومت الکتریکی آن را افزایش می‌دهند و لذا باعث کاهش آهنگ خوردگی می‌گردند (Al-Amoudi, 1993- Ellis, 1991- Schiessl, 1989). با توجه به اینکه هیچکدام از محققین در ارتباط با میزان حباب هوا و میکرو و تاثیر با هم آنها تا کنون مورد بررسی قرار نداده اند لذا در این تحقیق به بررسی تاثیر حباب هوا و میکروسیلیس بر میزان نفوذ یون کلرید در بتن و میزان خوردگی آرماتورهای بتن مسلح پرداخته می‌شود.

2- مصالح و ساخت نمونه



الف) مصالح مصرفی:

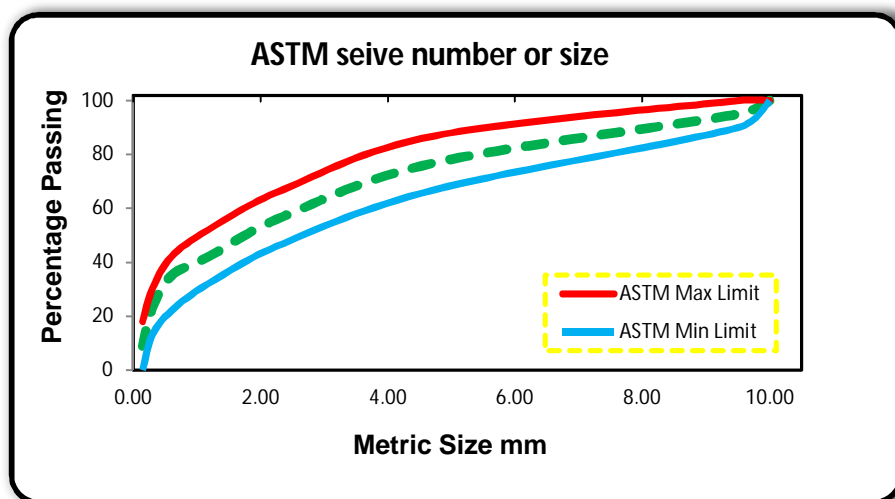
سیمان مورد استفاده برای نمونه‌ها سیمان پرتلند از نوع 2 و در رده مقاومتی 535 محصول کارخانه سیمان زاوه تربت حیدریه می‌باشد که مشخصات شیمیایی آن در جدول 1 آمده است، و آب مصرفی در ساخت مخلوط ها آب شرب شهر سبزوار بوده است. سنگدانه مورد استفاده مطابق با دانه بندی جدول 2 و نمودار 1 نشان داده شده است. همچنین لازم بذکر است میلگرد مصرفی از نوع St 37 با قطر 16 میلیمتر در استفاده شده است. که نمونه

جدول 1: مشخصات شیمیایی سیمان

مواد تشکیل دهنده	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	سایر
مقدار (درصد)	21/29	05-مارس	04-مارس	63/29	2/81	0/54	0/42	0/95

جدول 2: مشخصات مصالح سنگی

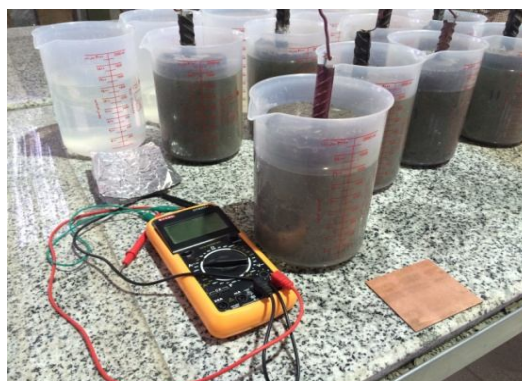
اندازه الک (میلی متر)	# 9/5	# 4/75	# 2/36	# 1/18	# 0/6	# 0/3	# 0/15
درصد مانده روی هر الک	5	18	20	15	7	12	14



نمودار 1: منحنی دانه بندی

(ب) ساخت نمونه

طرح‌های اختلاط، جزییات نمونه‌ها و نحوه نگهداری و آزمایش‌های در نظر گرفته شده در این پروژه 12 طرح اختلاط به عنوان نمونه‌های بررسی میزان خوردگی بتن مسلح ساخته شدند که با درصدهای مختلفی از میکروسیلیس جدول شماره 3 و در قالب‌های استوانه ای با قطر 10 سانتی متر و ارتفاع 20 سانتی متر (شکل 1) استفاده شد



شکل 1: عمل آوری و انجام آزمایش

The first International conference on sustainable urban structure

و هر یک از نمونه‌ها پس از ریختن بتن میلگردی با قطر 16 میلی‌متر در مرکز قرار گرفت. استفاده از میکروسیلیس به- عنوان ماده افزودنی مورد استفاده قرار گرفتند که با اضافه نمودن فوق روان‌کننده اسلامپ مورد نظر تامین گردید. کلیه نمونه- های بتن مسلح پس از 24 ساعت از زمان ساخت داخل بشر مدرج پلاستیکی که حاوی محلول 3/5 درصد یون کلر بود قرار گرفت آزمایشات خوردگی پس از نفوذ یون ها به داخل بتن در بازه‌های زمانی مشخص شده انجام پذیرد.

جدول 3: طرح اختلاط آزمونه‌های بتن مسلح با افزودنی ماده حباب زا و میکروسیلیس

شماره نمونه	سیمان (گرم)	آب (گرم)	سنگدانه (گرم)	ماده حباب زا (میلی لیتر)	فوق‌روان‌کننده (میلی لیتر)	میکروسیلیس (10 درصد سیمان)
1	700	350	2000	25	0	0
2	700	350	2000	20	0	0
3	700	350	2000	15	0	0
4	700	350	2000	10	0	0
5	700	350	2000	5	0	0
6	700	350	2000	0	0	0
7	630	280	2000	25	3	70
8	630	280	2000	20	5	70
9	630	280	2000	15	10	70
10	630	280	2000	10	10	70
11	630	280	2000	5	10	70
12	630	280	2000	0	10	70

3- آزمایشات و نتیجه گیری

الف) مقاومت الکتریکی

خوردگی پدیده الکترو شیمیائی است. عملاً "میلگرد بصورت آند و بتن کاتد می شود و یک جریان الکتریکی بین میلگرد و سطح بتن بوجود می آید. مسلماً "در این حالت تحرک یون ها را شاهد هستیم . هر چه این حرکت بیشتر و سهل تر انجام شود به مفهوم آنست که مقاومت در برابر تحرک یونی کمتر است و با هدایت الکتریکی بتن بیشتر می باشد. بنابراین باید گفت یکی از راه های ساده ی تعیین میزان خوردگی، تعیین مقاومت ویژه الکتریکی آن میباشد. بتن های حاوی میکروسیلیس بسته به میزان میکروسیلیس، مقاومت الکتریکی 3 تا 10 برابر مقاومت الکتریکی بتن مشابه ولی بدون میکروسیلیس را دارا است در حالیکه مقاومت فشاری بتن ممکن است فقط 5 تا 15 درصد افزایش یابد. البته باید گفت اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی بتن سخت شده داخل قطعه کار دشواری است. اگر میلگرد و بتن را مانند یک مدار برقی در نظر بگیریم اختلاف پتانسیل، مقاومت و شدت جریان در آن وجود دارد. بدیهی است هر چه مقاومت الکتریکی بیشتر شود شدت جریان کمتر می گردد و شدت خوردگی نیز کم می شود. ضمن اینکه مقاومت الکتریکی بیشتر، آغاز خوردگی را به تأخیر می اندازد. برخی اعتقاد دارند باید مقاومت الکتریکی بتن سطحی (پوشش روی میلگرد) را اندازه گیری کرد که منطقی به نظر می رسد.

ب) آزمایش نیم پیل (اختلاف پتانسیل الکتریکی):

همانگونه که گفته شد یک جریان الکتریکی در بتن مسلح وجود دارد. پس باید بتوان آن را اندازه گیری نمود. اگر یک سر سیم را به میلگرد وصل کنیم و سر دیگر سیم را به کمک یک الکتروود به سطح بتن مرطوب بچسبانیم و در این فاصله ولت

The first International conference on sustainable urban structure

متری را قرار دهیم، اختلاف پتانسیل را بر صفحه دستگاه مشاهده می نماییم که در حدود چند ده تا چند صد میلی ولت است. بسته به نوع الکتروود مصرفی، ولتاژ قرائت شده متفاوت خواهد بود و قابل تبدیل به یکدیگر می باشند، آزمایش نیم پیل دارای دستور العمل استاندارد برای کارگاه می باشد اما دستور استاندارد الکتروود مس سولفات مس را توصیه کرده است و در آزمایشگاه ASTM آزمایشگاهی ندارد. در کارگاه معمولا "از الکتروود کالومل اشباع استفاده میشود. شروع فعالیت خوردگی را به صورت احتمالی و بشرح ذیل مشخص کرده است:

اختلاف پتانسیل V با الکتروود مس-سولفات مس (mv)	احتمال شروع فعالیت خوردگی
V>350	بیش از 90 درصد
350>V>200	حدود 50 درصد
200>V	کمتر از 10 درصد

در این آزمایش باید میلگردها بصورت متصل تداوم داشته باشند و قطع در آنها باعث اختلال در نتایج می گردد . باید دانست که این آزمایش فقط اختلاف پتانسیل موجود را به دست می دهد که پتانسیل خوردگی نام دارد و به هیچ وجه آهنگ خوردگی یا میزان خوردگی میلگرد را به نمایش نمی گذارد. در آزمایشهای آزمایشگاهی معمولا "میلگردی را داخل یک استوانه بتنی قرار می دهند و بخش عمده ای از بتن را در داخل آب دریا یا آب نمک (با غلظت های متفاوت) می گذارند و یک سر سیم را به میلگرد خارج از آب و الکتروود را داخل آب دریا یا آب نمک قرار می دهند و ولتاژ را قرائت می کنند.

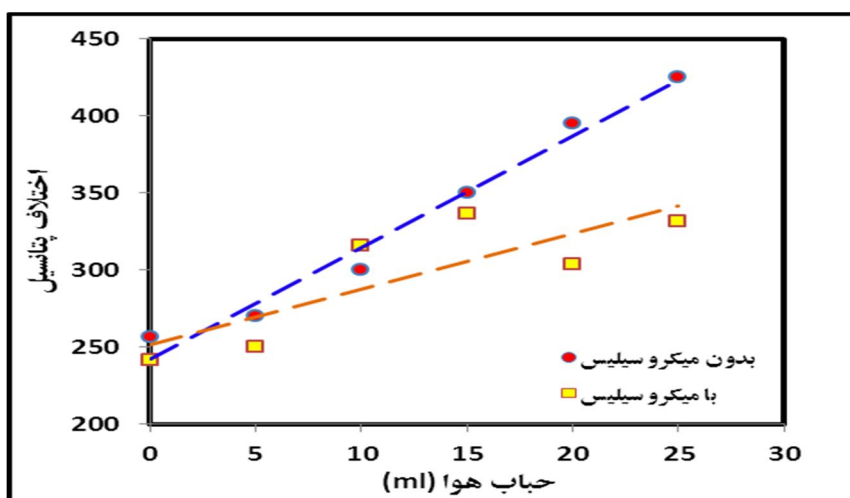
جدول 4- نتایج آزمایشات مقاومت الکتریکی و نیم پیل

شماره طرح اختلاط	مقاومت الکتریکی	آزمایش نیم پیل	حباب هوا (ml)	میکرو سیلیس
1	39	425	25	0
2	43	395	20	0
3	44	350	15	0
4	59	300	10	0
5	63	270	5	0
6	79	257	0	0
7	150	332	25	70
8	180	304	20	70
9	190	337	15	70
10	200	316	10	70
11	200	250	5	70

این آزمایش مستقیما "کیفیت بتن را بدست نمی دهد فقط می توان کیفیت بتن را در مقایسه با یکدیگر ارزیابی کرد و نشان داد کدام نمونه زودتر و کدام یک دیرتر فعالیت خوردگی را آغاز می نمایند. آزمایش نیم پیل و ارقام ذکر شده فقط برای میلگردهای بدون پوشش (گالوانیزه ، اپوکسی و ...) کاربرد و مفهوم دارند و برای میلگردهای پوشش دار و صنعت متفاوت خواهد بود. با توجه به جدول شماره 4 نشان می دهد که میزان مقاومت الکتریکی نمونه های بتنی با افزایش درصد حباب هوا در طرح اختلاط کاهش یافت. به طور کلی نمونه های بتنی حاوی میکرو سیلیس دارای مقاومت الکتریکی بیشتری نسبت به نمونه های فاقد میکرو سیلیس می باشند. همچنین نشان می دهد که با افزایش میزان حباب هوا اختلاف پتانسیل نیز افزایش می یابد.

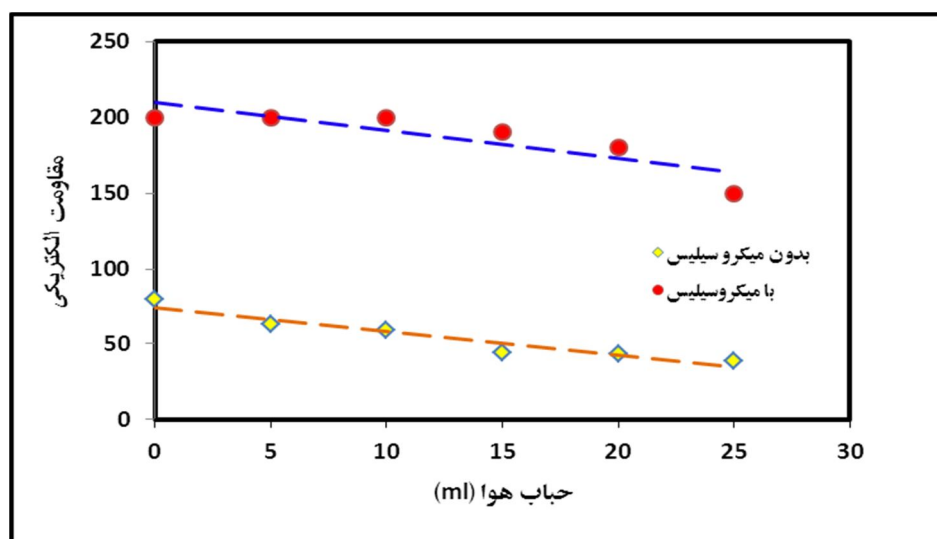
The first International conference on sustainable urban structure

همچنین با توجه و بررسی نمودار 2 نشان می دهد که بتنهای حاوی میکرو سیلیس اختلاف پتانسیل کمتری نسبت به بتنهای فاقد ذرات میکرو سیلیس دارند.



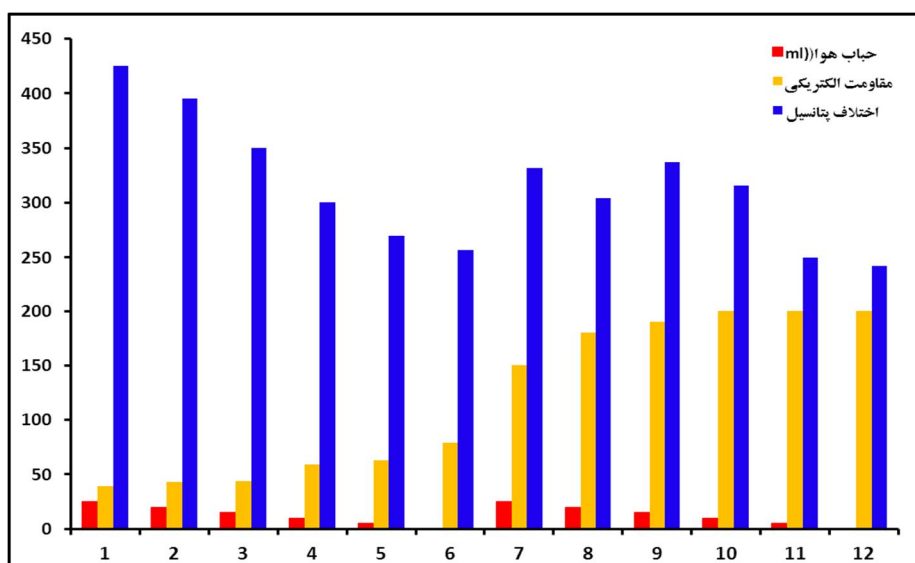
نمودار 2: رابطه میزان حباب هوا با اختلاف پتانسیل الکتریکی میلگرد ها با بتن

نمودار 3 بیانگر این است که با افزایش حباب هوا نفوذ محلول بیشتر شده و مقاومت الکتریکی کمتر و رسانایی بیشتر تولید می نماید که این امر سبب خوردگی بیشتر می شود در مقایسه ابنین نوع بتن با بتن حاوی ذرات میکرو سیلیس مقاومت الکتریکی بیشتر و در نتیجه خوردگی کمتر رخ خواهد داد.



نمودار 3: نمودار مقاوت الکتریکی بر حسب میزان حباب هوا

نمودار 4 که نشانگر مقایسه همزمان تاثیر حباب هوا و میکرو سیلیس بر مقاومت الکتریکی و اختلاف پتانسیل می باشد. نمودار به خوبی نشان می دهد که با کاهش میزان حباب هوا میزان مقاومت الکتریکی به نسبت افزایش یافته و اختلاف پتانسیل کاهش می یابد که این دو رابطه عکس دارد.



نمودار 4: نقایسه همزمان مقاومت الکتریکی - اختلاف پتانسیل با حباب هوا

4- مراجع :

- [1] ACI 222R-89 (1994), *Corrosion of metals in concrete*, ACI Manual of Concrete, ACI Manual of concrete Practice Part 1: Materials and General Properties of Concrete, 30 pp. (Detroit, Michigan, 1994).
- [2] Ahmad, Shamsad. "*Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction—a review.*" Cement and Concrete Composites 25.4 (2003): 459-471.
- [3] Al-Amoudi, O. S. B., Rasheeduzzafar, M. M., & Al-Mana, A. I. (1993). *Prediction of long-term corrosion resistance of plain and blended cement concretes.* ACI Materials Journal, 90(6).
- [4] Choi, Yoon-Seok, Jung-Gu Kim, and Kwang-Myong Lee. "*Corrosion behavior of steel bar embedded in fly ash concrete.*" Corrosion Science 48.7 (2006): 1733-1745.
- [5] Dotto, J. M. R., De Abreu, A. G., Dal Molin, D. C. C., & Müller, I. L. (2004). *Influence of silica fume addition on concretes physical properties and on corrosion behavior of reinforcement bars.* Cement and concrete composites, 26(1), 31-39.
- [6] Johnston, Colin D. "*Durability of high early strength silica fume concretes subjected to accelerated and normal curing.*" ACI Special Publication 132 (1992).
- [7] P. Schiessl and N. Raupach, *Influence of blending agents on the rate of corrosion of steel in concrete, in Durability of Concrete: Aspects of Admixtures and Industrial By-products*, 2nd International Seminar, Swedish Council for Building Research, pp. 205-14 (June 1989).
- [8] W. E. Ellis Jr., E. H. Rigg and W. B. Butler, *Comparative results of utilization of fly ash, silica fume and GGBFS in reducing the chloride permeability of concrete, in Durability of Concrete*, ACI SP-126, PP. 443-58 (Detroit, Michigan, 1991).
- [9] Yamato, Takeshi, Yukio Emoto, and Masashi Soeda. "*Strength and freezing-and-thawing resistance of concrete incorporating condensed silica fume.*" ACI Special Publication 91 (1986).